

# Υπόγεια Γεωλογική Αποθήκευση CO<sub>2</sub> και Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα

**Ε Δ Ε Υ**  
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ  
ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ



Η παρούσα έκδοση αποτελεί έργο της ΕΔΕΥ Α.Ε.

**Ομάδα εργασίας:** Δημήτριος Κτενάς (Γεωλόγος-Γεωφυσικός), Βασιλική Κοσμίδου (Γεωλόγος Πετρελαίου), Σπυρίδων Σπίνος (Περιβαλλοντολόγος)

**Επιμέλεια:** Πένη Χαλάτση

Φωτογραφία εξωφύλλου: GSP, IPCC



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Πρόλογος</b> .....	<b>3</b>
<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>5</b>
<i>Δέσμευση, μεταφορά και αποθήκευση του CO<sub>2</sub></i> .....	6
<i>Σύντομη επισκόπηση των έργων CCS παγκοσμίως</i> .....	9
<i>Διεθνή πρότυπα και βέλτιστες πρακτικές σχετικά με την περιγραφή καταλληλότητας θέσεων γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub></i> .....	13
<i>Στάδια εξέλιξης και περιγραφή μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub></i> .....	15
<i>Τα περιβαλλοντικά οφέλη, τα μειονεκτήματα και οι κίνδυνοι των τεχνολογιών CCS</i> .....	18
<b>Επισκόπηση αντιπροσωπευτικών λεκανών και λοιπών σχηματισμών για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου ως χώρων αποθήκευσης CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου (UGS)</b> .....	<b>23</b>
<i>Μεσοελληνική Αύλακα</i> .....	23
<i>Λεκάνη Φλώρινας – Ένα φυσικό ανάλογο γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub></i> .....	29
<i>Λεκάνη του Πρίνου</i> .....	37
<i>Δυτική Θεσσαλονίκη</i> .....	46
<i>Βόλος (Βασάλτες)</i> .....	48
<b>Συμπεράσματα</b> .....	<b>51</b>
<b>Αναφορές</b> .....	<b>53</b>
<b>Βιογραφικά</b> .....	<b>59</b>
<b>Παράρτημα – Πίνακες</b> .....	<b>61</b>



## Πρόλογος

Η δέσμευση, μεταφορά και αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα έχει γνωρίσει πολλές εφαρμογές παγκοσμίως, αλλά ιδιαίτερα σε χώρες με ανεπτυγμένη βιομηχανική δραστηριότητα που προκαλεί έκλυση ρύπων ή σε χώρες που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται κατά πολύ από την καύση γαιανθράκων. Και στις δύο περιπτώσεις, το κόστος της έκλυσης ρύπων, που μετριέται κατά τόνο, έγινε ο καθοριστικός παράγοντας για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας ή καινοτόμων λύσεων δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα. Το ίδιο πρόβλημα τίθεται για το μεθάνιο, ενώ οι λόγοι έκλυσης μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι διαφορετικοί εφόσον σχετίζονται κατά μεγάλο μέρος με τις αγροτικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η παρούσα μελέτη ασχολείται με την δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και το δυναμικό αποθήκευσης στις ελληνικές λεκάνες (Μεσοελληνική Αύλακα, Λεκάνες Πρίνου και Φλώρινας, Δυτική Θεσσαλονίκη, αλλά και της περιοχής του Βόλου). Υπό αυτήν την οπτική, η αξιοποίηση του υπεδάφους της Δυτικής Μακεδονίας κατέχει μία ιδιαίτερη θέση με την πιθανή αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα ως μίας καινοτόμου επιλογής σαν παράγωγο της χρήσης του λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το παράδειγμα του Snøhvit στην Θάλασσα του Barents στη Νορβηγία αναφέρεται εκτεταμένα στην παρούσα μελέτη.

Η τεχνολογία CCUS (Δέσμευση και Αποθήκευση Διοξειδίου του Άνθρακα) εφαρμόζεται σε παγκόσμια κλίμακα. Το 2019, περισσότερες από 50 μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού και μεταποίησης του διοξειδίου του άνθρακα λειτουργούν όπως αυτή του *Boundary Dam* στον Καναδά ή της *Petranova* στο Τέξας. Επιπλέον, 20 πιλοτικά προγράμματα βρίσκονται σε εξέλιξη και η ΕΔΕΥ συμμετέχει από τις αρχές του 2019 σε δύο από αυτά, το διεθνές ENERG και το ευρωπαϊκό PilotStrategy. Η Ακαδημία Αθηνών στη μελέτη της το 2020, *Απολιγνιτοποίηση της Ελλάδας Διαχείριση της Μεταλιγνιτικής Εποχής*, προτείνει μια σειρά από δράσεις όπως η αεριοποίηση του λιγνίτη, η εξαγωγή σπανίων γαιών, η παραγωγή ενεργού άνθρακα και ανθρακονημάτων, λιπασμάτων αλλά και ενεργειακών καυσίμων. Ήδη από τις προγραμματικές της δηλώσεις και την ετήσια έκθεσή της του 2018, η ΕΔΕΥ έχει τοποθετηθεί υπέρ της ενσωμάτωσης της εκμετάλλευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα και της εκμετάλλευσης του μεθανίου εγκλεισμένου στους ελληνικούς λιγνίτες.

Μια ανεξάρτητη μελέτη της Μεσοελληνικής Αύλακας συμπληρώνει αυτήν την έκδοση και ασχολείται με τα περιβαλλοντικά και χωροταξικά θέματα, παράγοντες απαραίτητοι για την επιτυχία τέτοιων προγραμμάτων.

Γιάννης Μπασιάς

Ιούνιος 2020



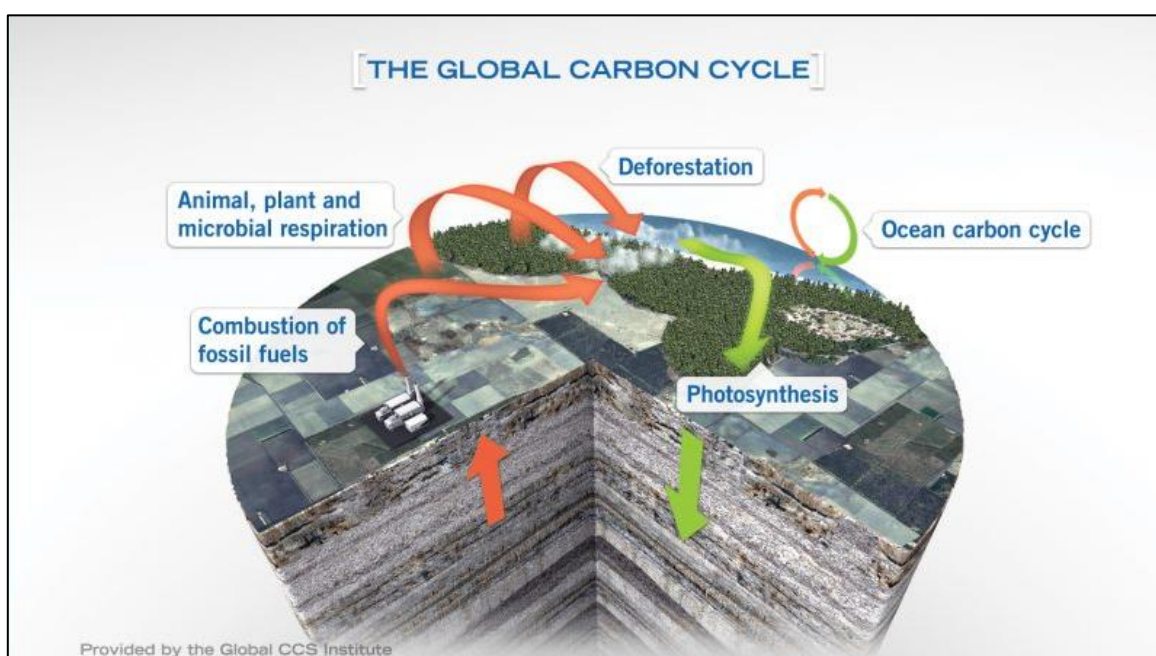


## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) έχουν αυξηθεί δραματικά (Global CCS institute, 2019).

Η συνεχής παρακολούθηση έχει δείξει ότι η αυξανόμενη ποσότητα  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας προκαλεί την υπερθέρμανση της γης και την οξίνιση των ωκεανών. Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι η θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται, προκαλώντας αλλαγή του κλίματος, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και επηρεάζοντας τις ωκεάνιες και χερσαίες συνθήκες (Global CCS institute, 2019).

Το  $\text{CO}_2$  είναι απαραίτητο για τη ζωή στη γη. Τα αέρια του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα, αποτρέπουν τη διαφυγή κάποιου ποσοστού από τη θερμότητα του ήλιου στο διάστημα, διατηρώντας τη Γη αρκετά ζεστή ώστε τα φυτά και τα ζώα να μπορούν να επιβιώσουν (Global CCS institute, 2019).



Εικόνα 1: Ο κύκλος του  $\text{CO}_2$  σε παγκόσμια κλίμακα (Global CCS institute, 2019).

Το  $\text{CO}_2$  κινείται φυσικά μέσα και έξω από την ατμόσφαιρα (**Εικόνα 1**). Για παράδειγμα, τα εργοστάσια παραλαμβάνουν και χρησιμοποιούν το  $\text{CO}_2$  για την παραγωγή ενέργειας και τα ζώα αναπνέουν το  $\text{CO}_2$  που παράγεται από τη χρήση ενέργειας. Η πολύ αυξημένη ποσότητα  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα που προκύπτει από τις ρυπογόνες ανθρώπινες εφευρέσεις και τη βιομηχανοποίηση, προκαλεί τη γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Όταν τα ορυκτά καύσιμα "καίγονται" σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες  $\text{CO}_2$  απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Το  $\text{CO}_2$  απελευθερώνεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της παραγωγής φυσικού αερίου. Επίσης, οι βιομηχανικές διεργασίες όπως το πετρέλαιο εξευγενισμού ή η παραγωγή σιδήρου, χάλυβα, τσιμέντου και αμμωνίας απελευθερώνουν επίσης μεγάλες ποσότητες  $\text{CO}_2$ . Άλλες σημαντικές πηγές  $\text{CO}_2$  περιλαμβάνουν εκπομπές από αυτοκίνητα,

φορτηγά, πλοία και αεροπλάνα αλλά και από εγχώριες πηγές, όπως η θέρμανση στις οικίες μας.

Με βάση την παγκόσμια δέσμευση που επιτεύχθηκε στο Παρίσι το 2015, η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας θα πρέπει να συγκρατηθεί κάτω από 2°C σε σύγκριση με το προ-βιομηχανικά επίπεδα και μάλιστα απαιτείται προσπάθεια να περιοριστεί ακόμη περισσότερο, στους 1,5°C (UN Paris agreement, 2015).

Σύμφωνα με την IEA (2019), η επίτευξη του στόχου που έθεσε η συμφωνία του Παρισιού απαιτεί την αποθήκευση τουλάχιστον 1 γιγατόνου CO<sub>2</sub> ετησίως έως το 2030. Τα συμπεράσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC report, 2018) επιβεβαιώνουν περαιτέρω ότι μία κρίσιμη τεχνολογία που θα μπορούσε να βοηθήσει στην εκπλήρωση από τους παραπάνω στόχους είναι η δέσμευση και αποθήκευση του CO<sub>2</sub>.

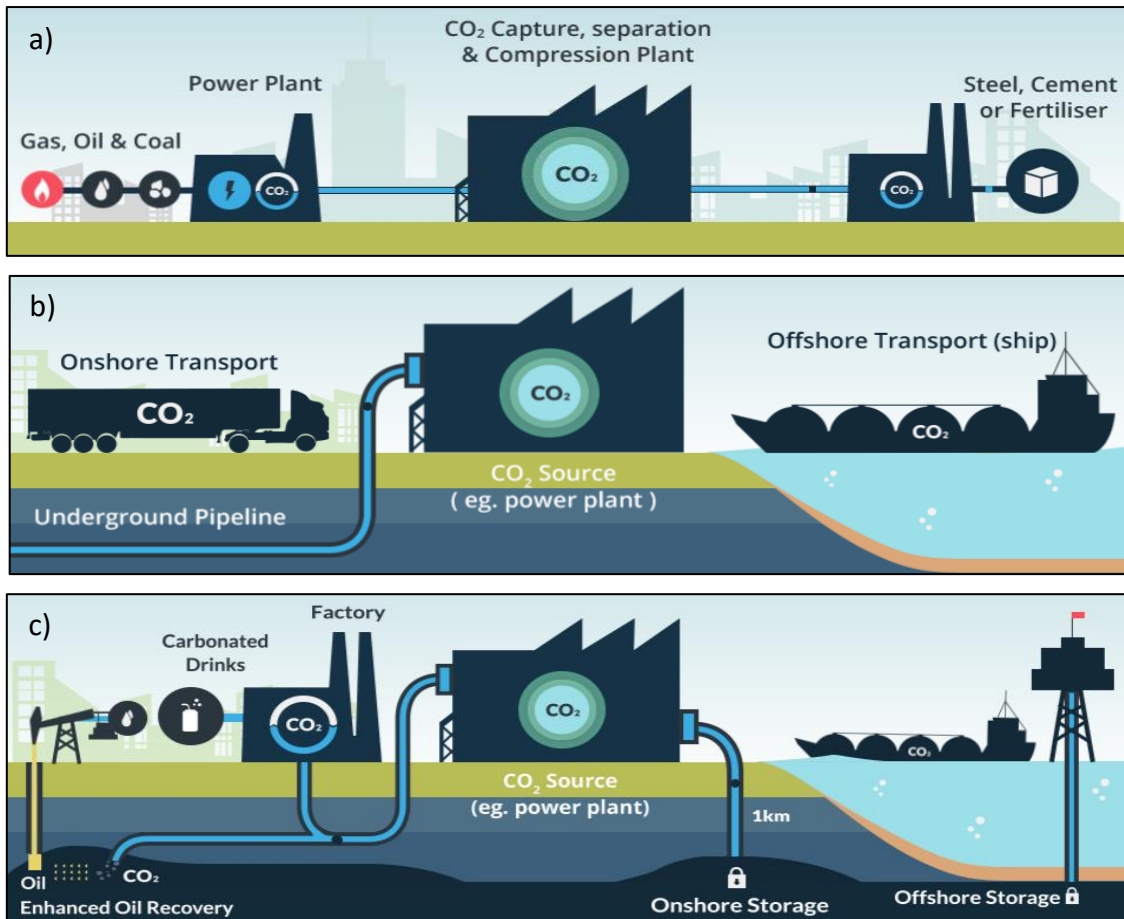
### **Δέσμευση, μεταφορά και αποθήκευση του CO<sub>2</sub>**

Η δέσμευση και αποθήκευση του CO<sub>2</sub> περιλαμβάνει μία σειρά νέων τεχνολογιών που μπορούν να αποτρέψουν την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων του CO<sub>2</sub>.

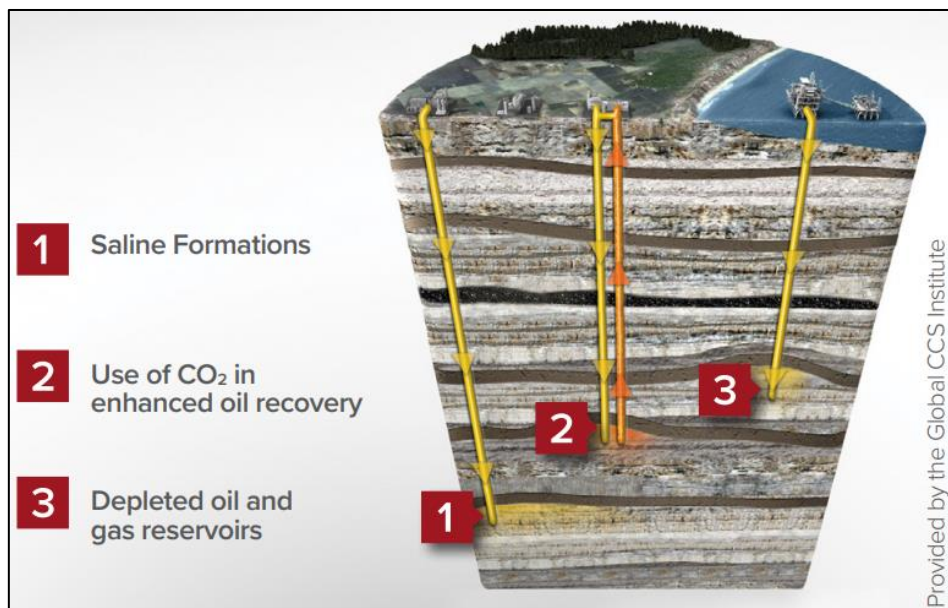
Η τεχνολογία CCS περιλαμβάνει τρία σημαντικά βήματα (Global CCS institute, 2019):

- **Δέσμευση του CO<sub>2</sub>**, όπου γίνεται διαχωρισμός από άλλα αέρια που παράγονται σε μεγάλες εγκαταστάσεις βιομηχανικής επεξεργασίας, όπως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γαιάνθρακα (π.χ. σταθμός Κοζάνης, Πτολεμαΐδα) και φυσικό αέριο (π.χ. Elpedison), χαλυβουργεία (π.χ. Χαλυβουργική), εργοστάσια τσιμέντου (π.χ. TITAN) και διυλιστήρια (π.χ. MOTOROIL) (**Εικόνα 2a**).
- **Μεταφορά CO<sub>2</sub>**, αφού διαχωριστεί το CO<sub>2</sub> συμπιέζεται και μεταφέρεται μέσω αγωγών, φορτηγών, πλοίων ή άλλων μεθόδων σε κατάλληλο χώρο για γεωλογική αποθήκευση (**Εικόνα 2b**).
- **Αποθήκευση CO<sub>2</sub>**, είναι το τελευταίο βήμα της αλυσιδωτής διαδικασίας CCS. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει αποθήκευση σε ωκεανούς, την αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς και ορυκτό άνθρακα (**Εικόνα 2c**). Η γεωλογική αποθήκευση θεωρείται ως η μεγαλύτερη βιώσιμη επιλογή και περιλαμβάνει εξαντλημένες δεξαμενές πετρελαίου και φυσικού αερίου, σχηματισμούς γαιάνθρακα, αλατούχους σχηματισμούς, σχηματισμούς βασάλτη καθώς και την αποθήκευση ενυδατωμένου CO<sub>2</sub> στο υποθαλάσσιο περιβάλλον (Bui et al., 2018).

Η γεωλογική αποθήκευση αερίων γίνεται σε παρόμοια γεωλογικά συστήματα σε ολόκληρο τον κόσμο των οποίων τα γεωλογικά χαρακτηριστικά συνθέτουν τις ονομαζόμενες ιζηματογενείς λεκάνες. Σχεδόν όλη η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου που σχετίζεται με τις ιζηματογενείς λεκάνες καθώς και οι τύποι των γεωλογικών σχηματισμών που παγιδεύουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο είναι παρόμοια με αυτούς που δημιουργούν τους καλούς ταμειυτήρες αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (**Εικόνα 3**).



**Εικόνα 2:** α) Τα καύσιμα όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο «καίγονται» για την παραγωγή ενέργειας, β) μεταφορά μέσω αγωγών, πλοίων και φορτηγών και γ) αποθήκευση του CO<sub>2</sub> όπου εγγέεται σε βαθείς γεωλογικούς σχηματισμούς (>1Km) και μπορεί να παραμείνει επ' αόριστον. Το CO<sub>2</sub> έχει πολλές χρήσεις, όπως στην βιομηχανία τροφίμων και αναψυκτικών με την τοποθέτηση του αερίου στην σόδα αλλά και στην ενισχυμένη ανάκτηση πετρελαίου (Enhanced Oil Recovery, EOR) (Global CCS institute, 2019).



**Εικόνα 3:** Διαθέσιμες επιλογές που υπάρχουν για τη αποθήκευση του CO<sub>2</sub> σε βαθείς γεωλογικούς σχηματισμούς: 1. Βαθείς αλατούχοι σχηματισμοί (Saline Formations) 2. Έγχυση CO<sub>2</sub> για ανάκτηση πετρελαίου, EOR (Enhanced Oil Recovery) 3. εξαντλημένα πεδία υδρογονανθράκων (depleted oil and gas reservoirs) τα οποία αργότερα καθιερώθηκαν ως κατάλληλοι χώροι παγίδευσης και αποθήκευσης (Global CCS institute, 2019).

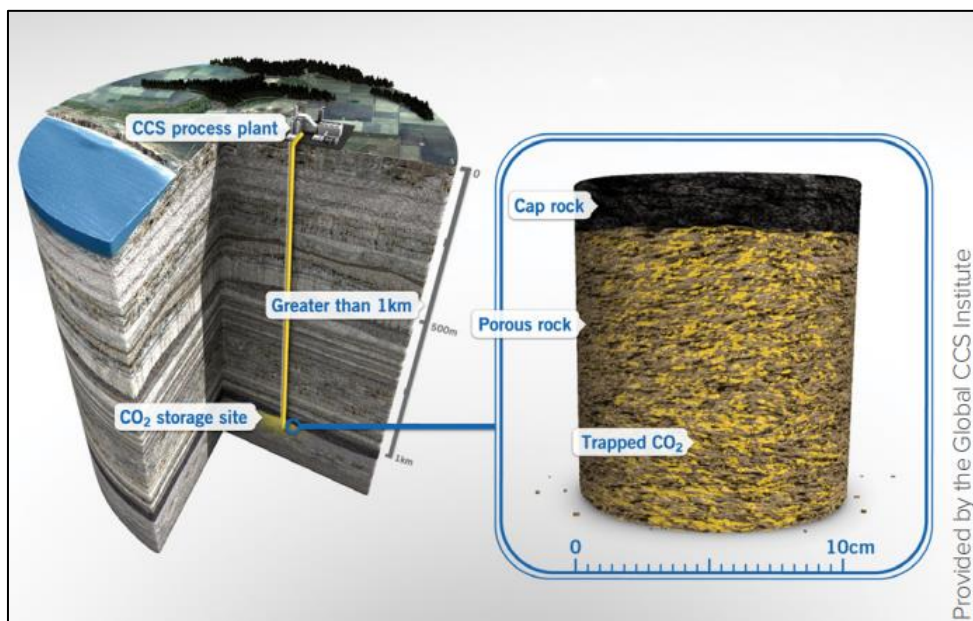
Συνήθως τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αποτελεσματικούς χώρους γεωλογικής αποθήκευσης είναι τα ακόλουθα (Global CCS institute, 2019):

- Οι σχηματισμοί πετρώματος που έχουν αρκετά καλό πορώδες ή κενά (σε χιλιοστά) για να παρέχουν την ικανότητα αποθήκευσης του CO<sub>2</sub> **(Εικόνα 4)**
- Οι πόροι στα πετρώματα αυτά να είναι επαρκώς συνδεδεμένοι, δηλαδή να έχουν καλή διαπερατότητα ώστε το CO<sub>2</sub> να εγχέεται με ένα καλό ρυθμό, να κινείται και να εξαπλώνεται εντός του σχηματισμού **(Εικόνα 4)**
- Ένα πέτρωμα-κάλυμμα (sealing caprock) στα άνωθεν του ταμιευτήρα-σχηματισμού ώστε να αποτρέψει την πιθανή διαφυγή του CO<sub>2</sub> **(Εικόνα 4)**

Είναι σημαντικό η γεωλογική αποθήκευση να γίνεται όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ασφάλεια έτσι ώστε το εισπνεζόμενο CO<sub>2</sub> να κατακρατείται μόνιμα στο γεωλογικό ταμιευτήρα. Επιπλέον, πρέπει να αναγνωρίζονται και να αξιολογούνται οι πιθανοί "διάδρομοι" διαφυγής (leakage pathways) του CO<sub>2</sub> από τους ταμιευτήρες.

Άλλες παράμετροι είναι:

- Όγκος ταμιευτήρα: το πάχος και το εμβαδόν του ταμιευτήρα πρέπει να είναι επαρκή για την δημιουργία μεγάλου όγκου αποθήκευσης
- Βάθος: το CO<sub>2</sub> πρέπει να αποθηκεύεται ως υπερκρίσιμο ρευστό (ένα ρευστό που να διαθέτει χαρακτηριστικά τόσο του υγρού όσο και του αερίου, δηλαδή να είναι συμπίεσιμα και να παρουσιάζουν πυκνότητες ρευστού τύπου). Αυτό επιτυγχάνεται σε βάθος >800 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης
- Τεκτονική (σεισμική) δραστηριότητα: οι χώροι αποθήκευσης πρέπει να είναι τεκτονικά σταθεροί
- Ορυκτολογία: οι ταμιευτήρες και τα πετρώματα (π.χ. βασάλτες, Βόλος) πρέπει να περιέχουν ορυκτά (π.χ. μαφικά ορυκτά πλούσια σε ασβέστιο) τα οποία θα μπορούν να εξυπηρετήσουν τη δέσμευση CO<sub>2</sub> από το πέτρωμα.



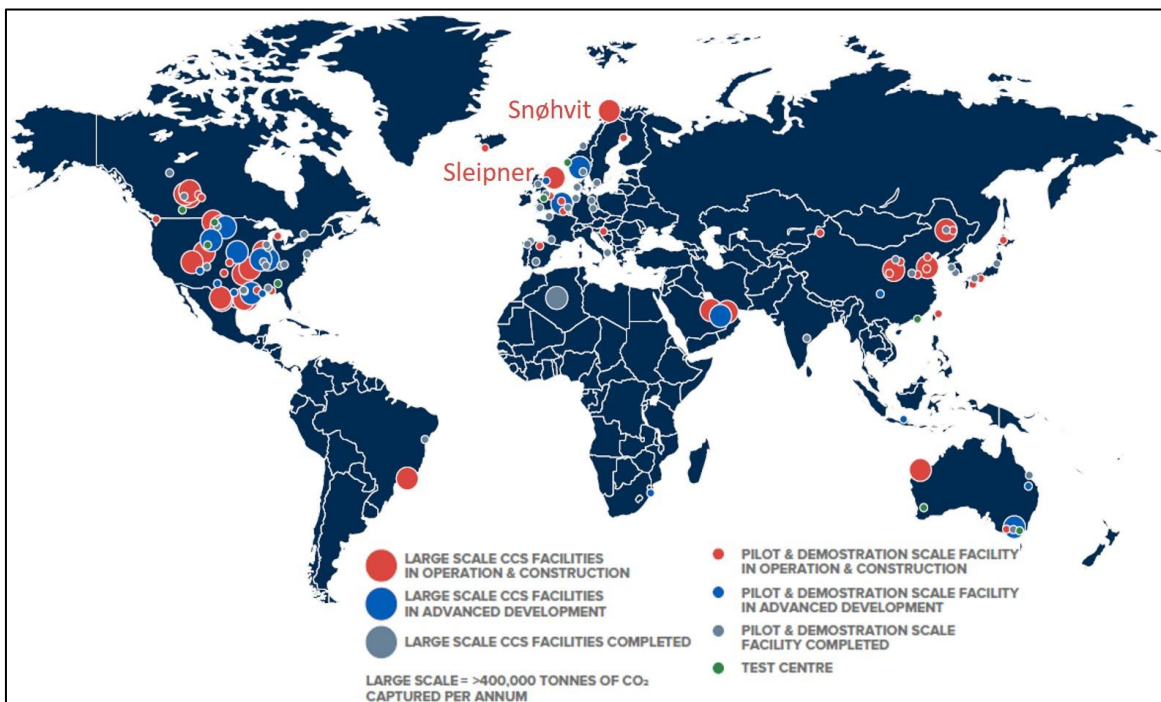
**Εικόνα 4:** Γεωλογικά χαρακτηριστικά που καθιστούν αποτελεσματική την παγίδευση και αποθήκευση του CO<sub>2</sub> (Global CCS institute, 2019).

## Σύντομη επισκόπηση των έργων CCS παγκοσμίως

Το CSS είναι μια αποδεδειγμένη τεχνολογία και βρίσκεται σε ασφαλή, εμπορική λειτουργία για 45 χρόνια. Σε χώρες που χρησιμοποιείται η τεχνολογία CCS ήδη μειώνονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Ο παγκόσμιος χάρτης στην Εικόνα 5 δείχνει την αυξανόμενη παρουσία CCS μεγάλης κλίμακας έως το έτος 2019. Συνολικά τα έργα CCS στον παγκόσμιο χάρτη ανέρχονται σε 51, εκ των οποίων, τα 19 είναι σε λειτουργία, 4 είναι σε υπό κατασκευή, 10 βρίσκονται σε προηγμένη ανάπτυξη και 18 σε πρώιμη ανάπτυξη (Global CCS Institute Report, 2019).

Αυτοί που λειτουργούν και ήδη κατασκευάζονται παγκοσμίως έχουν την δυνατότητα να δεσμεύσουν και να αποθηκεύσουν περίπου 40 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> ανά έτος. Επίσης, αυτό αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου ένα εκατομμύριο τόνους τους επόμενους 12-18 μήνες. Στην Ευρώπη, η Μεγάλη Βρετανία φιλοξενεί τις περισσότερες εγκαταστάσεις (22), ακολουθούμενη από την Νορβηγία (12), την Ολλανδία (10) και την Γερμανία (9) (Global CCS Institute Report, 2019).

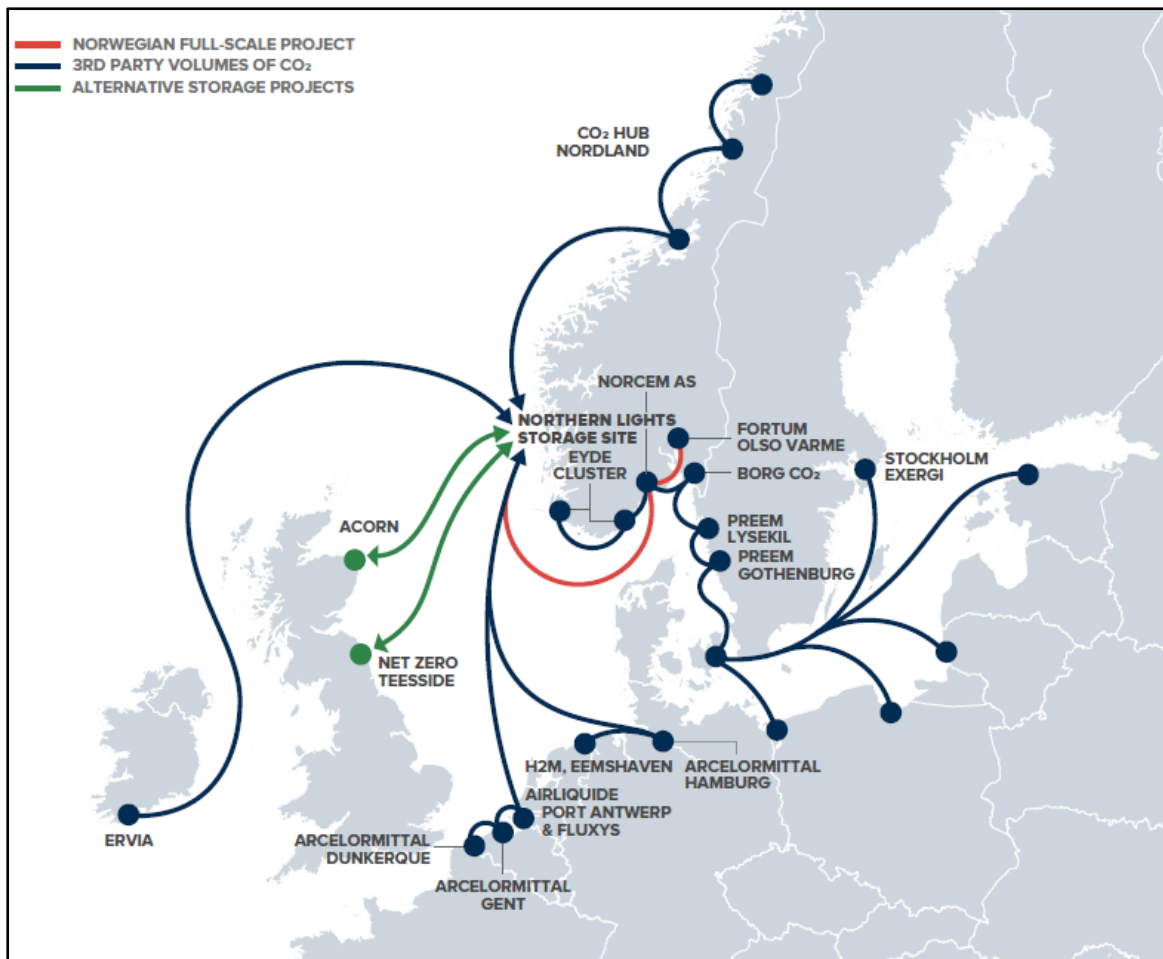
Πολλές από αυτές τις εγκαταστάσεις (35%) δεν αποθηκεύουν απλά το CO<sub>2</sub> αλλά το μετατρέπουν σε άλλες ουσίες ή προϊόντα με υψηλότερη οικονομική αξία (π.χ. πλαστικά, σκυρόδεμα, βιοκαύσιμα) διατηρώντας την ουδετερότητα του άνθρακα στις διαδικασίες παραγωγής. Το 23% αποθηκεύει το CO<sub>2</sub> σε αλατούχους σχηματισμούς και το 15% σε εξαντλημένους γεωλογικούς σχηματισμούς πετρελαίου και φυσικού αερίου (π.χ. Lacq CS pilot, Γαλλία) (Global CCS Institute Report, 2019).



Εικόνα 5: Παγκόσμιος χάρτης μεγάλης κλίμακας CCS έργα, ενδεικτικά αυτά των Sleipner, Norwegian North Sea και Snøhvit, Norwegian Barents Sea (τροποποιημένη από Global CCS Institute, 2019).

Τα μοναδικά έργα σε πλήρη και ασφαλή λειτουργία που αποθηκεύουν το CO<sub>2</sub> σε βαθείς αλατούχους σχηματισμούς είναι αυτά της Statoil-Equinor (Sleipner και Snøhvit) στη Νορβηγία (**Εικόνα 5**). Η Νορβηγία είναι ηγέτιδα χώρα στην ανάπτυξη CCS παγκοσμίως και τα τελευταία 20 χρόνια έχει αποθηκεύσει 20MT CO<sub>2</sub> (Global CCS Institute, 2019). Είναι αξιοσημείωτο ότι ένα ισχυρό κίνητρο για την υλοποίηση τέτοιας κλίμακας έργων στην χώρα αυτή είναι ο φόρος άνθρακα (carbon tax).

Επίσης, μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις παγκοσμίως που ασχολούνται με τον έλεγχο και την βελτίωση της δέσμευσης CO<sub>2</sub>, αλλά και τις πιθανές θέσεις αποθήκευσης είναι το Τεχνολογικό Κέντρο του Μόνγκστατ στην Νορβηγία (Technology Center Mongstad). Πρόσφατα, ένα προγραμματισμένο και μεγαλόπνοο έργο CCS πλήρους κλίμακας θα περιλαμβάνει τη δεύσμευση CO<sub>2</sub> σε πολλαπλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στη συνέχεια τη μεταφορά εν πλω και μετέπειτα αποθήκευση. Το έργο αυτό ονομάζεται “Βόρειο Σέλλας” (Northern lights) και θα το διαχειρίζεται η Equinor με συνεργάτες την Total και την Shell (Global CCS Institute Report, 2019) (**Εικόνα 6**).



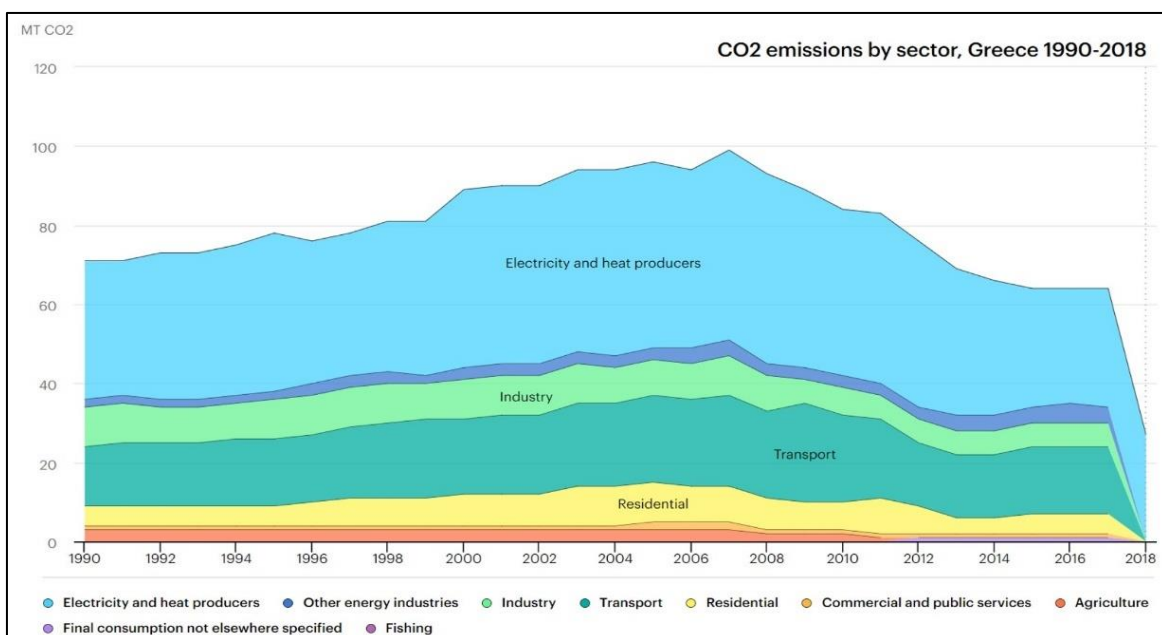
**Εικόνα 6:** Η Δυτική Ευρώπη μπορεί να αποθηκεύσει και να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> μέσω του έργου “Northern lights” (Global CCS Institute, 2019).

## Εκπομπές CO<sub>2</sub> και γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα

Μία από τις μεγαλύτερες πηγές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα είναι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση γαιάνθρακα (λιγνίτη) στην Δυτική Μακεδονία κατατάσσοντας την Ελλάδα δεύτερη ευρωπαϊκά και έκτη παγκοσμίως στην παραγωγή λιγνίτη. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, οι οχτώ σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής λιγνίτη της ΔΕΗ παράγουν το 56% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας (ΔΕΗ Α.Ε., 2020).

Η χρήση αυτής της σημαντικής ενέργειας αποτελεί μια σημαντική πρόκληση, λόγω της τεράστιας ποσότητας εκπεμπομένων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια καύσης του λιγνίτη π.χ. στη Κοζάνη (περιοχή Πτολεμαΐδας) με 22.5Mt/yr CO<sub>2</sub> και στην Πελοπόννησο (5Mt/yr CO<sub>2</sub>). Στις μεγάλες αστικές περιοχές των Αθηνών και της Θεσσαλονίκης, οι ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> προσεγγίζουν τους 5Mt/yr και 1.6Mt/yr αντίστοιχα (Khan I., 2006). Σύμφωνα με την IEA (2018) οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα ήταν 64.6 εκατομμύρια τόνοι, συμπεριλαμβανομένης μιας μεγάλης ποσότητας από τον λιγνίτη που πυροδοτήθηκε σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας (**Εικόνες 7 και 8**). Ωστόσο, στο ίδιο διάγραμμα (**Εικόνα 7**) παρατηρείται γενικά μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από το 2010 μέχρι σήμερα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε στις συνέπειες της πολυετούς οικονομικής κρίσης της χώρας είτε στην συνολικότερη προσπάθεια των τελευταίων κυβερνήσεων που έχουν εντάξει στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων του CO<sub>2</sub>.

Οι τεχνολογίες CCS, παγκοσμίως αλλά και στην Ευρώπη όπως προαναφέρθηκε (**Πίνακες 1 και 2 του Παραρτήματος**) (**Εικόνα 5**) απέχουν αρκετά από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας και η μεταφορά του CO<sub>2</sub> είναι μια κοστοβόρα αλλά και σχεδόν ανέφικτη διαδικασία. Ως εκ τούτου, η έρευνα για υποψήφιους χώρους γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα κρίνεται αναγκαία.

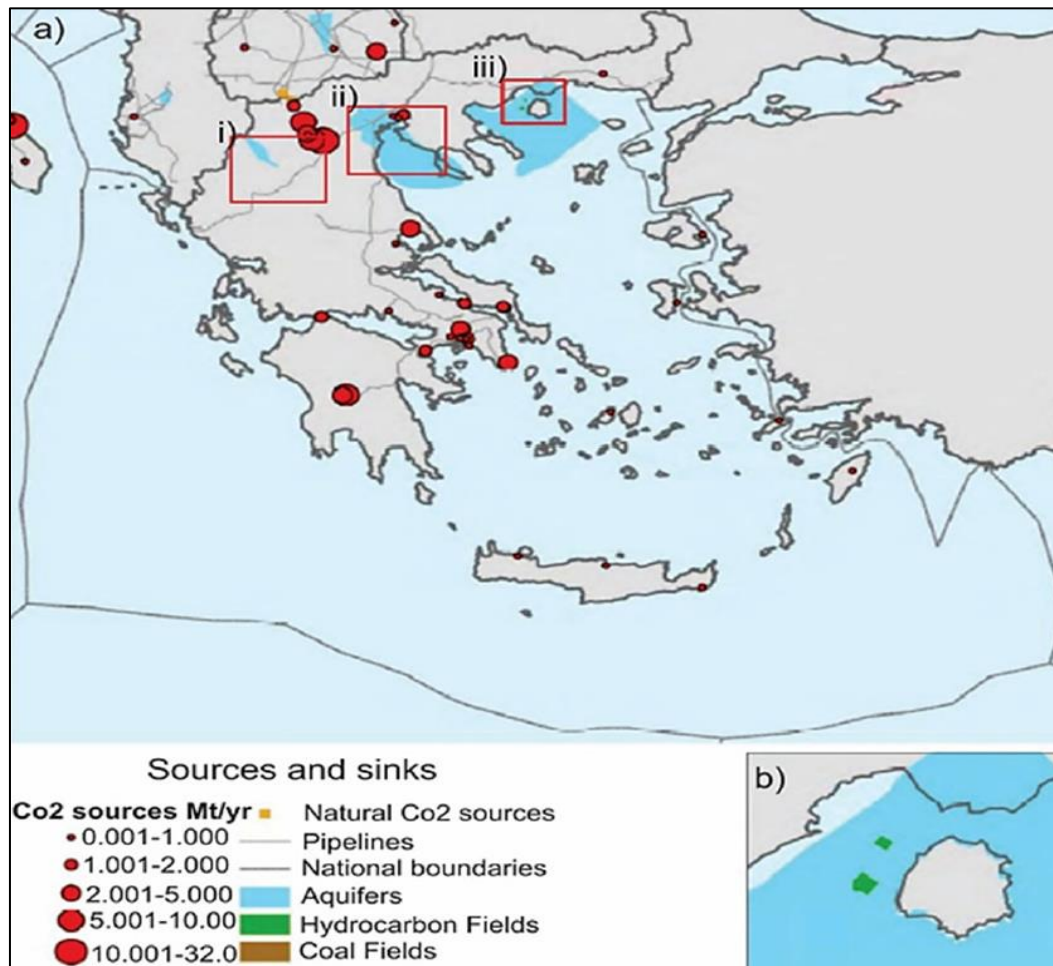


**Εικόνα 7:** Εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα από διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που προέρχονται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (IEA, 2018).

Την τελευταία δεκαετία έχουν δημοσιευτεί μερικές έρευνες σχετικά με πιθανές περιοχές αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα όπως φαίνεται ενδεικτικά στον Πίνακα 1. Λεπτομερής αναφορά αυτών θα γίνει σε παρακάτω ενότητα.

Πιθανές περιοχές αποθήκευσης CO <sub>2</sub>	Δημοσιεύσεις
Πρίνος, Καβάλα, Β. Ελλάδα	Tasianas et al., 2016
Μεσοελληνική Αύλακα, (Πεντάλοφος και Επταχώριο)	Tasianas et al., 2016
Μεσοελληνική Αύλακα, (Πεντάλοφος και Τσοτύλιο)	Koukouzas et al., 2018
Δυτική Θεσσαλονίκη	Hatziyannis, 2009

Πίνακας 1: Συνοπτική λίστα επιστημονικών εργασιών σχετικά με πιθανές περιοχές γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>.



**Εικόνα 8:** Χάρτης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, των υποδομών και χωρητικότητα αποθήκευσης στην Ελλάδα, i) στη Μεσοελληνική Αύλακα, ii) στη Δυτική Θεσσαλονίκη, iii) στη Λεκάνη του Πρίνου και b) περαιτέρω λεπτομέρειες για τα κοιτάσματα υδρογονανθράκων στη Λεκάνη του Πρίνου. Στην λεκάνη αυτή η γεωλογική αποθήκευση του CO<sub>2</sub> είναι εφικτή και στον υποκείμενο υποθαλάσσιο υδροφόρο ορίζοντα (aquifer) του ημι-εξαντλημένου ταμιευτήρα υδρογονανθράκων (Hatziyannis, 2009).



## Διεθνή πρότυπα και βέλτιστες πρακτικές σχετικά με την περιγραφή καταλληλότητας θέσεων γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μία επισκόπηση των διεθνών προτύπων και βέλτιστων πρακτικών, απαιτούμενων ευρωπαϊκών νομοθετικών πράξεων και κατευθυντήριων οδηγιών σχετικά με τη γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub>.

Πιο συγκεκριμένα, τα Εγχειρίδια Βέλτιστων και Συνιστώμενων Πρακτικών περιλαμβάνουν όλες τις εκδόσεις σχετικά με:

- Την επιλογή, χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (**Πίνακας 3 του Παραρτήματος**)
- Τις Βέλτιστες Πρακτικές (Best Practices Manuals – BMPs) και τις Συνιστώμενες Πρακτικές (Recommended Practices – RPs) για την επιλογή, χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (**Πίνακας 4 του Παραρτήματος**)
- Τις νομοθετικές πράξεις και την ευρωπαϊκή οδηγία σχετικά με την επιλογή, το χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>, όπως παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω στον Πίνακα 2 (CSLF, 2013).
- Τις Βέλτιστες Πρακτικές που αφορούν στον υπολογισμό της αποθηκευτικής χωρητικότητας μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (**Πίνακας 5 του Παραρτήματος**)

Έτος δημοσίευσης	Φορέας	Τίτλος Δημοσίευσης
June 2007	OSPAR	OSPAR Decision 2007/2 on the Storage of Carbon Dioxide Streams in Geological Formations
July 2008	EPA <sup>1</sup> (USA)	Federal Requirements Under the Underground Injection Control (UIC) Program for Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) Geologic Sequestration (GS) Wells
2008	United Kingdom (UK)	Energy Act 2008

---

<sup>1</sup> EPA: Environmental Protection Agency

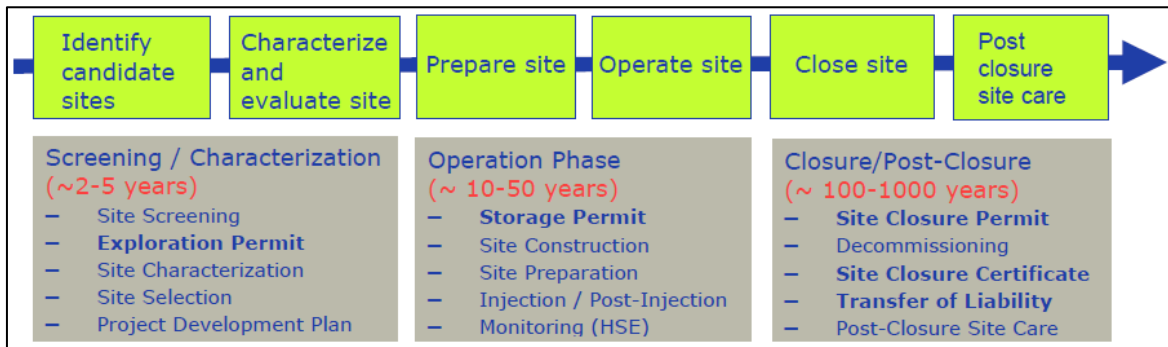
Έτος δημοσίευσης	Φορέας	Τίτλος Δημοσίευσης
2008-2011	Australia	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Offshore Petroleum Amendment (Greenhouse Gas Storage) Act 2008 (OPGGS Act)</li> <li>-Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage (Environment) Regulations 2009</li> <li>-Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage (Management of Greenhouse Gas Well Operations) Regulations 2010</li> <li>-Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage (Resource Management and Administration) Regulations 2011 (RMA Regs)</li> <li>-Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage (Injection and Storage) Regulations 2010 Draft)</li> </ul>
April 2009	European Parliament (Ευρωπαϊκή Επιτροπή)	(in Greek) - Οδηγία 2009/31/ΕΚ σχετικά με την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς και για την τροποποίηση της οδηγίας 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου, των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2000/60/ΕΚ, 2001/80/ΕΚ, 2004/35/ΕΚ, 2006/12/ΕΚ και 2008/1/ΕΚ, και του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1013/2006
December 2010	EPA <sup>1</sup> (USA)	Final rule for Federal Requirements Under the Underground Injection Control (UIC) Program for Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) Geologic Sequestration (GS) Wells
December 2010	Canada (Alberta)	Carbon Capture and Storage Statutes Amendments Act 2010
2006, 2007 & 2012	IMO <sup>2</sup>	London Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972 and 1996 Protocol Thereto

**Πίνακας 2:** Νομοθετικές πράξεις και σχετική ευρωπαϊκή οδηγία σχετικά με την επιλογή, τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μιας θέσης γεωλογική αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CSLF, 2013).

<sup>2</sup> IMO: International Maritime Organization

## Στάδια εξέλιξης και περιγραφή μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

Τα κύρια στάδια εξέλιξης ενός έργου γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> περιλαμβάνουν διάφορες φάσεις (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Κύρια στάδια εξέλιξης ενός έργου γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Τα πλαίσια με πράσινο χρώμα αποτελούν τους κύριους στόχους, ενώ με γκρι χρώμα αναφέρονται στις ενέργειες που πρέπει να γίνουν σε κάθε φάση (Aarnes et al., 2008).

Η πρώτη φάση (κατά προσέγγιση 2-5 χρόνια) περιλαμβάνει την αναγνώριση (site identification), αρχική αξιολόγηση (site screening and characterization) και τελικά την επιλογή της δυνητικά κατάλληλης περιοχής γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (Aarnes et al., 2008). Στα αρχικά στάδια διεξάγονται περιφερειακές μελέτες μέσω εξερεύνησης και ταυτοποίησης υποψήφιων γεωλογικών σχηματισμών (και εντός ιζηματογενών λεκανών), οι οποίοι πληρούν τις συνθήκες για αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Τέτοιες περιοχές συνήθως περιλαμβάνουν πετρώματα με αρκετά καλή διαπερατότητα όπως ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος, ώστε να διαχέεται και να μετακινείται με ευκολία το CO<sub>2</sub>. Ο βασικός στόχος της φάσης χαρακτηρισμού της τοποθεσίας είναι η συλλογή γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων, με τα οποία μπορούν να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά μίας περιοχής (π.χ. ιζηματογενής λεκάνης), όπως το τεκτονικό καθεστώς, το πάχος, το εύρος στρωμάτων αλλά και η ποιότητα των ιζημάτων. Τα γεωφυσικά δεδομένα που μπορούν χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό θέσεων (εντός της ιζηματογενής λεκάνης) είναι δισδιάστατα ή τρισδιάστατα σεισμικά (2D/3D reflection seismic), βαρυτικά δεδομένα (Gravity data) και μαγνητικά δεδομένα (Magnetic data). Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα δεδομένα θα βοηθήσουν (Aarnes et al., 2008):

- Στην οριοθέτηση της υπόγειας γεωλογικής δομής (π.χ. ρήγματα, πτυχώσεις)
- Στην χαρτογράφηση της στρωματογραφίας (και υποθαλάσσιας), όχι μόνο του ταμιευτήρα (target storage reservoir) αλλά και του “καλύμματος” (caprock) καθώς επίσης και των ρηχών σχηματισμών που σχετίζονται με υδροφόρους ορίζοντες και
- Στην χαρτογράφηση του «καλύμματος» για τον εντοπισμό πιθανών διαδρόμων διαρροής (π.χ. ρήγματα, gas chimneys) στα υπερκείμενα στρώματα

Οι Chadwick et al. (2008) έχουν περαιτέρω προτείνει ένα σύνολο γεωλογικών – γεωφυσικών δεδομένων που μπορούν να συμβάλλουν σε μια επιτυχή αξιολόγηση μιας θέσης για αποθήκευση CO<sub>2</sub>.

Τα αποτελέσματα από τον χαρακτηρισμό της υποψήφιας θέσης συνήθως παρέχουν τη βάση για μια έκθεση αξιολόγησης απόδοσης της αποθήκευσης, η οποία και υποβάλλεται στο πλαίσιο της αίτησης-άδειας για γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Επίσης, στην αξιολόγηση και στο χαρακτηρισμό θα πρέπει να τεκμηριώνεται ότι στον υποψήφιο χώρο το CO<sub>2</sub> θα μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια και δεν θα υπάρξουν τυχόν διαρροές οι οποίες θα είναι ενάντια στο ανθρώπινο οικοσύστημα. Αυτό ευθυγραμμίζεται πλήρως με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/31ΕΚ, (European Parliament 2009) σχετικά με την καταλληλότητα του τόπου αποθήκευσης (storage site) και την περιβάλλουσα γεωλογική περιοχή τα οποία συνιστούν το συγκρότημα αποθήκευσης (storage complex site),

*«Η καταλληλότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού για χρήση του ως τόπου αποθήκευσης κρίνεται κατόπιν χαρακτηρισμού και αξιολόγησης του δυνητικού συγκροτήματος αποθήκευσης και της γύρω περιοχής κατ' εφαρμογή των κριτηρίων που ορίζονται στο Παράρτημα Ι»*

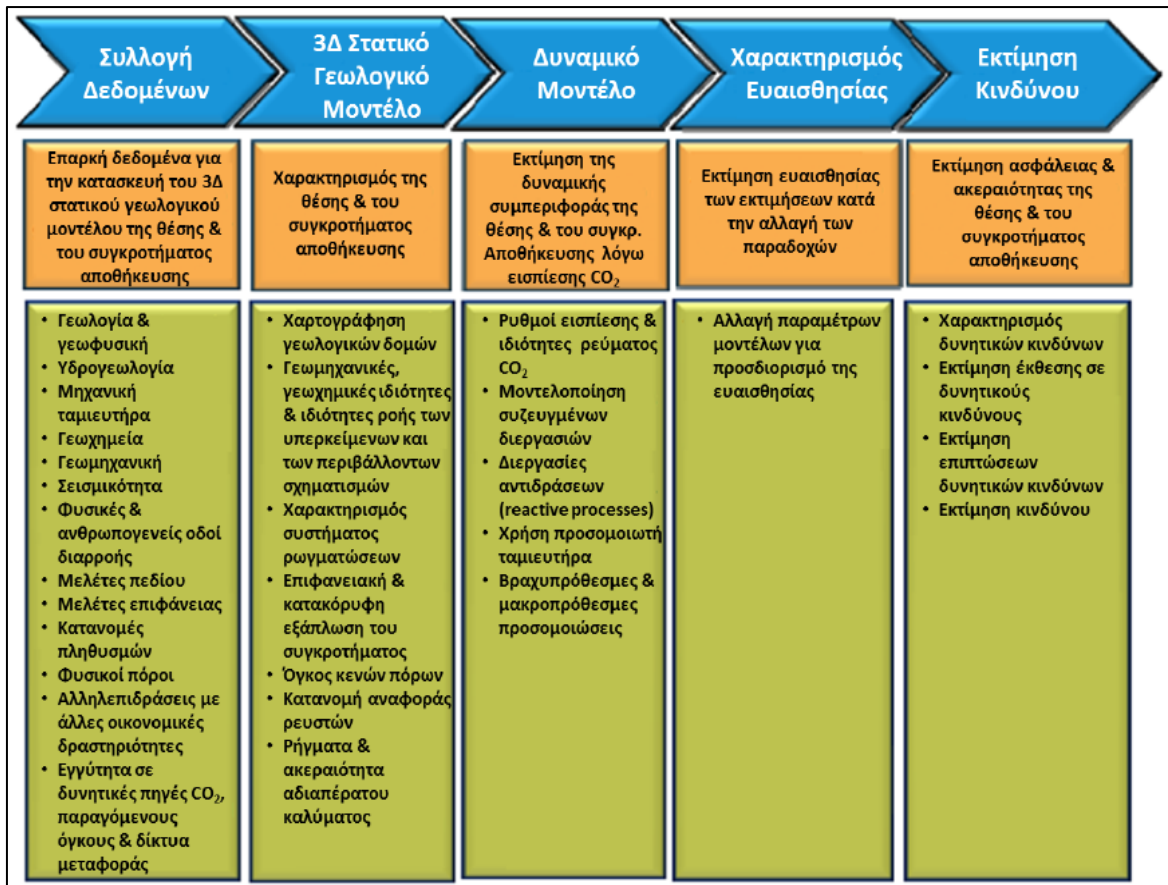
Περαιτέρω,

*«Ένας γεωλογικός σχηματισμός επιλέγεται ως τόπος αποθήκευσης μόνον εάν, υπό τις προτεινόμενες προϋποθέσεις χρήσης, δεν υφίσταται σημαντικός κίνδυνος διαρροής, ούτε σημαντικός κίνδυνος για το περιβάλλον ή την υγεία»*

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις Οδηγίες IEAGHG (2009) και καθοδηγητικό έγγραφο European Communities (2011) η καταλληλότητα της προτεινόμενης θέσης με βάση την ασφάλεια και την μονιμότητα (μακροχρόνια) αποθήκευσης του CO<sub>2</sub> καθορίζεται από τα ακόλουθα κριτήρια:

- **Αποθηκευτική χωρητικότητα (Storage capacity):** Να υπάρχει δηλαδή επαρκής όγκος κενός στον σχηματισμό για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> και να επιδέχεται εισπίεσης
- **Ακεραιότητα (Integrity):** Η προτεινόμενη θέση να παρουσιάζει ασφάλεια ως προς την παγίδευση του αποθηκευμένου CO<sub>2</sub>
- **Εισπιεσιμότητα (Injectivity):** Να διασφαλιστεί στην προτεινόμενη θέση και πιο συγκεκριμένα εντός του σχηματισμού αποθήκευσης η διατήρηση εισπίεσης του εγχεόμενου CO<sub>2</sub> με ανάλογο ρυθμό παροχής από τη βιομηχανία. Επίσης να μπορεί να επιδέχεται ανθρώπινης παρέμβασης για τη βελτίωση της εισπίεσης του σχηματισμού (π.χ. υδραυλική ρωγμάτωση), ώστε να καταστεί κατάλληλος και βιώσιμος για πολλά χρόνια, καθώς και
- **Υδροδυναμικά φαινόμενα (Hydrodynamics) και Παρακολουθησιμότητα (Monitoring HSE)**

Στο παρακάτω διάγραμμα (**Εικόνα 10**) γίνεται μια επισκόπηση των περαιτέρω φάσεων (π.χ. συλλογή δεδομένων, κατασκευή 3D στατικού γεωλογικού μοντέλου του εν δυνάμει ταμειυτήρα αποθήκευσης CO<sub>2</sub> και χαρακτηρισμός της δυναμικής συμπεριφοράς της αποθήκευσης) για τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση των συγκροτημάτων αποθήκευσης και της περιβάλλουσας γεωλογικής περιοχής σύμφωνα με το Παράρτημα 1 της Οδηγίας 2009/31/ΕΚ (European Communities 2011).



Εικόνα 10: Τα μπλέ πλαίσια αναφέρονται στις φάσεις, με πορτοκαλί στους στόχους και με πράσινο χρώμα στα περαιτέρω στοιχεία που πρέπει να εξεταστούν σε κάθε φάση χαρακτηρισμού και αξιολόγησης συγκροτήματος αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (Παράρτημα 1 της Οδηγίας 2009/31/ΕΚ, European Communities 2011).

Η φάση της όλης λειτουργίας (operation phase, προσεγγιστικά 10-50 χρόνια) περιλαμβάνει την κατασκευή και την προετοιμασία του συγκροτήματος αποθήκευσης πριν και μετά την εισπίαση του CO<sub>2</sub> (Εικόνα 9). Αφότου πραγματοποιηθεί και αξιολογηθεί το γεωλογικό μοντέλο και γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του συγκροτήματος αποθήκευσης ώστε να μην υπάρξει σημαντικός κίνδυνος διαφυγής CO<sub>2</sub>, ο διαχειριστής του έργου μπορεί να προετοιμαστεί για το κλείσιμο της τοποθεσίας αυτής. Η άδεια παύσης του έργου μπορεί να χορηγηθεί βάσει μίας τελικής έκθεσης αξιολόγησης αποθήκευσης που να υποδεικνύει με λεπτομέρεια την μη ύπαρξη διαφυγής CO<sub>2</sub>. Μετά τον παροπλισμό εκδίδεται ένα πιστοποιητικό “κλεισίματος” συμπεριλαμβανομένων των συνακόλουθων νομικών υποχρεώσεων από την ρυθμιστική αρχή (σε εθνικό επίπεδο θα μπορούσε να είναι π.χ. η ΕΔΕΥ ΑΕ). Τέλος, μετά το πέρας της φραγής του συγκροτήματος αποθήκευσης η ρυθμιστική αρχή, με δικιά της πλέον ευθύνη, θα διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που θα επιβεβαιώνουν ότι το αποθηκευμένο CO<sub>2</sub> θα συγκρατηθεί με ασφάλεια για εκατοντάδες χρόνια (Aarnes et al., 2008).

## Τα περιβαλλοντικά οφέλη, τα μειονεκτήματα και οι κίνδυνοι των τεχνολογιών CCS

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (Carbon Capture Storage, CCS) είναι ένα κρίσιμο ζήτημα για τον προσδιορισμό του κατά πόσον αυτή η τεχνολογία θα πρέπει να αποτελεί μέρος της σειράς επιλογών που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Καθώς ο σκοπός της τεχνολογίας CCS είναι να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο περιβάλλον, τα περιβαλλοντικά οφέλη αυτής της τεχνολογίας θα πρέπει να αντισταθμίσουν τους πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους.

### Οφέλη

Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος είναι η προοπτική της μετρήσιμης μείωσης του CO<sub>2</sub> όσο τα ορυκτά καύσιμα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται. Αυτή η προοπτική βέβαια εξαρτάται από την ποσότητα CO<sub>2</sub> που δεσμεύεται και την ποσότητα που χάνεται από την μεταφορά του και από την μακροχρόνια αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Επίσης τα οφέλη θα πρέπει να μετρώνται σε αντιπαραβολή με το επίπεδο κινδύνου για το περιβάλλον σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες CCS. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες (Matysek et al., 2006) όπου μοντελοποιούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου με χρήση τεχνολογιών CCS και χωρίς χρήση CCS τα αποτελέσματα έδειξαν την προοπτική της πρώτης περίπτωσης να συμβάλει σημαντικά στον περιορισμό της παγκόσμιας εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Βέβαια αυτό προϋποθέτει η χρήση CCS να χρησιμοποιηθεί εκτενώς και ιδιαίτερα από χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία και οι ΗΠΑ. Οι χώρες αυτές μαζί εκπέμπουν το 41% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GreenHouse Gas-GHG). Κοινώς, η χρήση CCS σε μικρές και απομονωμένες κλίμακες δεν θα έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα και πρέπει να αποτελέσει παγκόσμια τακτική.

Μέχρι τώρα, χώρες οι οποίες σκέφτονται σοβαρά τις προοπτικές της τεχνολογίας CCS εντός νομοθετικού πλαισίου είναι το Ηνωμένο Βασίλειο (H.B.) και η Αυστραλία (House of Commons, Science and Technology Committee, 2005-2006; Matysek et al., 2006). Μάλιστα, έχουν υπολογίσει πως με τέτοιες τεχνολογίες η μείωση εκπομπών GHG λόγω CCS μπορεί να προσθέσει ένα 7,8% στο 18% που θα προκύψει από χρήση άλλων τεχνολογιών μείωσης εκπομπών φτάνοντας ένα σύνολο που αθροίζεται στο 25,8%.

Οι Βρετανοί θεωρούν πως μετά το 2020 το CCS θα έχει ένα ζωτικό ρόλο στο να πετύχει το Η.Β. τους στόχους που έχει θέσει για το 2050 όσον αφορά την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 60% σε σχέση με το 1990 (House of Commons, Science and Technology Committee, 2005-2006).

Σε μοντέλο του MIT (2007) σχετικά με την χρήση και την επίδραση του CCS παρουσιάζεται ελάχιστη χρήση τέτοιων τεχνολογιών πριν το 2030 και σημαντική ανάπτυξη (αν και όχι καθολική) 2030 έως το 2050. Μέχρι το 2050, η μοντελοποίηση του MIT προβλέπει ότι, με καθολική ταυτόχρονη συμμετοχή και υψηλές τιμές CO<sub>2</sub>, η τεχνολογία CCS είναι πιθανό να μειώσει την παγκόσμια εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου έως και 3-4 Gt ετησίως σε σύγκριση με μέτρα μετριασμού που δεν περιλαμβάνουν CCS (MIT, 2007).

Ωστόσο, η IPCC (2005) δηλώνει πως το πιθανότερο είναι,

*«...η πλειονότητα της ανάπτυξης CCS να πραγματοποιηθεί το δεύτερο μισό αυτού του αιώνα...».*

Η IPCC (2005) δηλώνει επίσης ότι, όταν πραγματοποιηθεί αυτή η ανάπτυξη,

*«...η βιβλιογραφία δείχνει ότι το CCS θα μπορούσε να είναι ένα σημαντικό στοιχείο της ευρύτερης προσέγγισης νέων ενεργειακών τεχνολογιών και τεχνικών μείωσης εκπομπών...».*

Γενικά, οι επιπτώσεις θα φανούν το επόμενο μισό του 21<sup>ου</sup> αιώνα και τα περιβαλλοντικά οφέλη εστιάζουν αποκλειστικά στην μείωση των GHGs. Αξίζει όμως να σημειωθεί πως αυτό το γεγονός έχει δευτερογενείς επιπτώσεις, επίσης θετικές. Ένα παράδειγμα είναι η μείωση της όξυνσης των ωκεανών άρα και η προστασία θαλάσσιας ζωής που επηρεάζονται από την πτώση του pH, όπως τα κοράλλια, τα οστρακοειδή κ.α.

### Κίνδυνοι – Μειονεκτήματα

Ένα από τα μειονεκτήματα του CCS είναι το γεγονός πως για τη δέσμευση και την αποθήκευση χρειάζεται επίσης ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί πολύ περισσότερο καύσιμο για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ισχύος, ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης. Για νέες υπερ-κρίσιμες εγκαταστάσεις κονιοποιημένου άνθρακα (PC) που χρησιμοποιούν τη σημερινή τεχνολογία, οι πρόσθετες απαιτήσεις ενέργειας κυμαίνονται από 24% έως 40%, ενώ για μονάδες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου (NGCC) το εύρος είναι 11–22% και για συνδυασμένη αεριοποίηση με βάση τον άνθρακα συστήματα κύκλου (IGCC) είναι 14-25%.

Προφανώς, η χρήση καυσίμων και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από την εξόρυξη άνθρακα ή φυσικού αερίου αυξάνονται ανάλογα. Εγκαταστάσεις εξοπλισμένες με συστήματα αποθείωσης καυσαερίων (FGD) για έλεγχο διοξειδίου του θείου απαιτούν αναλογικά μεγαλύτερες ποσότητες ασβεστόλιθου και συστήματα εξοπλισμένα με συστήματα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής για οξείδια του αζώτου που παράγονται κατά την καύση απαιτούν αναλογικά μεγαλύτερες ποσότητες αμμωνίας (IPCC, 2005). Σύμφωνα με τον IPCC, ενώ το CO<sub>2</sub> μειώνεται δραστικά αν και ποτέ δεν συλλαμβάνεται πλήρως, οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων αυξάνονται σημαντικά, γενικά λόγω της ενεργειακής ποινής της δέσμευσης. Ως εκ τούτου, η χρήση του CCS συνεπάγεται επιδείνωση της ποιότητας του αέρα. Ο τύπος και η ποσότητα των ατμοσφαιρικών ρύπων εξαρτάται ακόμη από την τεχνολογία. Για παράδειγμα, στον παρακάτω Πίνακα 3 παρουσιάζεται από τη μια πλευρά πως μειώνονται ανάλογα με την εγκατάσταση οι εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά και πως ταυτόχρονα αυξάνονται άλλοι ρυπαντές.

Όσον αφορά στους κινδύνους, ο μεγαλύτερος είναι αυτός της διαρροής στους χώρους αποθήκευσης (είτε στο επίπεδο του πετρώματος καλύμματος είτε στην επιφάνεια της γης/πυθμένα της θάλασσας). Ενώ υπάρχει κάποια εμπειρία με τη γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου κατά τα τελευταία 10-25 χρόνια, δεν συμβαίνει το ίδιο με τη μακροχρόνια αποθήκευση. Ωστόσο η συνεχής μελέτη και εφαρμογή της υπόγειας αποθήκευσης CO<sub>2</sub> έχει αυξήσει τις γνώσεις και την εμπιστοσύνη στη βιωσιμότητα της αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CSIRO, Government of Australia).

Αέριες εκπομπές εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας με CCS (kg/MWh)			
	Φυσικό Αέριο	Λιγνίτης	Integrated gasification combined cycle
CO <sub>2</sub>	0,43 (-89%)	1,07 (-87%)	0,97 (-88%)
NO <sub>x</sub>	0,11 (+22%)	0,77 (+31%)	0,1 (+11%)
SO <sub>x</sub>	-	0,001 (-99,7%)	0,33 (+17,9%)
Ammonia	0,002 (πριν: 0)	0,23 (+2.200%)	-

*Πίνακας 3: Αέριες εκπομπές από εγκαταστάσεις CCS, όπου διακρίνεται η αύξηση ρύπων από αμμωνιακά, θειικά και νιτρικά (IPCC, 2005). Επίσης, η IPCC (2005) θεωρεί πως ο περιβαλλοντικός κίνδυνος από αυτόν τον τομέα είναι μικρός καθώς επίσης σύμφωνα με UNEP (2006):*

*«...καλά επιλεγμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι πιθανό να διατηρήσουν πάνω από το 99% της αποθήκευσής τους για περίοδο 1.000 ετών. Συνολικά, οι κίνδυνοι αποθήκευσης CO<sub>2</sub> είναι συγκρίσιμοι με τους κινδύνους σε παρόμοιες υφιστάμενες βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η υπόγεια αποθήκευση φυσικού αερίου...»*

Επιπλέον, σύμφωνα με πολλούς ισχυρισμούς, οι κίνδυνοι για την ασφάλεια, την υγεία και το περιβάλλον που σχετίζονται με το CCS είναι κατά βάση λιγότεροι από αυτούς που ήδη υπάρχουν στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου. Ωστόσο, εκφράστηκαν ανησυχίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση CO<sub>2</sub> και αυτό έχει να κάνει με δύο ενδεχόμενα διαρροής:

- απότομη διαρροή μέσω βλάβης του φρεατίου έγχυσης ή διαρροής ενός εγκαταλελειμμένου πηγαδιού και
- σταδιακή διαρροή, μέσω μη εντοπισμένων βλαβών, ρηγμάτων ή ρωγμών σε πηγάδια
- Στην πρώτη περίπτωση οι επιπτώσεις μπορεί να είναι σημαντικές. Μια καταστροφική έκρηξη ίσως κατέληγε σε σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή ακόμα και τον θάνατο ανθρώπων και ζώων, μάλιστα τέτοιες εκρήξεις έχουν συμβεί όπως στο Cameroon το 1986 όπου συσσώρευση CO<sub>2</sub> από μάγμα εξήλθε από την λίμνη Nyos προκαλώντας ασφυξία σε ζωντανά και ανθρώπους σε ακτίνα 25 χιλιομέτρων (Madison, Government of Australia). Βέβαια, τέτοια φαινόμενα αν και φυσικά εξαιρετικά σπάνια είναι ακόμα σπανιότερο να συμβούν σε σωστά ελεγχόμενο ταμιευτήρα CCS. Αναφορές για ενδεχόμενα μικρών σεισμικών γεγονότων από την αύξηση πίεσης κατά την είσοδο του αερίου έχουν ελλιπή βιβλιογραφία και αναφέρονται κυρίως από οργανώσεις όπως η Greenpeace και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με επιφύλαξη (Greenpeace, 2015)



Όσον αφορά τη σταδιακή διαρροή CO<sub>2</sub>, αν και πιο πιθανή, αντιμετωπίζεται με σωστή προετοιμασία και επιλογή ταμειυτήρα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και αν δεν είναι άμεσα επικίνδυνη πρέπει να εκτιμηθεί καθώς σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, η αποδοτικότητα της τεχνολογίας εξαρτάται από το κατά πόσο τα συνολικά οφέλη ξεπερνούν τα κόστη. Κοινώς, αν η τεχνολογία αυτή σε παγκόσμιο επίπεδο είναι οριακά επαρκής, διάφορες συνεχείς διαρροές την καθιστούν πιο αδύναμη.

Άρα σε κάθε περίπτωση η τεχνογνωσία και η τεχνολογία πίσω από την επιλογή, αξιολόγηση και χαρακτηρισμό του γεωλογικού σχηματισμού που θα συγκρατήσει το CO<sub>2</sub> είναι εξαιρετικά σημαντική. Οι έρευνες πριν το έργο και οι ορθές πρακτικές κατά τη διάρκεια υλοποίησης θα πρέπει να είναι ικανές να διασφαλίζουν τη στεγανότητα του ταμειυτήρα για αιώνες.



## **Επισκόπηση αντιπροσωπευτικών λεκανών και λοιπών σχηματισμών για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου ως χώρων αποθήκευσης CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου (UGS)**

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με τον αρχικό χαρακτηρισμό των υπό εξέταση χώρων και λοιπών σχηματισμών αποθήκευσης (και εντός ιζηματογενών λεκανών) με σκοπό την γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου (UGS, Ν. Καβάλα) σε υπόγειους ταμειυτήρες. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, στην φάση του χαρακτηρισμού θέσης χρειάζεται να αποσαφηνιστεί και να επιβεβαιωθούν σημαντικά κριτήρια, όπως, η χωρητικότητα αποθήκευσης (storage capacity), ακεραιότητα συγκράτησης (integrity) και εισπνευστικότητα (injectivity).

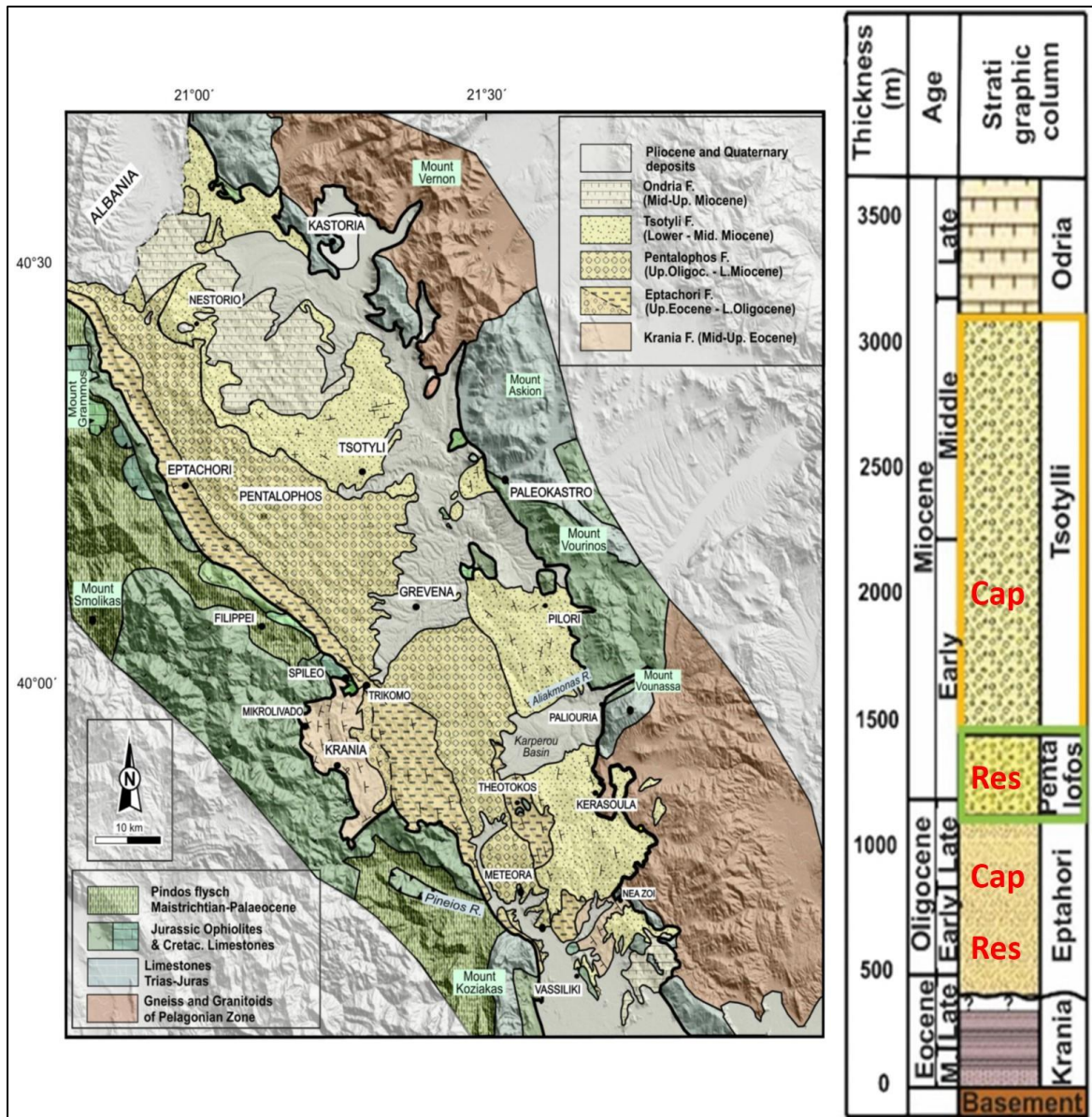
Στις ακόλουθες δυνητικά περιοχές γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> θα εστιάσουμε κυρίως στα γεωλογικά περιβάλλοντα που ευνοούν την αποθήκευση CO<sub>2</sub> καθώς και στα δύο πρώτα κριτήρια (ακεραιότητα συγκράτησης και χωρητικότητα αποθήκευσης, εάν μας το επιτρέψουν υπάρχουσες βάσεις δεδομένων).

### **Μεσοελληνική Αύλακα**

Η Μεσοελληνική Αύλακα (ΜΑ) παρέχει το κατάλληλο γεωλογικό περιβάλλον για αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Το μέγεθος της λεκάνης κυμαίνεται από 5.000-25.000km<sup>2</sup>. Τα σημαντικά πάχη των στρωμάτων που συναντώνται στην περιοχή από 1,5-3,5Km και η τεκτονική σταθερότητα που χαρακτηρίζει την περιοχή, αντιστοιχούν σε παράγοντες που ευνοούν την αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Επίσης, η εγγύτητα σε πηγές εκπομπής CO<sub>2</sub> και η πιθανή ύπαρξη υδρογονανθράκων είναι ακόμα δύο κριτήρια που μας οδηγούν στην επιλογή της Μεσοελληνικής Αύλακας.

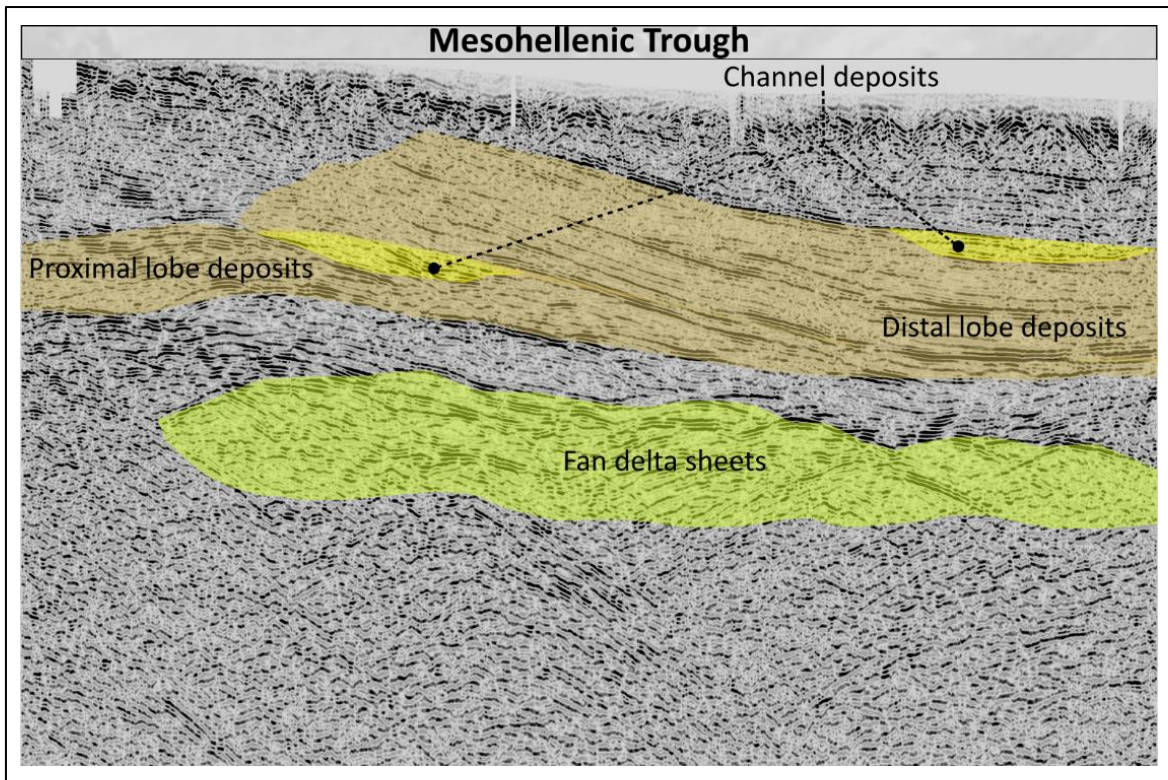
Η ΜΑ είναι μία λεκάνη που εκτείνεται στη Βορειοδυτική Ελλάδα, με μήκος μεγαλύτερο των 200Km και πλάτος 30-40Km (**Εικόνα 11**), ενώ χαρακτηρίζεται ως η μεγαλύτερη και πιο σημαντική λεκάνη του τελευταίου ορογενετικού σταδίου - «μολασσικού-τύπου» λεκάνη των Ελληνίδων (Vamvaka, 2009).

Η ΜΑ αναπτύχθηκε μεταξύ του Μέσου Ηωκαίνου-Άνω Μειόκαινο παράλληλα στις Ελληνίδες ζώνες, με την ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης (**Εικόνα 11**). Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από τη σημαντική σε έκταση πλευρική ανάπτυξής της (300 x 30Km), το μεγάλο πάχος ιζηματογενών σχηματισμών (περίπου έως 4,5Km σε κατακόρυφες τομές), τις πολύπλοκες δομές και τις πολυάριθμες μεταβολές στις ιζηματογενείς φάσεις και τα πάχη των αποθέσεων, τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια του άξονα της λεκάνης (Vamvaka, 2009).



**Εικόνα 11:** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Μεσσηλλικής Αύλακας και στρωματογραφική στήλη της περιοχής με ενδείξεις του πιθανού χώρου αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (Res, ταμειυτήρας) και του καλύμματος (Cap rock) (Brunn, 1956, I.G.M.E., 1983 και Vamvaka, 2009).

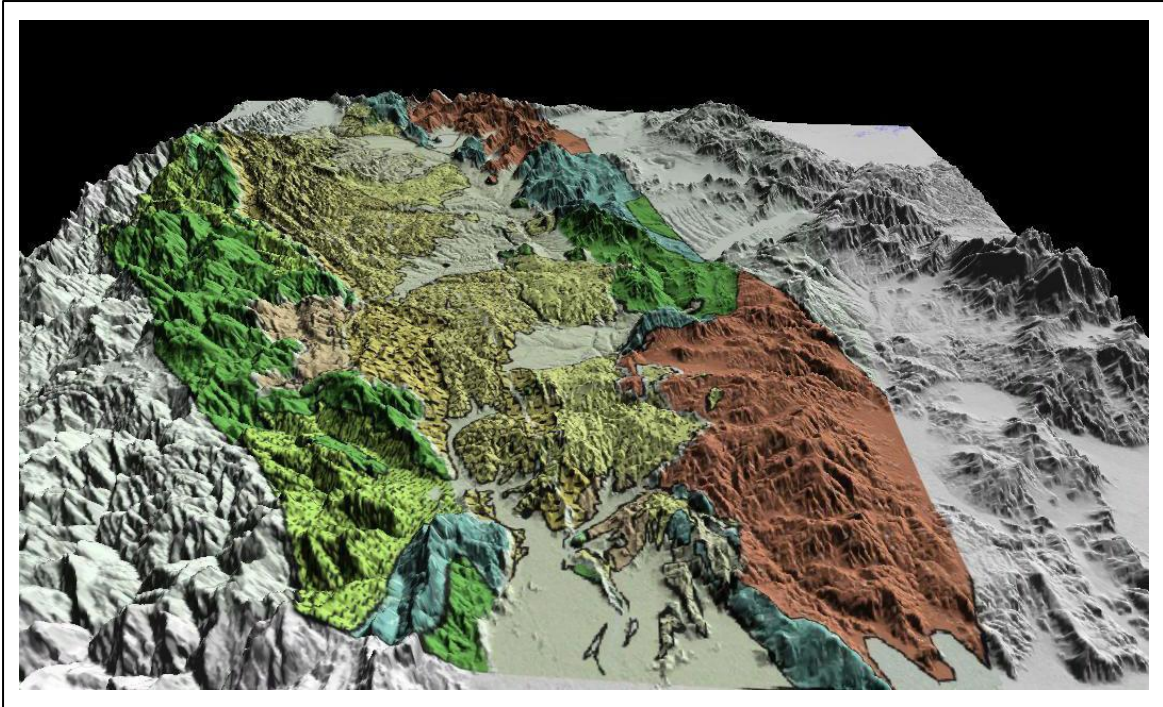
Οι ιζηματογενείς φάσεις περιλαμβάνουν δελταϊκά κροκαλοπαγή, αλλουβιακά κορήματα, ψαμμίτες και αργίλους υποθαλάσσιων ριπιδίων (τουρβιδίτες), **(Εικόνες 11 και 12)** καθώς και αμμούχα ιζήματα υφαλοκρηπίδας (Vamvaka, 2009).



**Εικόνα 12:** Σεισμική τομή με ερμηνεία ιζηματογενών σχηματισμών που επιβεβαιώνουν σημαντικά πάχη για την ύπαρξη ταμιευτήρων αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Στα υπερκείμενα στρώματα συναντάται το πέτρωμα-κάλυμμα του σχηματισμού του Τσοτυλίου (ΕΔΕΥ Α.Ε., 2020α).

Οι βασικότερες λιθοστρωματογραφικές ενότητες ιζημάτων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός γεωλογικού μοντέλου για αποθήκευση CO<sub>2</sub>, είναι οι ακόλουθες:

- **Σχηματισμός Επταχωρίου**, ηλικίας Ολιγοκαίνου. Αποτελείται κυρίως από κυανές μάργες (αντιστοιχούν σε πιθανό Cap rock) κατά μήκος όλο του περιθωρίου της ΜΑ και περιλαμβάνει μάργες με πελαγικά απολιθώματα του Ανώτερου Ολιγοκαίνου που αναπτύσσονται σε ψαμμιτικά κροκαλοπαγή (αντιστοιχούν σε πιθανό χώρο αποθήκευσης CO<sub>2</sub>, Res) (Λέκκας et al., 1988; Παρανικόλαου et al., 1988) (**Εικόνα 11**).
- **Σχηματισμός Πεντάλοφου**, ηλικίας Ακουϊτάνιας. Περιλαμβάνει κροκαλοπαγή σε συμπαγή στρώματα που εναλλάσσονται τοπικά με ψαμμίτες (Παρανικόλαου et al., 1988). Όπως φαίνεται και στον τρισδιάστατο χάρτη της ΜΑ (**Εικόνα 11**), ο σχηματισμός δημιουργεί ένα σύγκλινο με άξονα καμπυλότητας ΒΒΔ-ΝΝΑ. Ο σχηματισμός Πεντάλοφου που αντιστοιχεί σε εναλλαγή κροκαλοπαγών-ψαμμιτών (κροκαλοπαγή Τσάρνου) θα μπορούσε δυνητικά να αποτελεί χώρο αποθήκευσης CO<sub>2</sub>.
- **Σχηματισμός Τσοτυλίου**, ηλικίας Κάτω έως Μέσο Μειόκαινο. Ο σχηματισμός Τσοτυλίου αποτελείται κυρίως από ιλυομιγείς μάργες με ενδιαστρώσεις ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Ο σχηματισμός αυτός θα μπορούσε δυνητικά να χρησιμοποιηθεί ως στεγανό κάλυμμα (Cap rock) (**Εικόνα 11**).



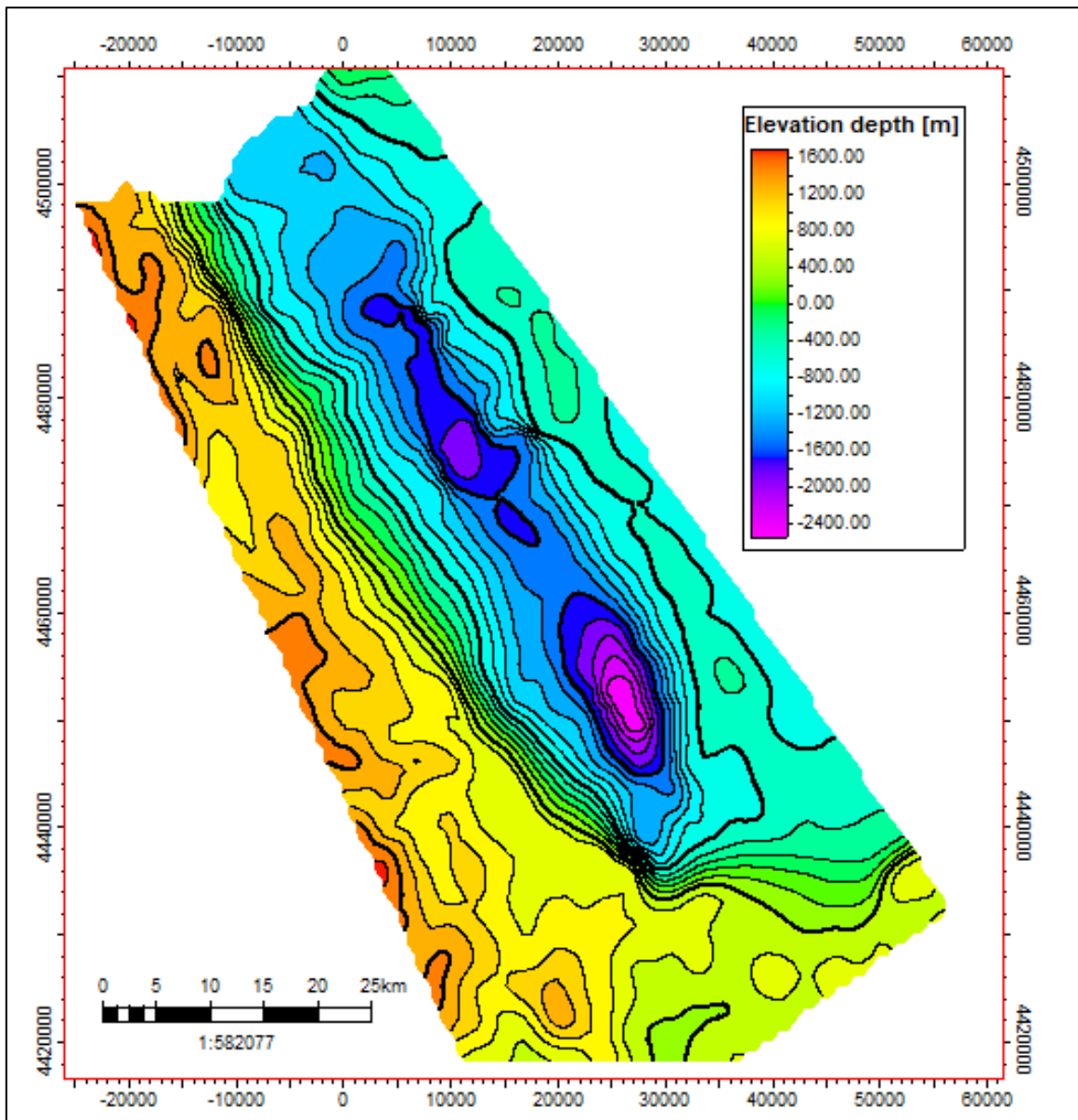
*Εικόνα 13: Τρισδιάστατος (3D) γεωλογικός χάρτης της Μεσοελληνικής Αύλακας. Το σημερινό ανάγλυφο αντικατοπτρίζει τις τεκτονικές δομές όπως π.χ. την υψηλή κλίση των στρωμάτων του Επταχωρίου (με κίτρινο χρώμα) καθώς και υψηλής κλίσης κανονικά ρήγματα κατά μήκος της ΒΑ πλευράς της ΜΑ. Το υπόμνημα είναι το ίδιο με την Εικόνα 11. (μετά από Vamvaka, 2009).*

Όπως διακρίνουμε σήμερα τη δομή της ΜΑ από την λιθοστρωματογραφία (Vamvaka, 2009) αλλά και από την μορφολογία του ανάγλυφου της λεκάνης (**Εικόνες 11 και 13**), στο δυτικό περιθώριο συναντάμε ηλικιακά αρχαιότερους σχηματισμούς ενώ προς τα ανατολικά τους νεότερους. Η ανύψωση των ιζημάτων του δυτικού περιθωρίου κατά το Μέσο Μειόκαινο και αργότερα είχαν ως αποτέλεσμα τα νεότερα ιζήματα να εμφανίζονται με μικρές κλίσεις εν αντιθέσει με τα ιζήματα του δυτικού περιθωρίου. Το σημερινό ανάγλυφο της ΜΑ παρουσιάζει αντικλινικές και συγκλινικές δομές οι οποίες αντικατοπτρίζουν τα έντονα τεκτονικά φαινόμενα καθώς και τους απομονωμένους ανεξάρτητους σχηματισμούς που μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν χώρους αποθήκευσης CO<sub>2</sub>.

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, για την ανάπτυξη και τον υπολογισμό του όγκου ενός τρισδιάστατου (3D) στατικού γεωλογικού μοντέλου είναι αναγκαίοι γεωλογικοί χάρτες (π.χ. ισοβαθείς, ισοπαχείς) οι οποίοι μπορούν να προκύψουν μετά από σεισμική ερμηνεία των γεωλογικών τομών. Σε παλαιότερη εργασία της ΜΑ, οι Zelilidis et al. (2002) με βάση τα σεισμικά δεδομένα και συνδυαστικά με χερσαίες τομές μπόρεσαν να κατασκευάσουν ισοπαχείς και ισοβαθείς χάρτες στα βόρεια, κεντρικά και νότια τμήματα της ΜΑ (π.χ. Σχηματισμοί του Πεντάλοφου, Βάση μέλους Τσάρνος) (**Εικόνα 14**).

Οι Tasianas et al. (2016), για πρώτη φορά, ανέπτυξαν ένα 3D γεωλογικό μοντέλο και εκτίμησαν ότι η χωρητικότητα αποθήκευσης στον ταμειωτήρα του Πεντάλοφου (μέλη Τσάρνος και Καλλονής) είναι περίπου 5Gt CO<sub>2</sub> και αντίστοιχα στο Επταχώρι 722Gt CO<sub>2</sub>. Το βαθύτερο σημείο αποθήκευσης CO<sub>2</sub> αντιστοιχεί στην βάση του μέλους Τσάρνος στα - 2.544m βάθος (**Εικόνα 14**). Επίσης, ο σχηματισμός του Πεντάλοφου υπόκειται

σημαντικού καλύμματος (Σχηματισμός Τσοτύλι) και μπορεί έτσι να χαρακτηριστεί δυνητικά ως συγκρότημα αποθήκευσης CO<sub>2</sub> σε περιφερειακό επίπεδο.

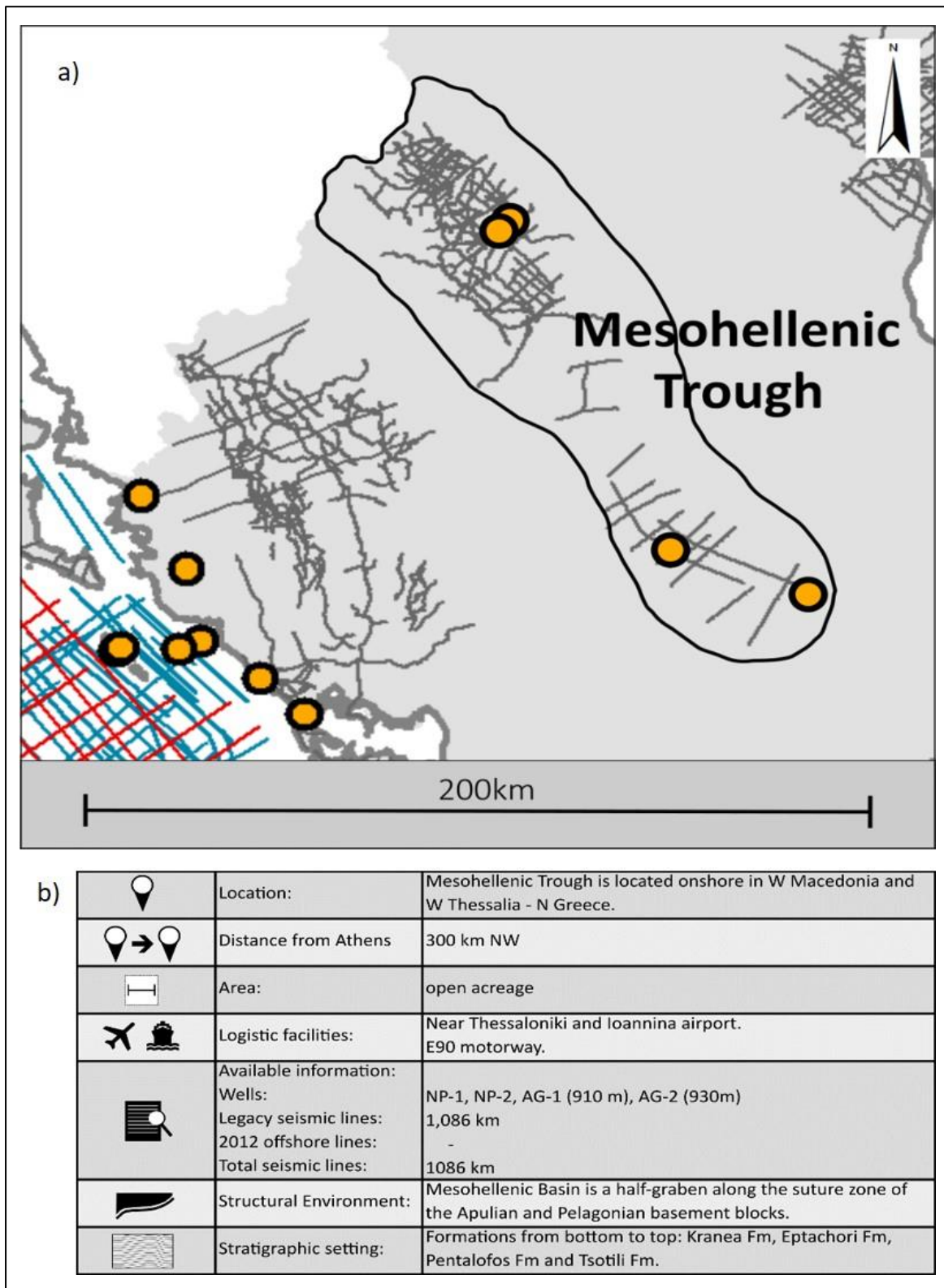


Εικόνα 14: Ψηφιοποιημένος ισοπαχής χάρτης της Βάσης του μέλους Τσάρνος στην ΜΑ (τροποποιημένος μετά από Zelilidis et al., 2002, ΕΔΕΥ Α.Ε, 2020α).

Ένα πιο ακριβές στατικό 3D γεωλογικό μοντέλο θα μπορούσε να περιλαμβάνει όλες τις σεισμικές γραμμές (1.086km) καθώς και γεωτρητικά δεδομένα που βρίσκονται στη διάθεση της ΕΔΕΥ (Εικόνα 15). Το 3D μοντέλο βάσει ερμηνείας του πυκνού 2D σεισμικού δικτύου θα το χαρακτηρίζει ακριβής εκτίμηση στην επιφανειακή και κατακόρυφη έκταση του ταμιευτήρα καθώς και ως προς τον υπολογισμό του όγκου του πορώδους και του συνολικού όγκου στο οποίο θα μπορεί να αποθηκεύεται το CO<sub>2</sub>.

Κατά τη σύγκριση των σεναρίων μεταφοράς του CO<sub>2</sub>, θα ήταν απαραίτητο να ληφθούν υπ' όψιν διάφορες επενδυτικές περίοδοι π.χ. 10 ή 40 ετών, προκειμένου να προσδιοριστεί πρώτα η σχετική καθαρή παρούσα αξία του λειτουργικού και επενδυτικού κόστους. Αυτό θα επέτρεπε στη συνέχεια να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με τους πιθανούς

τρόπους μεταφοράς του δεσμευμένου CO<sub>2</sub> ώστε να καθοριστεί ποιά θα ήταν η πιο συμφέρουσα μέθοδος μεταφοράς (Εικόνα 15b).



Εικόνα 15: α) Χάρτης οριοθέτησης της ΜΑ για έρευνα υδρογονανθράκων και δυνητικών περιοχών γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> καθώς και β) σύντομες πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν σε πιθανά σενάρια για μεταφορά του CO<sub>2</sub> μέσω μεγάλων φορητών, καραβιών σε συνδυασμό με χερσαίους (ή και υποθαλάσσιους) υφιστάμενους αγωγούς (ΕΔΕΥ Α.Ε., 2020b).



## Λεκάνη Φλώρινας – Ένα φυσικό ανάλογο γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>

Ο Δήμος Φλώρινας ανήκει στην περιοχή που ονομάζεται Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας και αποτελείται από τον ενεργειακό άξονα Φλώρινα–Αμύνταιο–Πτολεμαΐδα–Κοζάνη. Στο λιγνιτικό αυτόν άξονα παράγεται το μεγαλύτερο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, καθώς μέχρι σήμερα ο λιγνίτης αποτελούσε το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

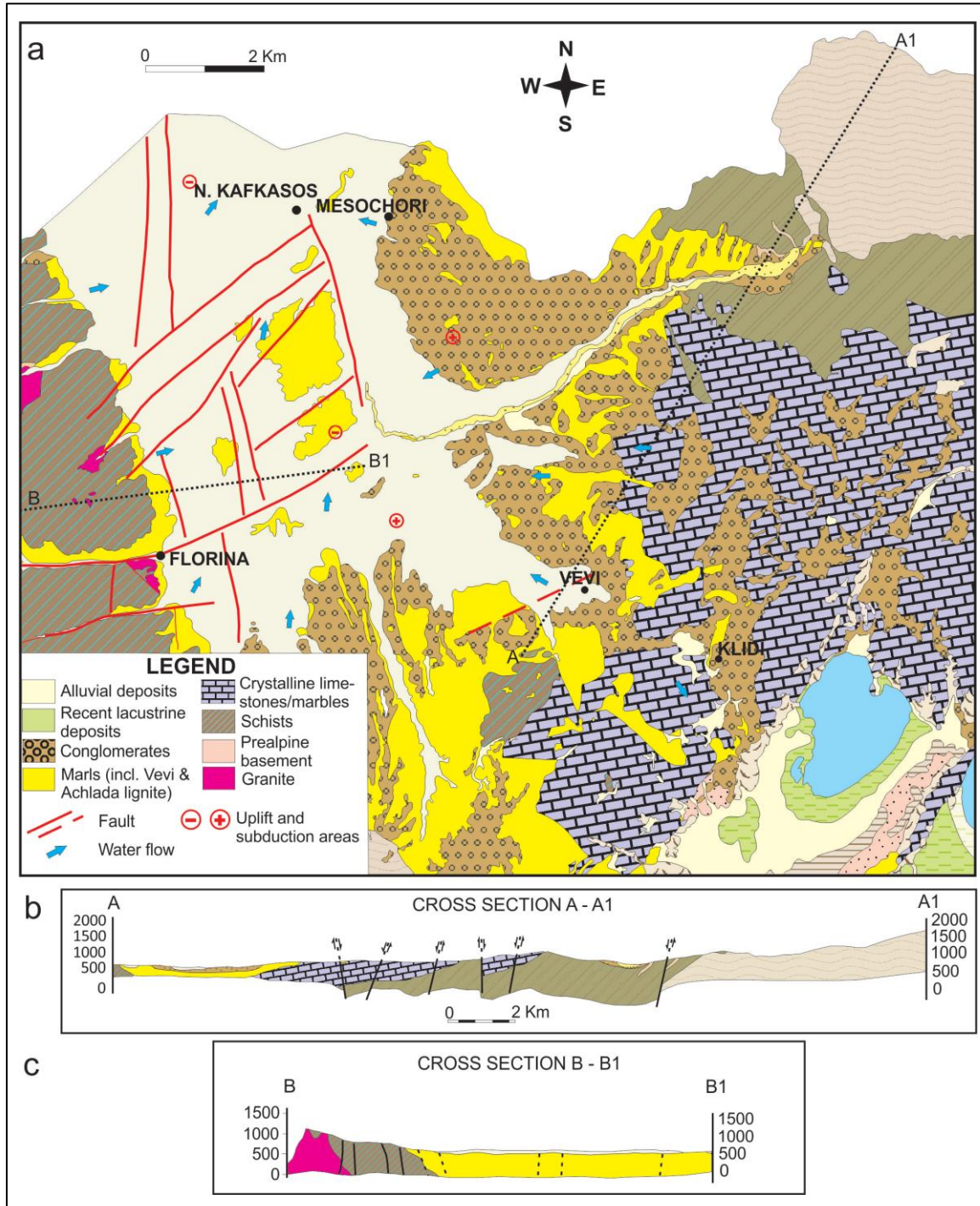
Ένας από τους κύριους λόγους για την επιλογή της περιοχής αυτής, είναι ότι υπάρχει μεγάλη ποσότητα CO<sub>2</sub> που διαλύεται στους υδροφορείς της Λεκάνης της Φλώρινας. Αυτή η διαδοχή μαζί με την καύση των λιγνιτικών αποθέσεων από τους σταθμούς αποτελούν περίπου το 50% των εκπομπών του CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα (Koukoulas et al., 2009). Επομένως, οποιεσδήποτε στρατηγικές μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> θα είχαν μεγάλο αντίκτυπο σε περιφερειακό αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Ως εκ τούτου, η Λεκάνη της Φλώρινας αντιπροσωπεύει όχι μόνο μια εξαιρετική τοποθεσία για εμπορική εκμετάλλευση του CO<sub>2</sub> ως βιομηχανικό αέριο αλλά είναι ένα καλό φυσικό ανάλογο για να μελετήσει κανείς τις συνέπειες της εφαρμογής της τεχνολογίας CCS στην περιοχή αυτή (Gaus et al., 2005).

Μία πρόσφατη έρευνα (Koukoulas et al., 2015) σχετικά με τις διαφυγές CO<sub>2</sub> στη Λεκάνη της Φλώρινας μας βοήθησαν να κατανοήσουμε τον χώρο αποθήκευσης (λιθολογία και διαπερατότητα σχηματισμών - ταμιευτήρα και κάλυμμα - της λεκάνης). Οι ίδιοι συγγραφείς για την κατασκευή 3D γεωλογικού μοντέλου χρησιμοποίησαν ηλεκτρομαγνητικά δεδομένα (Barringer Research Ltd.), τεκτονικά στοιχεία (π.χ. ρήγματα, πτυχώσεις) και άλλες πληροφορίες από γεωτρήσεις της περιοχής καθώς επίσης και επίσημα στοιχεία διαφυγής CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> seepage). Πιο συγκεκριμένα, εστιάζουν στην διαφυγή και άνοδο του CO<sub>2</sub> από τον ταμιευτήρα, που βρίσκεται σε ψαμμίτες και κροκαλοπαγή Νεογενούς ηλικίας, σε βάθος 300m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (περιοχή Μεσοχώριον), **(Εικόνα 16)**.


Με βάση τα δεδομένα αυτά σχετικά με τη δομή και την μετανάστευση ρευστού (fluid migration) που εμπλέκονται στην διαρροή CO<sub>2</sub> στην Λεκάνη της Φλώρινας θα παρουσιαστεί μία σύγκριση με ένα άλλο φυσικό ανάλογο διαφυγής CO<sub>2</sub> από ταμιευτήρα όπου έχει γίνει έγχυση CO<sub>2</sub>. Το ανάλογο αυτό βρίσκεται στο κοίτασμα του Snøhvit στην Θάλασσα του Μπάρεντς (Barents Norwegian Sea). Τέτοια 3D μοντέλα μας παρέχουν καλύτερη εικόνα πως το CO<sub>2</sub> μεταναστεύει στα ρηγά στρώματα του υπεδάφους, ποιοι είναι οι διάδρομοι διαφυγής (leakage pathways) καθώς και ποία είναι η κλίμακα χρόνου που εμπλέκονται στην έναρξη και κατά την διάρκεια της διαρροής CO<sub>2</sub>.

Το υπό μελέτη πεδίο CO<sub>2</sub> στην Λεκάνη της Φλώρινας ανήκει στην Πελαγονική τεκτονική εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων **(Εικόνα 16)**. Βρίσκεται στο σύστημα της αύλακας Φλώρινα-Πτολεμαΐδα-Αμύνταιο με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση, μια εκτεταμένη λεκάνη Καινοζωικής ηλικίας (Gaus et al., 2005). Η λεκάνη αυτή αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα που σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα των εφελκυστικών τάσεων μετά από την Αλπική Ορογένεση. Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο-Κατώτερο Πλειόκαινο, η λεκάνη άρχισε να γεμίζει με χερσαίες, ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις που έφθασαν το συνολικό πάχος έως 1Km (Koukoulas et al., 2015). Τα κλαστικά αυτά ιζήματα περιβάλλονται από ανθρακικά πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης (κυρίως μάρμαρο) και μεταμορφικά πετρώματα που εκτείνονται ΒΑ της λεκάνης. Η δυτική πλευρά της λεκάνης αποτελείται

κυρίως από υψηλές ορεινές μάζες αποτελούμενα από σχιστόλιθο, γνεύσιο και άλλα πλουτωνικά και μεταμορφωμένα πετρώματα ενώ το νότιο τμήμα της λεκάνης αποτελείται κυρίως από Νεογενή ιζήματα (Koukouzas et al., 2015). Οι γεωλογικές τομές και η λιθοστρωματογραφική στήλη περιγράφονται στις Εικόνες 16 και 17 αντίστοιχα.



**Εικόνα 16:** Γεωλογικός χάρτης της Λεκάνης της Φλώρινας ο οποίος απεικονίζει την κατανομή της λιθολογίας καθώς και τα ρήγματα. b) and c) είναι οι γεωλογικές τομές A-A1 και B-B1 αντίστοιχα (Koukouzas et al., 2015).

Era	Period	Epoch	Stratigraphic column	Lithologies
CENOZOIC	QUATERNARY	Holo cene		<b>Recent Formation</b> (sand, clay, peat)
		Middle Late Pleistoc		<b>Terrestrial-fluvial Formation</b> (conglomerate, loam, sand, clay)
		Early-Middle Pleisto cene		Sand, clay, marl, peat
				Conglomerate, sand, clay, hard horizons
	NEOGENE	Early-Late Pliocene		<b>Late Neogene series Formation</b> (marl, clay, sand, marlaceous limestone, geode lignite)
				<b>Sand - Clay Formation</b> (sand, clay, sandstone, siltstone)
		Late Mio cene- Early Pliocene		<b>Silt Formation</b> (silt, siltstone, sand, clay layers, wooden pieces, leaves)
				<u>Calc-alkaline silt</u>
				<b>Lignite Formation</b> (sand,clay, remain-debris, xyloide pieces, lignite)
				<b>Clastic Formation</b> (sand,clay, hard sandstones, conglomerate, green. grey-green colour)
MESO ZOIC		Triassic Jurassic	<b>Base Formation</b> (cobble, sand,clay, loam)	
PALEO ZOIC			<b>Subbase Formation</b> (semi-crystalline, crystalline limestones, marbles, schists, granite)	

Εικόνα 17: Λιθοστρωματογραφική στήλη του συστήματος της Αύλακας Φλώρινα-Αμύνταιο-Πτολεμαΐδα (Koukouzas et al., 2015).

Το CO<sub>2</sub> στη Λεκάνη της Φλώρινας είναι ηφαιστειακής προέλευσης. Η συσσώρευση του CO<sub>2</sub> συναντάται κυρίως στους Μειοκαινικούς ψαμμίτες (Res, ταμιευτήρας) ποτάμιου περιβάλλοντος καθώς και στους Μειοκαινικούς ασβεστόλιθους (Karakatsanis et al., 2007) **(Εικόνα 17)**. Τα περιβάλλοντα ιζηματογένεσης (ποτάμια αλλουβιακά ριπίδια) τα οποία συναντάμε στην Λεκάνη της Φλώρινας ευνοούν τη γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub> και τυχόν στρωματογραφικές αλλαγές συγκρατούν το CO<sub>2</sub> σε αυτό το περιβάλλον ώστε να μην επιτρέπουν τη διαφυγή του (Karakatsanis et al., 2007). Ωστόσο, πετρώματα-καλύμματα (Cap rock) στην Λεκάνη της Φλώρινας (π.χ. περιοχή Μεσοχώριον) αποτελούνται κυρίως από αργιλικά ιζήματα αλλά γενικά απουσιάζουν “στεγανά” υπερκείμενα στρώματα κατάλληλα να συγκρατήσουν το CO<sub>2</sub>.

Σύμφωνα με το 3D γεωλογικό μοντέλο (Koukoulas et al., 2015) στη Λεκάνη της Φλώρινας οι παχύτερες αποθέσεις (1km) βρίσκονται στο υποκείμενο υπόβαθρο στην ευρύτερη περιοχή του Μεσοχωρίου. Οι Νεογενούς ηλικίας μάργες και άργιλοι καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης (136.4km<sup>3</sup>). Η έναρξη της μεταφοράς και διαφυγής CO<sub>2</sub> θα μπορούσε να έχει λάβει χώρα μεταξύ 6.5-1.8Ma (Koukoulas et al., 2015). Τα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα, τα οποία δημιουργήθηκαν πριν ή και κατά την διάρκεια σχηματισμού της λεκάνης, λειτούργησαν ως δίοδοι διαφυγής του CO<sub>2</sub> (και συνεχίζουν μέχρι σήμερα) στην επιφάνεια της γής. Οι πλούσιες σε ανθρακικά πηγές (carbonate-rich springs) και σωλήνες αερίου CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-rich gas vents) οι οποίες παρατηρούνται σε όλη την έκταση της λεκάνης μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας αργής ανάβλυσης μαγματικών, υδροθερμικών αερίων CO<sub>2</sub> κατά μήκος ρηγμάτων και διαρρήξεων (Ziogou et al., 2013). Σύμπερασματικά, το CO<sub>2</sub> στην Λεκάνη της Φλώρινας μπορεί να μεταναστεύσει:

- μέσα από τους πόρους διαπερατών γεωλογικών σχηματισμών, και
- σε διάλυση μέσα στο νερό, είτε με την ίδια ή αντίθετη της κατεύθυνσης της ροής του υδροφόρου ορίζοντα (Koukoulas et al., 2015).

#### Σύγκριση των γεωλογικών συνθηκών των ταμιευτήρων CO<sub>2</sub>, Φλώρινας και Snøhvit, Νορβηγία

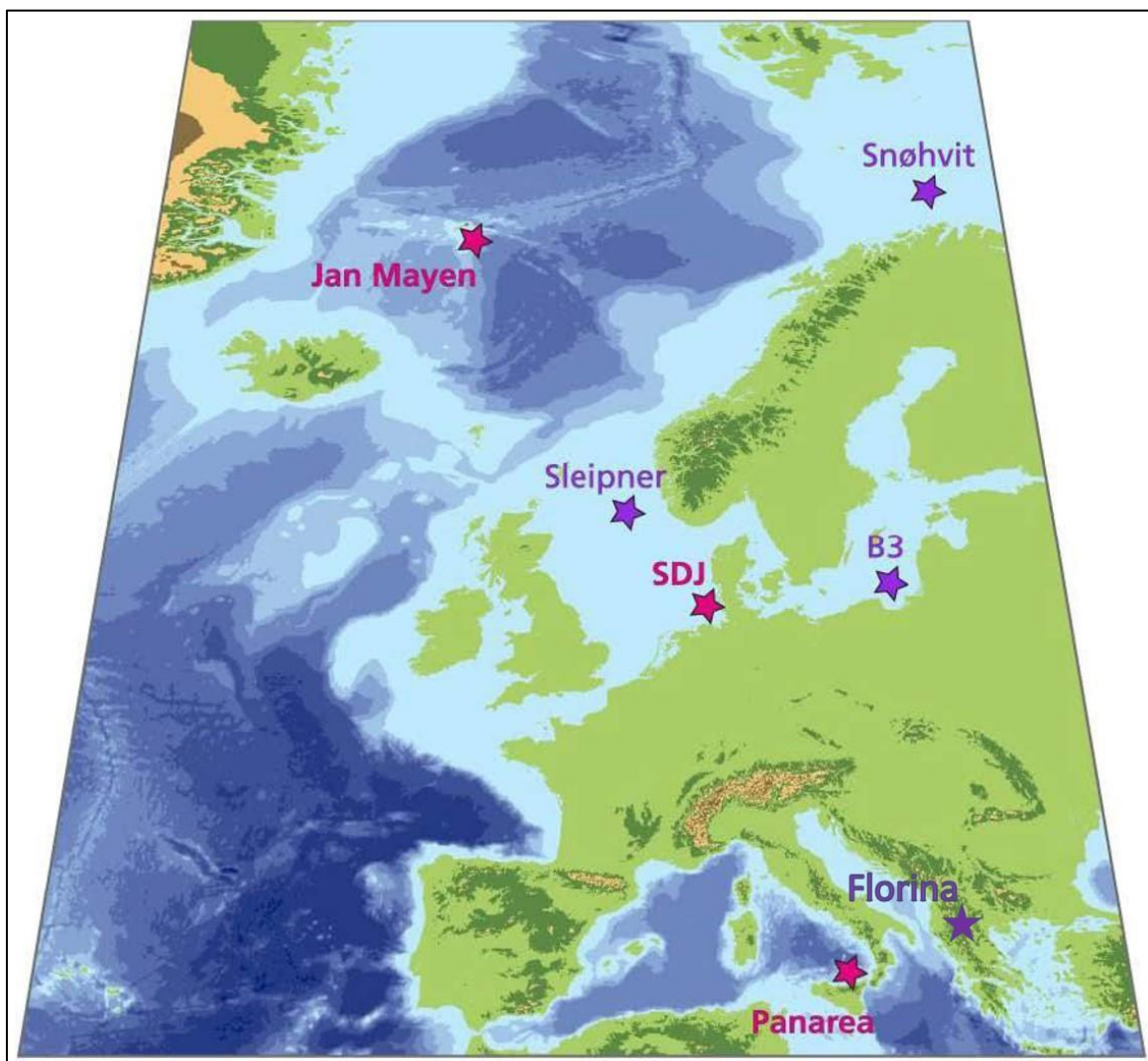
Σε αυτή την ενότητα θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μία σύγκριση μεταξύ της Λεκάνης της Φλώρινας και ενός άλλου πεδίου γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>, το Snøhvit στη Θάλασσα του Μπάρεντς (Norwegian Barents Sea) **(Εικόνα 18)**.

Το Snøhvit είναι ένα κοίτασμα φυσικού αερίου, το οποίο ανακαλύφθηκε το 1984 στην θάλασσα του Μπάρεντς (Norwegian Barents Sea) και βρίσκεται υπεράκτια 140km ΒΔ της πόλης Hammerfest, νομός Finnmark. Το κοίτασμα αυτό μεταξύ άλλων (Albatross, Askeladd), βρίσκονται στην Λεκάνη του Χάμερφεστ (Hammerfest Basin) σε βάθος 310-400m (Hansen et al., 2012). Η λεκάνη αυτή περιέχει περίπου ιζήματα πάχους περίπου 5km πάνω από το υπόβαθρο **(Εικόνα 19)**.

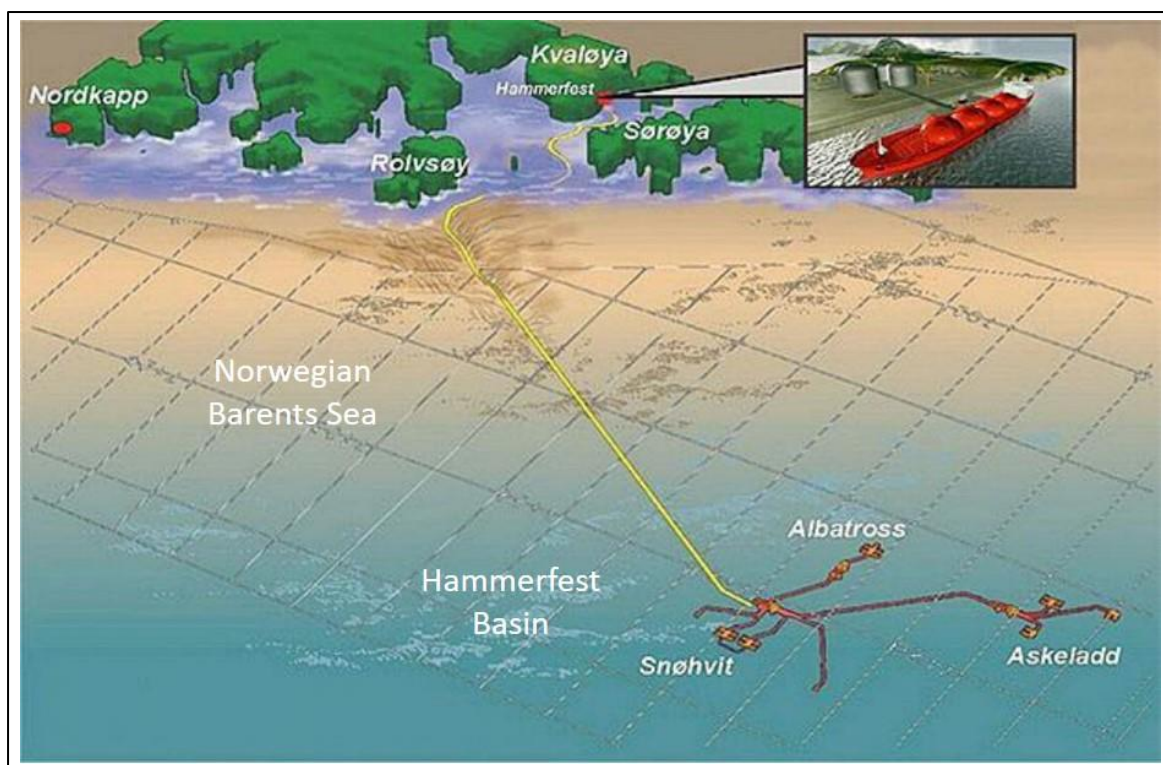
Στην λεκάνη αυτή ο Κατώτερος σχηματισμός Tubåen ηλικίας Ιουρασικού καθώς και ο σχηματισμός Stø (main gas reservoir) ίδιας ηλικίας αποτελούν σημαντικούς ταμιευτήρες όπου και γίνεται έγχυση CO<sub>2</sub> από το 2008 (Maldal and Tappel, 2004).

Στην λεκάνη της Φλώρινας η πηγή του CO<sub>2</sub> είναι σχετικά ρηχή και η μετανάστευση λαμβάνει χώρα μερικά εκατοντάδες μέτρα ενώ στο Snøhvit μερικά χιλιόμετρα (km). Ως εκ

τούτου, οι διαφορές στις αποστάσεις και στην χρονική κλίμακα είναι σημαντικοί παράμετροι στον χρόνο που χρειάζεται το CO<sub>2</sub> να διαφύγει στην επιφάνεια. Η σημερινή διαφυγή CO<sub>2</sub> που παρατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους στην Λεκάνη της Φλώρινας απουσιάζει στο Snøhvit. Στην τελευταία λεκάνη κατά το παρελθόν είχαν λάβει χώρα διεργασίες απαλοιφής των παγετώνων (deglaciation) που μπορεί να οδήγησαν τότε στην μετανάστευση του CO<sub>2</sub> (Ostania et al., 2013). Αντιθέτως στην Λεκάνη της Φλώρινας φαίνεται να είναι ενεργή η διαδικασία η οποία οδηγεί στην μετανάστευση και διαφυγή του CO<sub>2</sub> στην επιφάνεια του εδάφους και στην συνέχεια στην ατμόσφαιρα.



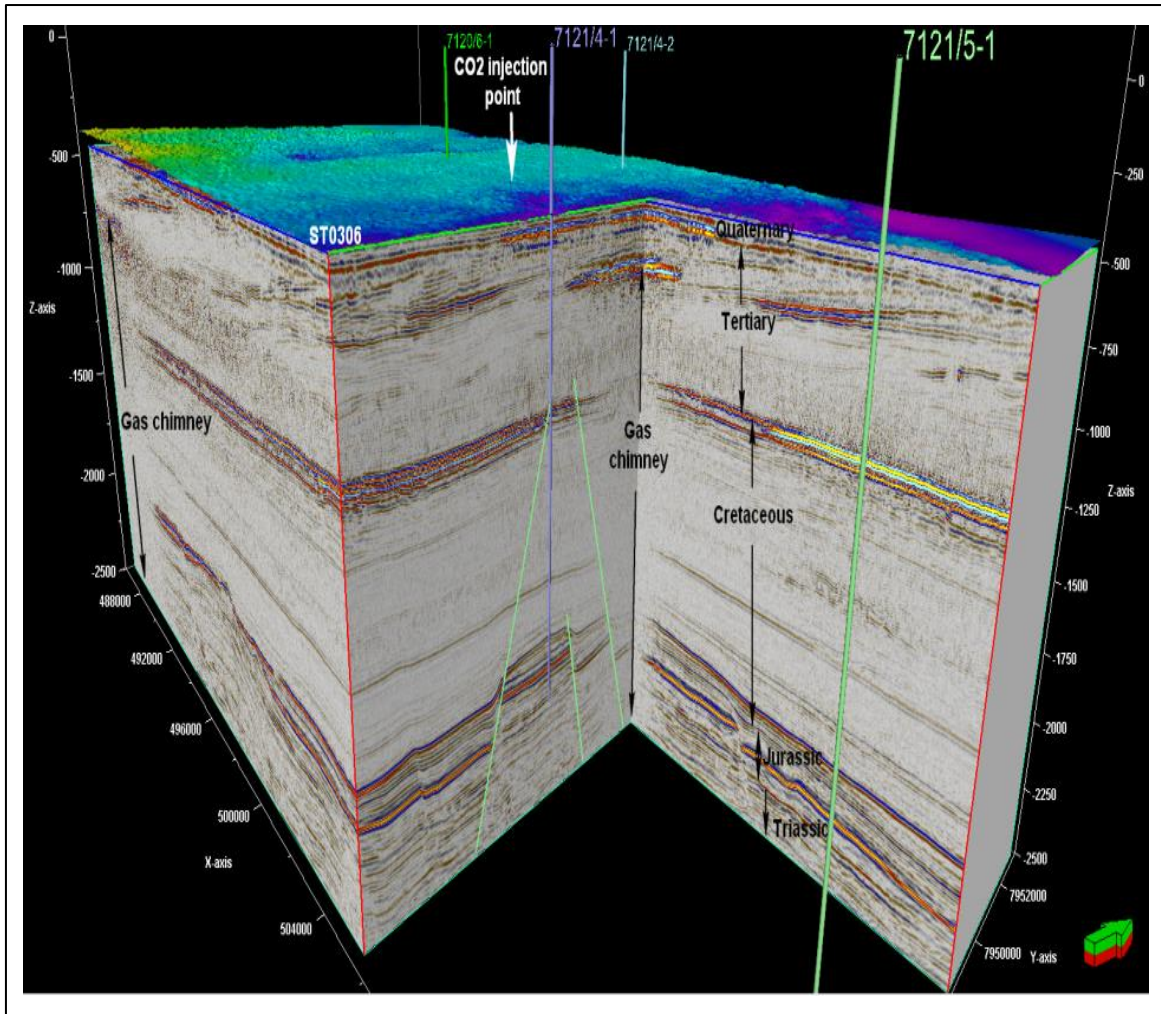
**Εικόνα 18:** Χάρτης που απεικονίζει κοιτάσματα όπως του Sleipner, Snøhvit, B3 που χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί χώροι CO<sub>2</sub> και Panarea, Jan Mayen SD (Salt Dome Juist), Florina (Greece) ως φυσικές πηγές αερίων (natural seeps). Στην παρούσα μελέτη εστιάζουμε στα πεδία Snøhvit (CO<sub>2</sub> storage site) και Florina (natural seeps).



**Εικόνα 19:** Χάρτης που απεικονίζει την τοποθεσία του κοιτάσματος Snøhvit (gas field) στην Λεκάνη Hammerfest. Το φυσικό αέριο μεταφέρεται μέσω αγωγού προς την ακτή για επεξεργασία στην εγκατάσταση Melkøya (Hammerfest city) και στην συνέχεια αποστέλλεται σε δεξαμενόπλοια υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Το φυσικό αέριο περιέχει 6% CO<sub>2</sub> το οποίο αποδεσμεύεται από τους υδρογονάνθρακες ως μέρος της επεξεργασίας και μεταφέρεται πίσω στο κοιτάσμα για έγχυση και μόνιμη αποθήκευση (μετά από Hansen et al., 2012).

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, το πέτρωμα-κάλυμμα (cap rock) στην Λεκάνη της Φλώρινας αποτελείται από αργιλούχα ιζήματα και οι επιφανειακές διαφυγές CO<sub>2</sub> λαμβάνουν χώρα σε περιοχές όπου τα Νεογενή αυτά ιζήματα απουσιάζουν. Στο Snøhvit, η διαφυγή CO<sub>2</sub> πραγματοποιείται στα σημεία διαρροής (spill point) τα οποία βρίσκονται κοντά σε ρήγματα ή σε σχηματισμούς με ασθενές (σε πάχος) κάλυμμα (cap rock). Στο Snøhvit το κάλυμμα αποτελείται από σχιστόλιθους Ανώτερου Ιουρασικού οι οποίοι είναι πλούσιοι σε οργανικό υλικό (Ktenas et al., 2017). Ως εκ τούτου η λιθολογική σύσταση είναι παρόμοια και στα δύο πεδία (Φλώρινα και Snøhvit) και αναμένεται να παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά ως προς την ακεραιότητα συγκράτησης CO<sub>2</sub> (containment integrity).

Ο ταμιευτήρας CO<sub>2</sub> της Λεκάνης της Φλώρινας βρίσκεται σε πολύ ρηχό βάθος (περίπου 300m) σε σχέση με αυτόν του Snøhvit. Και στα δύο πεδία, τα ρήγματα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο ως προς τη ροή μετανάστευσης (fluid migration). Ωστόσο, η μεταναστευτική ροή στο Snøhvit είναι πιο αργή διότι χρειάζεται περίπου 3Km μέχρι να φθάσει στον πυθμένα της θάλασσας. Τα περιβάλλοντα απόθεσης της Λεκάνης της Φλώρινας χαρακτηρίζονται από ποτάμια αλλουβιακά ριπίδια τα οποία ευνοούν την αποθήκευση CO<sub>2</sub> και οι εναλλαγές στην στρωματογραφία λειτουργούν ως εμπόδιο στην διαφυγή του. Σήμερα, στο Snøhvit δεν υπάρχουν ενδείξεις διαφυγής αερίου από τους ταμιευτήρες Tubåen και Stø, αλλά κατά το παρελθόν είχε συμβεί και αυτό διαπιστώνεται από γεωφυσικές ερμηνείες των σεισμικών ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας όπου παρατηρούνται π.χ. σωλήνες αερίου (gas chimneys), φωτεινά σεισμικά γεγονότα (bright spots) πάνω από ρήγματα (**Εικόνα 20**).



Εικόνα 20: 3D σεισμικά δεδομένα τα οποία απεικονίζουν το κοίτασμα Σηθηνίτ (γεώτρηση 7121/4-1). Οι μεγάλοι σωλήνες αερίου (large gas chimneys) υποδηλώνουν ότι υπήρξε διαφυγή αερίου κατά το παρελθόν (πηγή: ECO2 Project).

Στον παρακάτω Πίνακα 4 παρατίθεται η σύνοψη της σύγκρισης μεταξύ Λεκάνης της Φλώρινας και Σηθηνίτ:

Παράμετρος	Φλώρινα, φυσικό ανάλογο CO <sub>2</sub>	Σηθηνίτ, γεωλογικός αποθηκευτικός χώρος CO <sub>2</sub>
1) CO <sub>2</sub> πηγή	Ρηχά: CO <sub>2</sub> μετανάστευση μερικών εκατοντάδων μέτρων (m)	CO <sub>2</sub> μετανάστευση μερικών χιλιομέτρων (km)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαφορετικές αποστάσεις και χρονικοί περίοδοι σχετικά με τον χρόνο που απαιτείται ώστε το CO<sub>2</sub> να φθάσει στην επιφάνεια</li> </ul>		

Παράμετρος	Φλώρινα, φυσικό ανάλογο CO <sub>2</sub>	Snøhvit, γεωλογικός αποθηκευτικός χώρος CO <sub>2</sub>
<b>2) Διαρροή σήμερα</b>	Παρατηρείται επί της επιφάνειας του εδάφους	Απουσιάζει
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μία ενεργής διαδικασία η οποία επιτρέπει στο CO<sub>2</sub> να φθάσει στην επιφάνεια της γης</li> <li>• Στο Snøhvit, ένα παλαιό φυσικό φαινόμενο (deglaciation), το οποίο δεν είναι ακόμα ενεργό, οδήγησε σε διαφυγή αερίων</li> </ul>		
<b>3) Πεδία Διαφυγών (Seepage/Leakage location)</b>	Επιφανειακά πεδία διαφυγών CO <sub>2</sub> σε περιοχές όπου τα Νεογενή ιζήματα απουσιάζουν	Διαφυγή παρατηρείται σε πεδία διαρροής (spill points) κοντά σε ρήγματα και σε ασθενή καλύμματα
<b>4) Κάλυμμα (Cap rock)</b>	Αργιλούχα ιζήματα	Σχηματισμός Hekkingen, πλούσιος σε οργανικό υλικό σχιστόλιθος
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Παρόμοια σύσταση καλύμματος</li> <li>• Και στα δύο πεδία, τα ρήγματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην μετανάστευση του CO<sub>2</sub></li> <li>• Και τα δύο πεδία είναι ιδανικά για αποθήκευση CO<sub>2</sub></li> </ul>		

Πίνακας 4: Σύγκριση της Λεκάνης της Φλώρινας, Ελλάδα και Snøhvit, Norwegian Barents Sea.

Τα αποτελέσματα της παρούσας σύγκρισης (Λεκάνη Φλώρινας-Snøhvit) μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μελλοντικές έρευνες σε τεχνικές παρακολούθησης (monitoring) της διαφυγής αερίων σε γεωλογικούς ταμειυτήρες αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Πιο συγκεκριμένα, με την σωστή διαχείριση γεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων που βρίσκονται στην διάθεση της ΕΔΕΥ. θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα αξιόπιστο και ακριβές 3D γεωλογικό μοντέλο για ανίχνευση διαφυγών αερίων κάτω από την επιφάνεια της γης.

Τα αποτελέσματα του νέου αυτού γεωλογικού μοντέλου θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη μιας βιώσιμης στρατηγικής για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, μέσω της γεωλογικής αποθήκευσης, δεδομένου ότι το CO<sub>2</sub> στην Λεκάνη της Φλώρινας μεταναστεύει μέσω των ρηχών υποστρωμάτων πριν διαφύγει στην ατμόσφαιρα. Επίσης, θα μας επιτρέψουν να εκτιμήσουμε (risk assessment) όχι μόνο τον κίνδυνο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη υγεία.



## Λεκάνη του Πρίνου

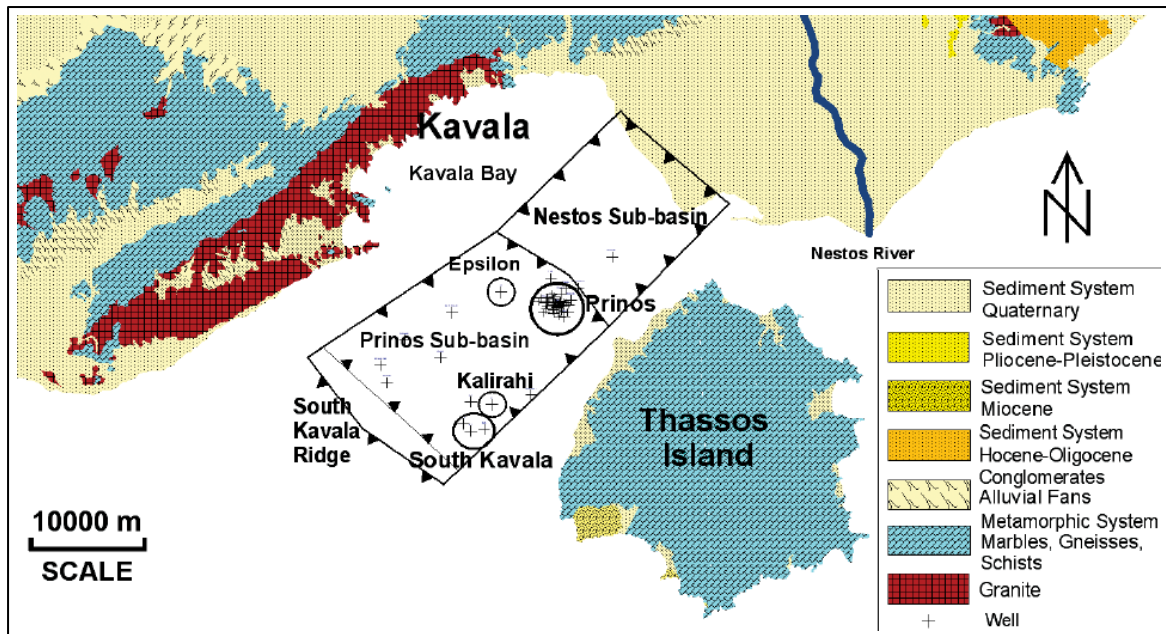
Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλο εμπορικό ενδιαφέρον για αναζήτηση περιοχών με δυναμικό γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (και φυσικού αερίου) σε (ημι-) εξαντλημένα κοιτάσματα και σε βαθείς υδροφορείς αλμυρού νερού (saline aquifers) όπως είναι η ιζηματογενής Λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας, μεταξύ άλλων (π.χ. Δυτική Θεσσαλονίκη και Μεσοελληνική Αύλακα) **(Εικόνα 8)**.

Σε (ημι-) εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων, συνήθως υπάρχουν αρκετά γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα, όπως γεωτρήσεις οι οποίες προέκυψαν μετά από αποτελέσματα σεισμικών ερευνών, καθώς επίσης και μετέπειτα ιστορικά στοιχεία παραγωγής. Εν αντιθέσει, οι βαθείς υδροφορείς αλμυρού νερού συνήθως δεν παρέχουν επαρκή δεδομένα για χαρακτηρισμό και αξιολόγηση της θέσης αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Ωστόσο, όπως στην περίπτωση του Πρίνου, ο υδροφορέας βρίσκεται κοντά και κάτω από το υφιστάμενο πετρελαϊκό κοιτάσμα επομένως τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και δεδομένα είναι κοινά. Φωτεινά παραδείγματα στην Ευρώπη, γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> σε υδροφορέα κάτω από το κοιτάσμα, είναι τα κοιτάσματα της Statoil-Equinor (Sleipner και Snøhvit) στην Βόρεια Θάλασσα και στη Θάλασσα του Μπάρεντς αντίστοιχα (Norwegian North Sea και Norwegian Barents Sea) **(Εικόνα 5)**.

Στην παρούσα ενότητα θα κάνουμε μια επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της Λεκάνης του Πρίνου (ενεργό κοιτάσμα πετρελαίου – εξαντλημένο κοιτάσμα φυσικού αερίου, Ν. Καβάλα) και του υποκείμενου υδροφορέα με σκοπό την αξιολόγηση και χαρακτηρισμό της θέσης ως δυνητικό συγκρότημα γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>.

Η τοποθεσία της Λεκάνης Πρίνου-Καβάλας και τα αποθέματα υδρογονανθράκων αποτυπώνονται στην Εικόνα 21. Η λεκάνη διαμορφώθηκε στο νότιο άκρο του ορεινού όγκου της μάζας της Ροδόπης, μεταξύ των νήσων Θάσου-Θασοπούλας και της ηπειρωτικής χώρας κι έχει μήκος και πλάτος 38 και 20Km αντίστοιχα. Ο κύριος άξονας έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ καλύπτοντας μια έκταση περίπου 800Km<sup>2</sup> και το πάχος των ιζημάτων της ξεπερνά τα 6Km (Kiomourtzi et al., 2008; Koukouzas et al., 2011) **(Εικόνα 21)**.

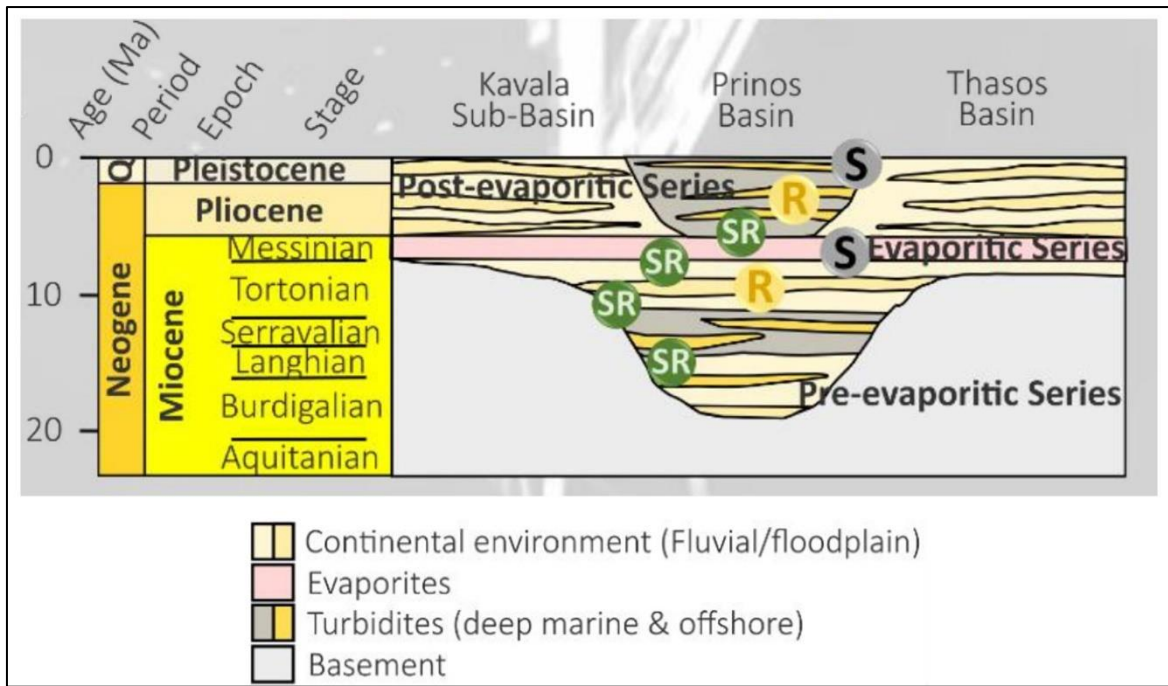
Τα ιζήματα που αποτέθηκαν στην λεκάνη είναι υποθαλάσσια ριπίδια τα οποία αναπτύχθηκαν κατά το Ανώτερο Μειόκαινο. Οι πρώτες αποθέσεις ήταν ηπειρωτικές με ανθρακικές εμφανίσεις καθώς επίσης και τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν στα υποκείμενα μεταμορφωμένα πετρώματα (γνεύσιοι και μάρμαρα) ήταν ηπειρωτικής προέλευσης (Kiomourtzi et al., 2007). Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο και κατά τα πρώτα στάδια σχηματισμού της, η τάφρος του Πρίνου σχηματίζεται σε μια λιμνοθάλασσα και η ανύψωση του υβώματος της Ν. Καβάλας σφραγίζει τη φυσική διέξοδο της τάφρου προς την ανοιχτή θάλασσα. Από την αρχή του Πλειοκαίνου η λεκάνη κατακλύζεται οριστικά από τη θάλασσα (Προέδρου, 1986).



Εικόνα 21: Χάρτης που αποτυπώνει την ιζηματογενή Λεκάνη Πρίνου-Καβάλας στο Βόρειο Αιγαίο καθώς και τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου της περιοχής (Κιομουρτζή et al., 2007).

Από τα πρώτα στάδια της ιζηματογένεσης, η λεκάνη κυριαρχείται από αποθέσεις εβαποριτών (Β. Αιγαίου, ηλικίας Άνω Μειόκαινο) με συνολική απόθεση επτά εβαποριτικών στρωμάτων (Προέδρου, 1986). Κατά την ίδια περίοδο τοποθετείται και η ύπαρξη ζώνης Δολομίτη-Εβαπορίτη και εκτείνεται σε όλο το πλάτος της λεκάνης (Προέδρου, 1986). Όπως διακρίνεται και στην λιθostrωματογραφική στήλη, (Εικόνα 22) τα ιζήματα της Λεκάνης του Πρίνου υποδιαιρούνται σε τρεις ενότητες:

- **Προ-εβαποριτική Σειρά (Pre- evaporitic Series)** Μέσο-Μειοκαινικής ηλικίας: Τα ιζήματα αυτά αποτέθηκαν πάνω από το υπόβαθρο (γνεύσιοι και μάργες) και έχει πάχος που ξεπερνά το 1Km (Προέδρου, 1986). Είναι κυρίως μια κλαστική σειρά με ηπειρωτικούς σχηματισμούς στη βάση που βαθμιαία μεταβαίνουν σε θαλάσσιους προς την περιφέρεια της λεκάνης (Προέδρου, 1986). Σε αυτά τα τουρβιδιτικά ιζήματα καταλαμβάνουν χώρο οι υδρογονάνθρακες και καθιστούν τα ιζήματα της προ-εβαποριτικής σειράς ως κατάλληλους ταμιευτήρες πετρελαίου (R, reservoir) (Kiomourtzi et al., 2008).



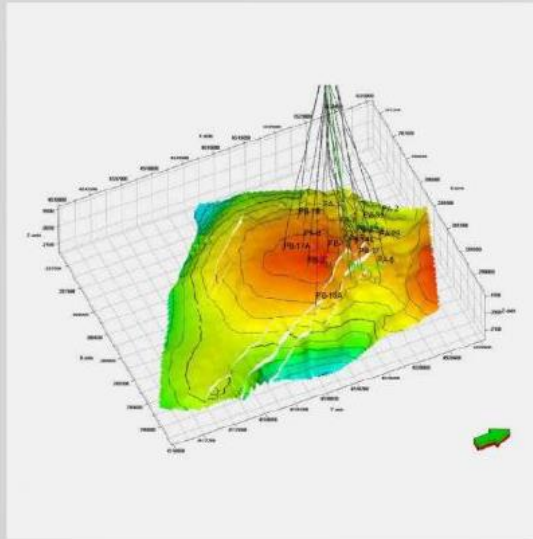
Εικόνα 22: Λιθοστρωματογραφική στήλη της Λεκάνης του Πρίνου με με ενδείξεις του πιθανού χώρου αποθήκευσης CO<sub>2</sub> σε υπόγειους σχηματισμούς. Ταμειυτήρας, (R) και καλύμμα, (Seal/Cap rock) (ΕΔΕΥ ΑΕ., 2020b).

- **Εβαποριτική Σειρά (Evaporitic Series)** Μεσσηνίας Ηλικίας: Έχει μέσο πάχος 800m και αποτελείται από επτά εβαποριτικά στρώματα με εναλλαγές κλαστικών Γεωργακόπουλος, 2000). Τα αλατούχα στρώματα είναι συχνά εναλασσόμενα με ανυδρίτη και δολομίτη (Προέδρου and Παπακωνσταντίνου, 2004)
- **Μετα-εβαποριτική Σειρά (Post-evaporitic series)** Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου ηλικίας: Έχει μέσο πάχος 1.8Km, είναι θαλάσσιας προέλευσης (μεγάλος αριθμός από τρηματοφόρα και φύκη Πλειοκαίνου) και αποτελείται κυρίως από άμμους, ιλύλιθο και άργιλο (Προέδρου, 1986; Pasadakis et al., 2005).

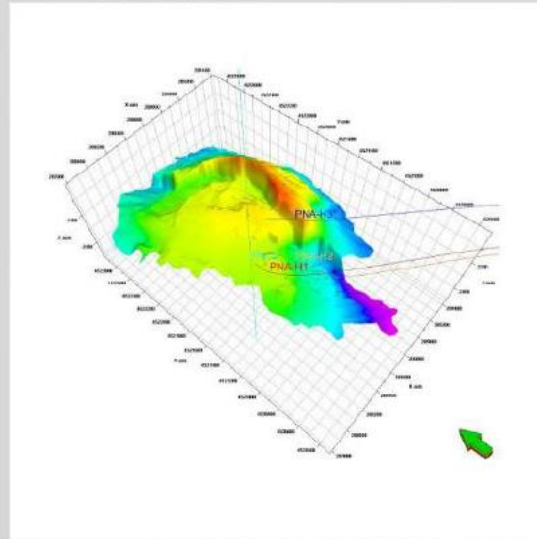
Οι εβαπορίτες (Seal/Cap rock) καλύπτουν το σύνολο της λεκάνης απορροής και ως αδιαπέρατα πετρώματα εξασφαλίζουν τη στεγανότητα των υποκείμενων ταμειυτήρων που περιέχουν τους υδρογονάνθρακες.

Τα κοιτάσματα του Βόρειου Πρίνου, Έψιλον και Καλλιράχης ανακαλύφθηκαν στα Β, ΒΔ και ΝΔ του Πρίνου, αντίστοιχα (Κιομουρτζή et al., 2007). Τα κοιτάσματα πετρελαίου Πρίνου, Βόρειου Πρίνου όπως και φυσικού αερίου της Ν. Καβάλας σχετίζονται με γεωλογικά αντίκλινα (Προέδρου and Παπακωνσταντίνου, 2004). Το αντίκλινο του Έψιλον είναι ανάλογο με αυτό του Πρίνου, ενώ το αντίκλινο της Καλλιράχης ελέγχεται από ένα ρήγμα με διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ (Εικόνες 21 και 23) (Κιομουρτζή et al., 2007).

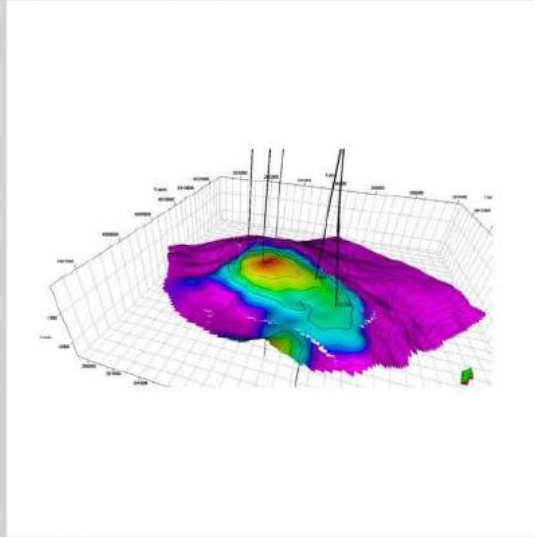
Prinos



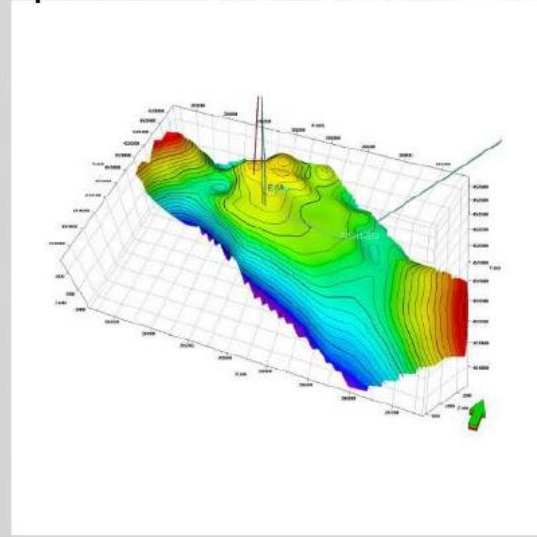
Prinos North



Kavala South



Epsilon



Εικόνα 23: Χάρτης που αποτυπώνουν 3D τις δομές των κοιτασμάτων Πρίνου, Β. Πρίνος, Έψιλον και Ν. Καβάλας (ΕΔΕΥ, Α.Ε., 2020b, Energean oil and gas, <http://www.energean.com>).

Αξιολόγηση των κοιτασμάτων του Πρίνου – Νότιας Καβάλας και υποκείμενοι υδροφορείς αλμυρού νερού (saline aquifers) για δυνητική γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub> και φυσικού αερίου

Το κοίτασμα πετρελαίου του Πρίνου στον Κόλπο της Καβάλας ανακαλύφθηκε στα τέλη του 1973 σε βάθος νερού περίπου 30m και καλύπτει περίπου μία έκταση 4,5Km<sup>2</sup>. Το κοίτασμα βρίσκεται σε βάθος περίπου 2.500m TVDSS από την επιφάνεια της θάλασσας και εκτείνεται μέχρι τα 2.850m, ενώ το βάθος της θάλασσας στην περιοχή των πλατφορμών είναι περίπου 30m (Κιομουρτζή et al., 2007). Το βάθος του αλατούχου υδροφόρου σχηματισμού κυμαίνεται από 1 έως 3,5km από την επιφάνεια και έχει έκταση περίπου 800km<sup>2</sup>. Το πορώδες κυμαίνεται γύρω στα 18% και ο όγκος πόρου στα 29,95km<sup>3</sup> (Proedrou and Sidiropoulos, 1992).

Η δομή του κοιτάσματος (**Εικόνα 23**) αποτελείται από δύο αντίκλινα τα οποία διαχωρίζονται από μία μικρή τάφρο, η οποία οριοθετείται από αδιαπέραστα ρήγματα τα οποία έχουν κλίση προς το κέντρο της λεκάνης. Αλατούχοι δόμοι και εβαποριτικά ιζήματα, που υπέρκεινται των ψαμμιτών και υπερκείμενα κλαστικά μη ενοποιημένα ιζήματα, συνολικού πάχους που φθάνει τα 2,3Km (Harker and Burrows, 2007), χρησιμεύουν ως κάλυμμα (Seal/Car rock) για τον ταμιευτήρα (**Εικόνα 22**). Το κάλυμμα στο κοίτασμα του Πρίνου και στα τρία στρώματα του ταμιευτήρα, είναι ένα στρώμα αργίλου πάχους 10-14m το οποίο έχει κατατεθεί κάτω από τα εβαποριτικά στρώματα (Κιομουρτζή et al., 2007).

Δεδομένου ότι το κοίτασμα του Πρίνου βρίσκεται υπό εξάντληση και λόγω της γεωλογίας της περιοχής (π.χ. αντίκλινα) καθώς και των υπαρχουσών εγκαταστάσεων ενδεικνύεται για προτεινόμενη χρήση ως υπόγεια γεωλογική αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Όπως προαναφέρθηκε, οι εβαπορίτες φαίνεται να εξασφαλίζουν τη στεγανότητα του ταμιευτήρα και μέχρι σήμερα δεν έχει παρατηρηθεί κάποια διαφυγή υδρογονανθράκων όπως π.χ. από ενεργοποίηση ρήγματος από πιθανή σεισμικότητα της περιοχής (Προέδρου and Παπακωνσταντίνου, 2004). Αντιθέτως, στα κοιτάσματα της Ν. Καβάλας παρατηρείται μια ανοδική κίνηση υδρογονανθράκων λόγω της ενεργοποίησης ρήγματος (Προέδρου and Παπακωνσταντίνου, 2004).

Όπως ήδη γνωρίζουμε από το ιστορικό παραγωγής, ο ταμιευτήρας του Πρίνου έχει μεγάλο δυναμικό αποθήκευσης υδρογονανθράκων και ο ίδιος χώρος μπορεί δυνητικά να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση CO<sub>2</sub> στους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Παρακάτω στον Πίνακα 5 γίνεται μια συνοπτική αξιολόγηση του πετρελαϊκού ταμιευτήρα στο κοίτασμα του Πρίνου (σε συνδυασμό με επαύξηση της επάλειψης πετρελαίου, EOR) αλλά και στον υποκείμενο αλατούχο υδροφόρα (Koukouzas et al., 2009). Επίσης, άλλες εργασίες εκτιμούν τη θεωρητική ικανότητα αποθήκευσης CO<sub>2</sub> μόνο από το κοίτασμα του Πρίνου στα 19Mt CO<sub>2</sub> (IEA, 2005). Με βάση τον υπολογισμό αυτό οι εκπομπές CO<sub>2</sub> που προέρχονται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. Αμύνταιο, Πτολεμαΐδα, Μελίτη, Αγ. Δημήτριος, Καρδιά, Μελίτη, Κομοτηνή) τροφοδοτούμενοι από ορυκτά καύσιμα, θα μπορούν να αποθηκευτούν στον ταμιευτήρα του Πρίνου για περίπου 9 μήνες (IEA, 2005).

Παράμετρος	Λεκάνη του Πρίνου
Τεκτονική σταθερότητα	Σταθερή
Μέγεθος	Μικρή (<1.000km <sup>2</sup> )
Βάθος	Ενδιάμεση (1.500-3.500m)
Ταμιευτήρας-Κάλυμμα	Άριστη
Ένταση ρηγμάτων	Περιορισμένη
Γεωθερμική	Ζεστή λεκάνη (~80°C/km)
Δυνητικό για υδρογονάνθρακες	Μεγάλο
Ωριμότητα	Ώριμη
Ξηρά / υπεράκτια	Υπεράκτια
Προσβασιμότητα	Εύκολη
Υποδομή	Εκτεταμένη
Πηγές CO <sub>2</sub>	Ελάχιστες
Χωρητικότητα αποθήκευσης	1240 Mt CO <sub>2</sub>

Πίνακας 5: Επισκόπηση της αξιολόγησης της Λεκάνης του Πρίνου για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> σε γεωλογικούς σχηματισμούς (Koukouzas et al., 2009).

Στην περίπτωση υλοποίησης εφαρμογής CO<sub>2</sub>-Βελτιωμένης ανάκτησης πετρελαίου (EOR), η παραγωγή πετρελαίου θα συνεχίζεται αδιάκοπα κατά τις περιόδους έγχυσης CO<sub>2</sub>. Στις υψηλότερες περιοχές του κοιτάσματος θα σχηματιστεί μια ζώνη CO<sub>2</sub> αυξανόμενου μεγέθους πάνω από τη ζώνη του πετρελαίου. Με τη συνεχιζόμενη παραγωγή πετρελαίου μεγαλύτερος όγκος των πόρων του κοιτάσματος θα καταλαμβάνεται από το εγχεόμενο

CO<sub>2</sub> και ως αποτέλεσμα η αποθηκευτική χωρητικότητα και ικανότητα σε CO<sub>2</sub> του κοιτάσματος θα αυξάνει. Το βάθος από την επιφάνεια μέχρι την κορυφή του ταμιευτήρα (1-3.5Km) κρίνεται επαρκές για τη διατήρηση του CO<sub>2</sub> στην υπερκρίσιμη κατάστασή του και αυτό αποτελεί ευνοϊκό χαρακτηριστικό των ταμιευτήρων για αποθήκευση CO<sub>2</sub>, σε συνδυασμό με EOR υπό συνθήκες πλήρους ανάμειξης (Koukoulas et al., 2009).

Ο δεύτερος υποψήφιος χώρος, όπως αναφέρθηκε, είναι ο αλατούχος υδροφόρος σχηματισμός (με πορώδες 18%) του Πρίνου που βρίσκεται στα 2.4Km κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και έχει πιθανή αποθηκευτική ικανότητα 1221Mt CO<sub>2</sub> (GESTCO, 2003; Koukoulas and Τυρογ, 2009). Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> που προέρχονται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αποθηκευτούν στους αλατούχους υδροφορείς του Πρίνου για περίπου 52,6 χρόνια (βάση τα 1350Mt CO<sub>2</sub> στους υδροφόρους, GESTCO, 2003; Hatziyannis, 2009). Ωστόσο, η χρονική περίοδος αποθήκευσης CO<sub>2</sub> εξαρτάται και από την εκάστοτε ποσότητα εκπομπών αερίου. Ο μεγάλος αριθμός των υφιστάμενων γεωτρήσεων (68) που διεισδύουν στους ταμιευτήρες του κοιτάσματος και φθάνουν στον υδροφόρο θα εξυπηρετήσουν την έγχυση του CO<sub>2</sub> και συνάμα θα μειώσουν τα κόστη κεφαλαίου. Ωστόσο, η πρόκληση υπάρχει ήδη σε αυτές τις “γερασμένες” γεωτρήσεις και ένα πιθανό σενάριο μη τήρησης περιβαλλοντικών κανονισμών θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στην συγκράτηση του CO<sub>2</sub> στον υποκείμενο υδροφόρο.

Σύμφωνα με μια οικονομική μελέτη πάνω στο κόστος για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> στον αλατούχο υδροφόρο του Πρίνου (Koukoulas et al., 2011), το κόστος γεωτρήσεων εκτιμάται στα 11,6 εκατ. Ευρώ, οι δαπάνες επενδύσεων κεφαλαίου στα 38,4 εκατ. Ευρώ και υπόλοιπα λειτουργικά έξοδα στα 3 εκατ. Ευρώ/έτος. Επίσης, στην ίδια μελέτη, λαμβάνουν υπόψιν τους το σταθμισμένο ετήσιο κόστος αποθήκευσης το οποίο ανέρχεται στα 7,5 εκατ. Ευρώ/έτος καθώς επίσης και τις δαπάνες επενδύσεων κεφαλαίου μαζί με το κόστος αποθήκευσης στα 2,1 Ευρώ/έτος.

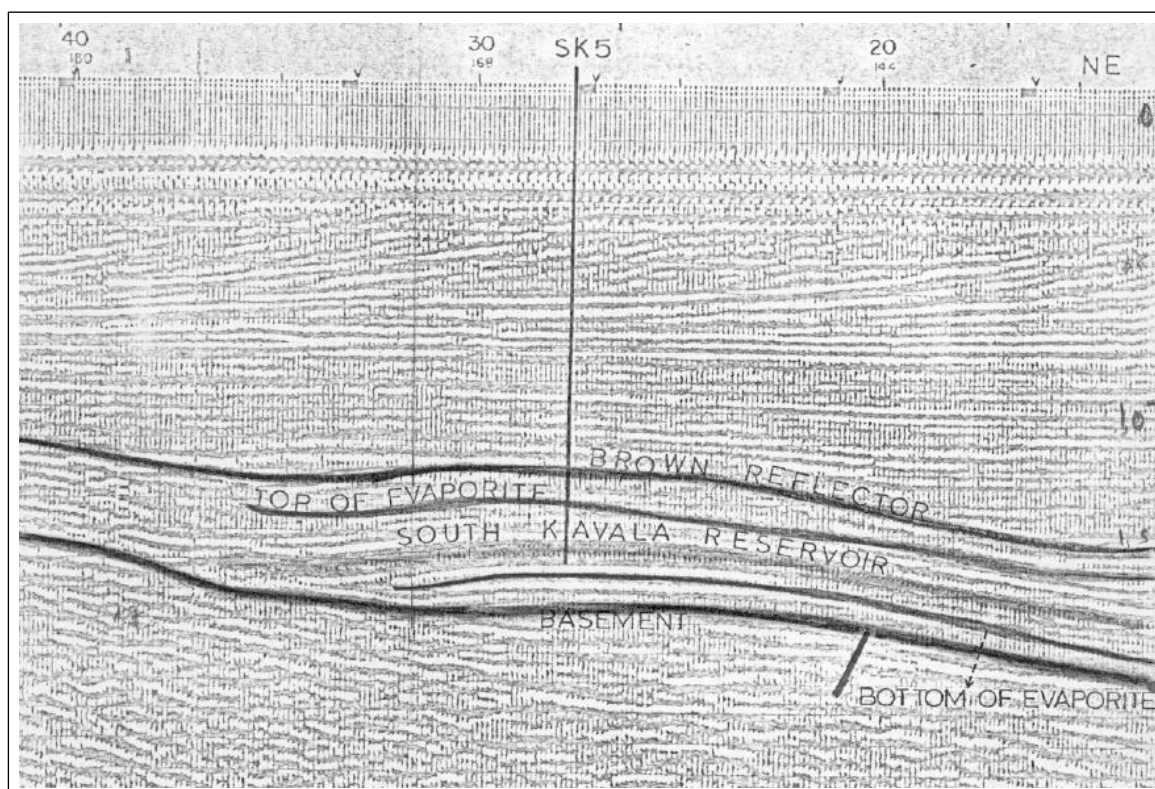
#### *Νότια Καβάλα – Υπόγεια Αποθήκευση Φ.Α. (GUS)*

Η ανάγκη της ενεργειακής αγοράς για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου έχει ωθήσει παγκοσμίως στην υιοθέτηση μεθόδων αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς (GUS). Όπως προαναφέρθηκε ένας από τους επικρατέστερους τύπους αποθήκευσης φυσικού αερίου είναι τα εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων (πετρελαίου-φυσικού αερίου).

Το κοιτάσμα της Ν. Καβάλας με επιφάνεια 5km<sup>2</sup>, είναι ένα σχεδόν εξαντλημένο κοιτάσμα αερίου, βρίσκεται στον Κόλπο της Καβάλας και το φυσικό αέριο που παράγει περιέχει περίπου 80% μεθάνιο (**Εικόνα 21**). Το κοιτάσμα βρίσκεται σε βάθος 1,7Km, ενώ το βάθος της θάλασσας στην περιοχή είναι περίπου 51m. Ο ταμιευτήρας είναι τουρβιδιτικός ψαμμίτης, βρίσκεται σε βάθος μεταξύ 1.620-1.730m, με αδιαπέρατο κάλυμμα εβαποριτών (**Εικόνες 22 και 23**) (Προέδρου, 2001). Η γεω-τεκτονική της λεκάνης καθώς και η λιθοστρωματογραφική σειρά δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από αυτήν της περιοχής του Πρίνου (προ-εβαποριτική σειρά, εβαποριτική σειρά και μετά-εβαποριτική σειρά) (**Εικόνα 22**). Η δομή της παγίδας του αερίου είναι παρόμοια με αυτής των δομών του Πρίνου, πλέγμα αντικλίνου ρηγματικής παγίδας και ιζηματογενούς αποσφηνώσεως (**Εικόνες 23 και 24**). Ο ταμιευτήρας του κοιτάσματος εντοπίζεται

μεταξύ τετάρτου και πέμπτου εβαποριτικού οριζοντα με τον πρώτο να σχηματίζει το στεγανό κάλυμμα αυτού (Προέδρου, 2001).

Σήμερα, τα αποθέματα του κοιτάσματος της Ν. Καβάλας είναι υπό εξάντληση και η βιομηχανία πετρελαίου δεν έχει δείξει κάποιο ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων. Ωστόσο, με βάση τη συνοπτική περιγραφή που έγινε σε αυτήν την ενότητα θεωρούμε ότι ο ταμιευτήρας αυτής της λεκάνης συγκεντρώνει όλα εκείνα τα πλεονεκτήματα που επιτρέπουν την μετατροπή αυτού του κοιτάσματος σε αποθηκευτικό χώρο φυσικού αερίου (GUS). Πιο συγκεκριμένα, το κοίτασμα χαρακτηρίζεται από εξαιρετικό ταμιευτήρα με επαρκές στεγανό κάλυμμα, μικρό βάθος θάλασσας, κοντινή απόσταση από την στεριά και οργανωμένη υποδομή της περιοχής από τη μακροχρόνια (περίπου μισός αιώνας) πετρελαϊκή δραστηριότητα.



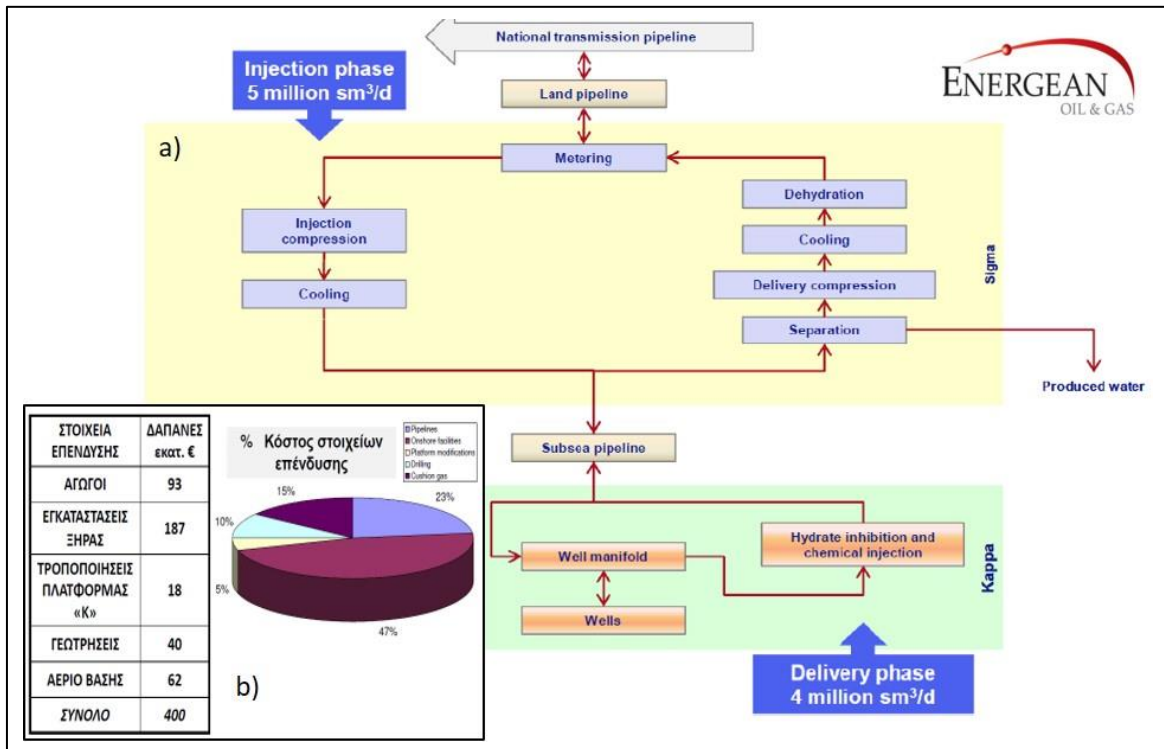
*Εικόνα 24:* Σεισμική τομογραφία όπου διακρίνονται ο ταμιευτήρας (τουρβιδιτικός ψαμμίτης) και κάλυμμα (εβαπορίτες) της δομής Ν. Καβάλα, Γεώτρηση SK-5, (Προέδρου, 2001).

Η ανάπτυξη Υπόγειας Αποθήκης Φυσικού Αερίου (GUS) στο εξαντλημένο κοίτασμα της Ν. Καβάλας έχει αποτελέσει κατά το παρελθόν αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης. Το 2000-2001 η εταιρεία SHELL εκπόνησε (κατόπιν ανάθεσης από ΔΕΠΑ) σχετική τεχνική μελέτη η οποία κατέδειξε ότι ο χώρος είναι κατάλληλος για ανάπτυξη τέτοιας κλίμακας έργου. Μετά από δέκα περίπου χρόνια εκπονήθηκε επιπρόσθετη μελέτη της Technip/Genesis (κατόπιν ανάθεσης από την Energean oil and Gas SA - Ενεργειακής Αιγαίου Α.Ε.) και κατέδειξαν ότι καθίσταται ιδανικό για χρήση ως Υπόγεια Αποθήκευση Αερίου (**Εικόνα 25**). Βάσει της μελέτης της Technip/Genesis:

- Η ημερήσια δυναμικότητα παραγωγής και εισπίεσης εκτιμάται σε 4,0 και 5,0 εκατ. κ.μ.



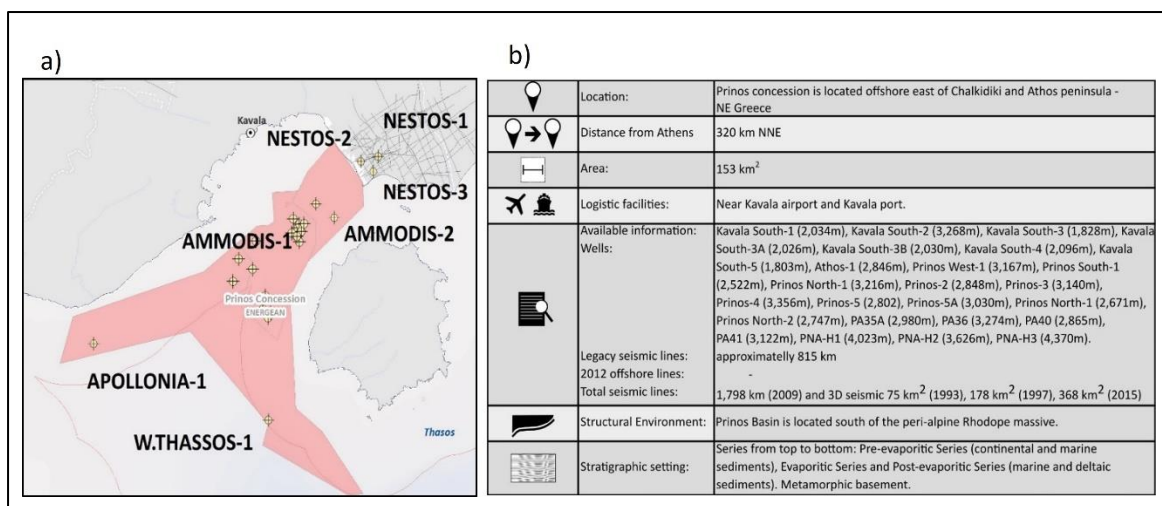
- Ο ετήσιος όγκος ωφέλιμου αερίου να ανέρχεται σε 360 εκατ. κ.μ., σε δύο κύκλους παραγωγής-εισπίεσης, έτσι ώστε η ετήσια δυναμικότητα της υπόγειας αποθήκης να καλύπτει 720 εκατ. κ.μ.
- Το κόστος επένδυσης υπολογίζεται σε 400 εκατ. Ευρώ με περιθώρια αποκλίσεων 40% **(Εικόνα 25)**.



Εικόνα 25: α) Λειτουργικό διάγραμμα Υπόγειας Αποθήκευσης Φ.Α. και β) Κατάτμηση κόστους επένδυσης (Technip/Genesis-Energean Oil and Gas, 2010).

Αξίζει να σημειωθεί ότι το έργο αυτό έχει ενταχθεί στο Επιχειρησιακό Πλάνο Ανάπτυξης του ΤΑΙΠΕΔ (Ταμείο Αξιοποίησης Ιδιωτικής Περιουσίας Του Δημοσίου) και στο πλαίσιο αυτό θα αξιολογηθεί η καλύτερη διαθέσιμη επιλογή για τη χρήση, ανάπτυξη και εμπορική εκμετάλλευσή του ως εγκατάσταση αποθήκευσης φυσικού αερίου. Μελλοντικά, η εν λόγω υποδομή θα συμβάλει καθοριστικά στην βελτιστοποίηση της λειτουργίας του (gas hub) και θα ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια της αγοράς φυσικού αερίου (ασφάλεια εφοδιασμού) σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Δεδομένου ότι η εκμετάλλευση θα γίνει σε εξαντλημένο κοίτασμα, δηλαδή σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς, η εμπλοκή της ΕΔΕΥ **(Εικόνα 26)** είναι απαραίτητη. Η εταιρεία είναι εκ του νόμου υποχρεωμένη να εποπτεύει και να αξιολογήσει το δυνητικό αυτό συγκρότημα για την Υπόγεια Αποθήκευση Φ.Α. καθώς και για περαιτέρω έρευνα της περιοχής π.χ. για πιθανούς θύλακες φυσικού αερίου στην ευρύτερη περιοχή της Λεκάνης του Πρίνου. Επί του παρόντος, το κοίτασμα Φ.Α. Νοτίου Καβάλας στο Θρακικό Πέλαγος είναι σε χρήση από την Energean Oil and Gas S.A.



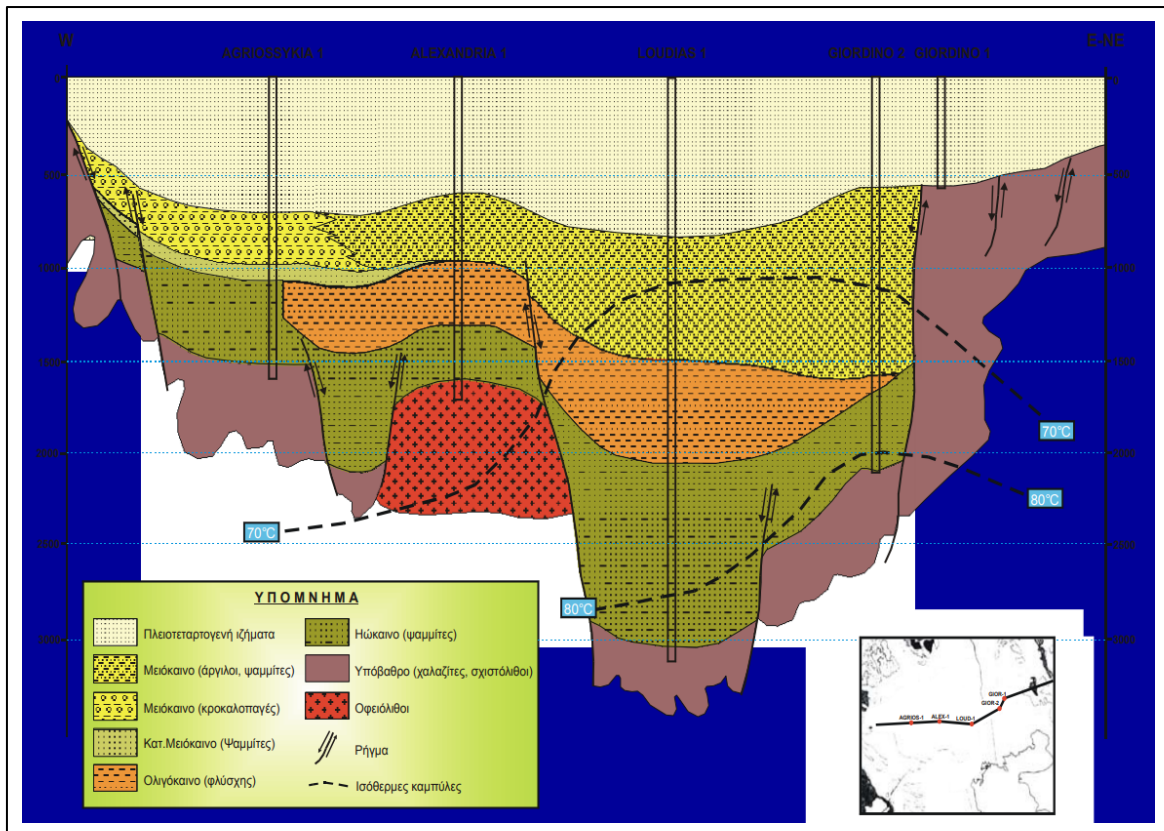
**Εικόνα 26:** α) Χάρτης που αποτυπώνει την οριοθέτηση του θαλάσσιου ερευνητικού οικοπέδου της Λεκάνης του Πρίνου στον κόλπο της Καβάλας. Επί του παρόντος ο μοναδικός ανάδοχος είναι η Energean Oil and Gas S.A., β) Η ΕΔΕΥ Α.Ε. διαθέτει στο αρχείο της όλα τα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα της περιοχής καθώς και πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν σε πιθανά σενάρια για μεταφορά του CO<sub>2</sub> μέσω μεγάλων φορτηγών, καραβιών σε συνδυασμό με χερσαίους (ή και υποθαλάσσιους) υφιστάμενους αγωγούς (ΕΔΕΥ Α.Ε., 2020b).

## Δυτική Θεσσαλονίκη

Ο υδροφόρος της Δυτικής Θεσσαλονίκης, ο οποίος βρίσκεται στην λεκάνη της Δ. Θεσσαλονίκης αποτελεί έναν σχηματισμό, που ενδείκνυται για αποθήκευση CO<sub>2</sub> και μάλιστα στο παρελθόν έχουν γίνει μελέτες για τον συγκεκριμένο ταμειυτήρα που εξετάζουν την καταλληλότητά του.

Η λεκάνη βρίσκεται δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και καλύπτει μια περιοχή μεγαλύτερη από 4.200Km<sup>2</sup> στην ξηρά και μια υπεράκτια έκταση 4.000Km<sup>2</sup> (Κορδάρης, 2012) (**Εικόνα 8**). Είναι τεκτονικά σταθερή με περιορισμένη έκθεση σε ρήγματα. Ο προσανατολισμός της λεκάνης είναι παράλληλος των γειτονικών γεωτεκτονικών ζωνών (Σερβομακεδονική, στα ανατολικά και Αξιού-Βαρδάρη, στα δυτικά), οι οποίες έχουν μία γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και αποτελεί μια πολύπλοκη τεκτονική τάφρο. Είναι μια λεκάνη μολασσικού τύπου, η οποία δημιουργήθηκε κατά το Κάτω Ηώκαινο με τη δράση εφελκυστικών ρηγμάτων και στη συνέχεια από τη συμπιεστική περίοδο (πτυχώσεις) της Αλπικής ορογένεσης.

Η λεκάνη αποτελείται κυρίως από κλασικές μονάδες (κροκαλοπαγή, άμμο, άργιλο) και σε τοπικό επίπεδο από ασβεστολιθικά ιζήματα (ασβεστόλιθοι, μάργες) (**Εικόνα 27**). Το υπόβαθρο της λεκάνης είναι υψηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα που ανήκουν κυρίως στη ζώνη του Αξιού. Το πάχος των υφάλμυρων σχηματισμών των υδροφόρων οριζόντων ψαμμίτη της λεκάνης υπερβαίνει τα 500m παρέχοντας τη δυνατότητα για αποθήκευση CO<sub>2</sub>. Τα υπερκείμενα ιζήματα περιλαμβάνουν κυρίως φλύσχη Ολιγοκαινικής ηλικίας με μέσο πάχος εμφάνισης τα 1.200m. Η αναλογία άμμου/πηλού στον σχηματισμό του υδροφόρου, κυμαίνεται μεταξύ 40% και 90% και επηρεάζεται έντονα από το σχηματισμό των υφάλμυρων δομών. Το βάθος από την κορυφή των υφάλμυρων σχηματισμών ποικίλλει μεταξύ 900-2.400m, όπου είναι και το βέλτιστο βάθος που μεγιστοποιεί την ικανότητα αποθήκευσης CO<sub>2</sub> στις κρύες λεκάνες. Το πορώδες κυμαίνεται από 5% έως 20% και η διαπερατότητα από μερικά έως 120mD.



Εικόνα 27: Γεωλογική τομή της Λεκάνης της Θεσσαλονίκης (Χατζηγιάννης, 2007).

Αξιολογώντας το δυναμικό της λεκάνης για την αποθήκευση CO<sub>2</sub> συμπεραίνουμε ότι στη λεκάνη υπάρχουν καλοί υφάλμυροι υδροφόροι (saline aquifers) και τεκτονικές παγίδες. Επίσης, ένα παχύ στρώμα πηλού (clay) λειτουργεί ως κάλυμμα. Τα παραπάνω τρία χαρακτηριστικά διασφαλίζουν ένα ολοκληρωμένο γεωλογικό σύστημα ικανό να αποθηκεύσει CO<sub>2</sub> (Κορδάρης, 2012; Hatzigiannis, 2009). Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί προτείνουν ότι ο σχηματισμός μπορεί δυνητικά να αποθηκεύσει ως 645Mt CO<sub>2</sub> (RWE, 2006).

Χαρακτηριστικά του σχηματισμού παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 6 (Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλοί μελετητές αθροίζουν το δυναμικό τριών σχηματισμών της λεκάνης της Δυτικής Θεσσαλονίκης και στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία καθεμιάς από αυτές):

Δυτική Θεσσαλονίκη			
	Δυτική Θεσσαλονίκη	Δυτική Θεσσαλονίκη (ψαμμίτης)	Αλεξάνδρεια
Τοποθεσία	Χερσαία	Χερσαία	Χερσαία

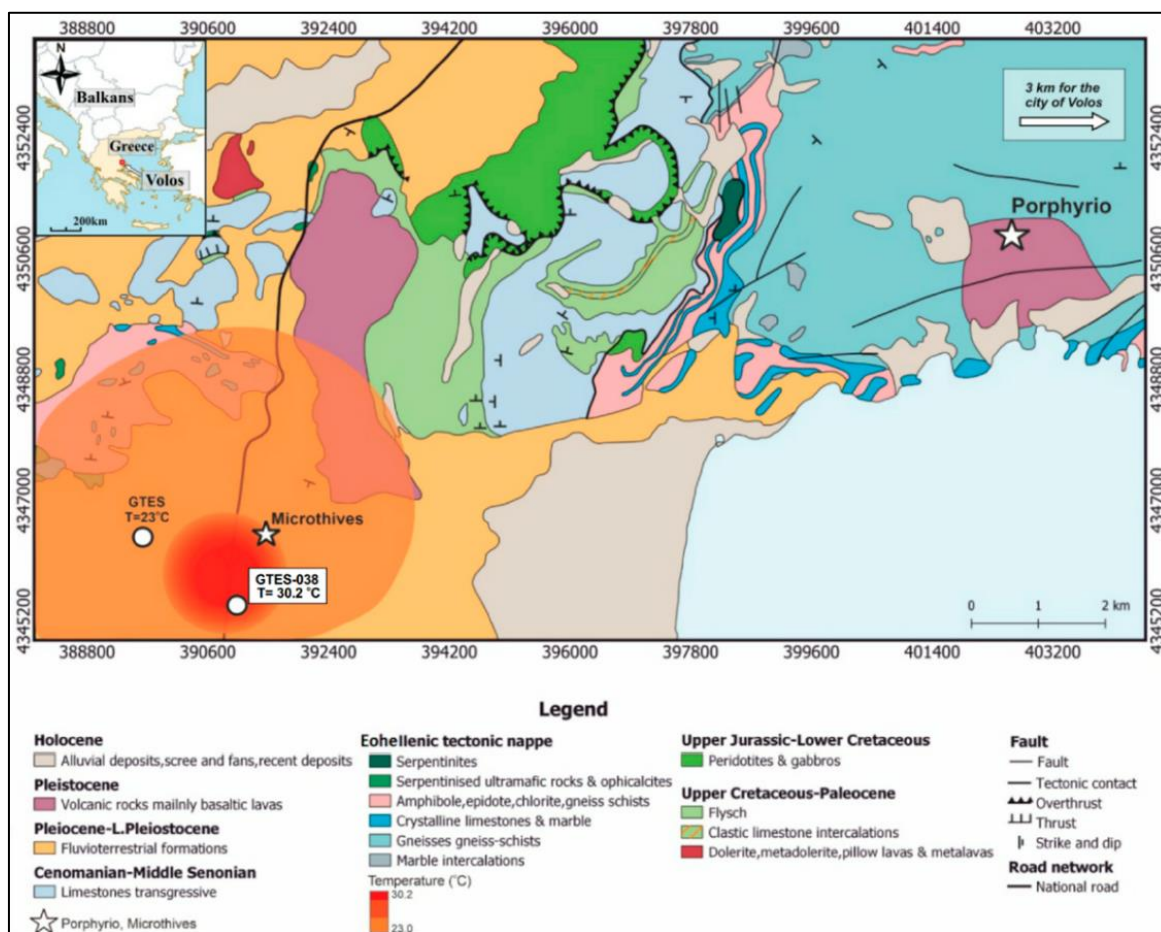
Δυτική Θεσσαλονίκη			
	Δυτική Θεσσαλονίκη	Δυτική Θεσσαλονίκη (ψαμμίτης)	Αλεξάνδρεια
Βάθος υδροφόρου (m)	1.200-2.200	2.400	900
Έκταση (Km <sup>2</sup> )	1.700	1.700	70
Μέσο πάχος (m)	100	21	180
Πορώδες (%)	10	10	8
Pore Volume (km <sup>3</sup> )	10,20	3,21	0,76
Δυναμικό αποθήκευσης (Mt/CO <sub>2</sub> )	460	145	35
Ύπαρξη Υδρογονανθράκων	Όχι	Όχι	Όχι
Ποιότητα καλύμματος	Πολύ καλή	Πολύ καλή	Καλή
Κίνδυνος διαρροής CO <sub>2</sub>	Μικρή	Μικρή	-

Πίνακας 6: Συνοπτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά των υπόγειων σχηματισμών (Κορδάρης, 2012; Hatzigiannis, 2009).

### Βόλος (Βασάλτες)

Τα βασαλτικά πετρώματα εμφανίζουν κατάλληλες φυσικοχημικές ιδιότητες για την εφαρμογή της κατακρήμνισης ανθρακικών ορυκτών (carbonate mineral precipitation) μέσω της αλληλεπίδρασης των πλούσιων σε Ca-Mg-Fe ορυκτά με ανθρακικό οξύ, που προέρχονται από τη διάλυση του εγχυμένου CO<sub>2</sub> σε νερό. Τα νεοσχηματισμένα μέταλλα αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη, μαγνησίτη και σιδερίτη, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα μακροπρόθεσμης και ασφαλούς αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (Κουκουζας et al., 2019).

Σύμφωνα με τον Koukouzas et al. (2019), τα ηφαιστειακά πετρώματα Πλειστοκαινικής ηλικίας που υπάρχουν στην περιοχή του Βόλου στις τοποθεσίες Μικροθήβες και Πορφύριο ταξινομούνται ως βασαλτικές και τραχειανδεστικές λάβες, οι οποίες σχηματίστηκαν λόγω του “back-arc extension” του Αιγαίου. Τα γεωχημικά χαρακτηριστικά τους υποδηλώνουν ότι είναι αλκαλικοί βασάλτες συγγενείς με ΟΙΒ. Τα αποτελέσματα από λεπτομερή πετρογραφική εξέταση δείχνουν ότι το πορώδες τους κυμαίνεται μεταξύ 5% και 40% με φυσαλίδες (vesicles), οι οποίες, σε μερικά δείγματα πετρώματος, φιλοξενούν και ασβεσίτη. Η συντριπτική πλειονότητα των μελετημένων δειγμάτων εμφανίζει πορώδες που κυμαίνεται μεταξύ 15% και 23% (Koukouzas et al., 2019).



Εικόνα 28: Γεωλογικός Χάρτης που αποτυπώνει το καθεστώς θερμοκρασίας των υπόγειων υδάτων στην περιοχή Μικροθήβες (Koukouzas et al., 2019).

Μια πρόσφατα ανενεργή πηγή μαγνητικής θέρμανσης που υπάρχει στη περιοχή που βρίσκονται οι βασάλτες στις Μικροθήβες, επηρέασε το καθεστώς θερμοκρασίας των υπόγειων υδάτων (Εικόνα 28). Οι αυξημένες θερμοκρασίες υπόγειων υδάτων καταγράφονται επίσης σε παρακείμενες περιοχές με βασάλτες παρόμοιας σύστασης και ηλικίας, υποδηλώνοντας ότι αυτή η δραστηριότητα σχετίζεται με την εκτεταμένη τεκτονική δραστηριότητα του οπίσθιου τόξου (extensional back-arc tectonic setting).

Οι βασάλτες από την περιοχή του Βόλου έχουν τα απαραίτητα κατάλληλα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά για να θεωρηθούν πιθανές τοποθεσίες για την εφαρμογή τεχνολογιών δέσμωσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) λόγω (i) του χαμηλού βαθμού αλλοίωσης, (ii)

της αλκαλικής σύνθεσης ακορέστου πυριτίου, (iii) της παρουσίας ορυκτών που φέρουν Ca, (iv) του υψηλού πορώδους και (v) τις ενδείξεις αυξημένης θερμότητας. Η εγγύτητα των βασαλτικών πετρωμάτων προς τη θάλασσα δίνει την ευκαιρία για εκμετάλλευση των απεριόριστων πηγών νερού κατά την έγχυση CO<sub>2</sub> (Koukouzas et al., 2019). Επιπλέον, αυτά τα κέντρα βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τη βιομηχανική περιοχή του Βόλου, παρέχοντας τη δυνατότητα για την ανάπτυξη ενός οικονομικά εφικτού σεναρίου. Οι προκαταρκτικοί υπολογισμοί υποδηλώνουν ότι πιθανά πιλοτικά έργα στους βασαλτικούς σχηματισμούς στις Μικροθήβες και το Πορφύριο μπορούν να αποθηκεύσουν 82.800 και 27.600 τόνους μέγιστου CO<sub>2</sub>, αντιστοίχως, αν και το μέγεθός τους θα μπορούσε να χρησιμεύσει και για την αποθήκευση πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> μετά την ανάπτυξη πιλοτικών δοκιμών (Koukouzas et al., 2019).

## Συμπεράσματα

Η αποθήκευση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι μια καλά κατανοητή, μόνιμη και ασφαλής τεχνολογία κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση των εκπομπών και την επίτευξη των στόχων του Παρισιού.

Οι συνηθισμένοι μύθοι και οι πιθανές παρανοήσεις που σχετίζονται με την τεχνολογία CCS περιλαμβάνουν τον κίνδυνο διαρροής CO<sub>2</sub> ή περιβαλλοντικής βλάβης, τη μόνιμη αποθήκευση και τον αντίκτυπο στους σεισμούς. Έχουν επίσης εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με το εάν κάποιος θα είναι υπεύθυνος σε περίπτωση συμβάντος.

Ωστόσο, δεκαετίες εμπειρογνωμοσύνης από τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και δεδομένα από την παρακολούθηση, τη μέτρηση και την επαλήθευση τόπων αποθήκευσης και πληθώρα ακαδημαϊκών μελετών συνδυάζονται για να ενισχύσουν τον ουσιαστικό ρόλο της τεχνολογίας CCS στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Τα ορυκτά καύσιμα αναμένεται να συνεχίσουν να παρέχουν περίπου το 50% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας μέχρι το 2050 (US Energy Information Administration International Energy Outlook 2019, IEO 2019).

Με βάση αυτά τα δεδομένα, η παρούσα μελέτη της ΕΔΕΥ παρουσιάζει μια επιλογή μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση της ορυκτής ενέργειας με τέτοιο τρόπο ώστε να διευκολύνει τους μελλοντικούς αναπτυξιακούς στόχους της Ελλάδας. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποφυγή της εξάλειψης της χρήσης ορυκτών καυσίμων, περιορίζοντας έτσι στο ελάχιστο τη διακοπή των χρηματοπιστωτικών δραστηριοτήτων και τη συρρίκνωση των θέσεων εργασίας.





## Αναφορές

Aarnes, J.E., Selmer-Olsen, S., Carpenter, M.E., Flach, T.A., 2009. Towards guidelines for selection, characterization and qualification of sites and projects for geological storage of CO<sub>2</sub>. *Energy Procedia*, 1(1), 1735-1742.

Brunn, J.H., 1956. Contribution a l' étude geologique du Pinde serpenrional et d' une partie de la Macedoine occidentale. *Annales Géologique des Pays Hellénique*, v. 7, p. 1-346.

Bui, M., Adjiman, C.S., Bardow, A., Anthony, E.J., Boston, A.; Brown, S., Fennell, P.S., Fuss, S., Galindo, A., Hackett, L.A., 2018. Carbon capture and storage (CCS): The way forward. *Energy Environ. Sci.*, 11, 1062–1176.

Chadwick, A., Arts, R., Bernstone, C., May, F., Thibeau, S., Zweigel, P., 2008. Best practice for the storage of CO<sub>2</sub> in saline aquifers-observations and guidelines from the SACS and CO<sub>2</sub>STORE projects (Vol. 14). British Geological Survey.

CSIRO, Submission No. 10, p. 2 of House of Representatives Committees on Chapter 5 The environmental benefits and risks of CCS and public perception. Government of Australia.

CSLF, 2013. Reviewing Best Practices and Standards for Geologic Storage and Monitoring of CO<sub>2</sub>, an Initial Compilation of Standards, Best Practices and Guidelines for CO<sub>2</sub> Storage and Monitoring.

ECO2 Project. <https://www.eco2-project.eu/>.

Energean Oil and Gas, 2010. Υπόγεια Αποθήκη Φυσικού Αερίου Νότιας Καβάλας, 15<sup>ο</sup> Συνέδριο IENE, Αθήνα. Διαθέσιμο από: [https://www.iene.gr/energy-development2010/articlefiles/4thSession/nikolaou\\_k.pdf](https://www.iene.gr/energy-development2010/articlefiles/4thSession/nikolaou_k.pdf)

European Communities, 2011. Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide - Guidance Document 2 - Characterization of the Storage Complex, CO<sub>2</sub> Stream Composition, Monitoring and Corrective Measures.

European Parliament (2009). Οδηγία 2009/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε γεωλογικούς σχηματισμούς και για την τροποποίηση της οδηγίας 85/337/ΕΟΚ του Συμβουλίου, των οδηγιών του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου 2000/60/ΕΚ, 2001/80/ΕΚ, 2004/35/ΕΚ, 2006/12/ΕΚ και 2008/1/ΕΚ, και του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1013/2006. Διαθέσιμο από: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0031&from=EL>

Gaus I., Le Guern C., Pauwels H., Girard J.P., Pearce J., Shepherd T., Hatziyannis G., Metaxas A., 2006. Comparison of long-term geochemical interactions at two natural CO<sub>2</sub>-analogues: Montmiral (Southeast Basin, France) and Messokampos (Florina Basin, Greece) case studies. Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Vancouver, Canada, 5-9 September 2005. reservoirs: identification of features, events, and processes and lessons learned. *Environ. Geol.*, 52, 457–467.

- GESTCO, 2003. European Potential for the Geological Storage of CO<sub>2</sub>.
- Global CCS Institute, 2019. Διαθέσιμο από: <https://www.globalccsinstitute.com/>.
- Global CCS Institute Report, 2019. Διαθέσιμο από: <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>.
- Greenpeace, 2015. Διαθέσιμο από: <https://unearthed.greenpeace.org/2015/04/29/carbon-capture-and-storage-will-it-ever-work/>
- Hatziyannis G., 2009. Country updates: Greece. In: Vangkilde-Pedersen T, editor. WP2 Report – Storage capacity. EU GeoCapacity – Assessing European Capacity for Geological storage of Carbon Dioxide. Project no. SE6-518318. 2009: p. 144-147.
- House of Commons, Science and Technology Committee (United Kingdom), Meeting UK energy and climate needs: The Role of carbon capture and storage. First Report of Session 2005-06, p. 63 & p. 66.
- IEA, 2005. Building the cost curves for CO<sub>2</sub> storage: European Sector. Report No. 2005/2.
- IEA, 2017. CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, Highlights. Διαθέσιμο από: <https://webstore.iea.org/co2-emissions-from-fuel-combustion>.
- IEA, 2018. Διαθέσιμο από: <https://www.iea.org/countries/greece>.
- IEAGHG, 2009. CCS Site Characterization Criteria. IEA Greenhouse Gas R&D Programme. Technical Study, Report No. 2009/10.
- IEO, 2019. US Energy Information Administration International Energy Outlook 2019, Διαθέσιμο από: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.
- I.G.M.E. (Institute of Geology and Mineral Exploration), 1983. Geological Map of Greece.
- Redaction from: Bornovas J. and Rondogianni-Tsiambaou Th., General director: Papavassiliou K.
- IPCC, 2005. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, UK.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Διαθέσιμο από: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- IPCC report, 2018. Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), Διαθέσιμο από: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- Hansen J.Ø., Rasen B., Facts 2012. The Norwegian Petroleum Sector. Annual Report, Norwegian Ministry of Petroleum and Energy and Norwegian Petroleum Directorate, Stavanger, Norway.

Harker, S., Burrows, A., 2007. The structural and sedimentological evolution of the Prinos Basin, Greece. In: *New and Emerging Plays from the Circum Mediterranean Region I*, AAPG & AAPG European Region Energy Conference and Exhibition, Technical Program, November 18–21, 2007.

Karakatsanis S., Koukouzas N., Pagonas M., Zelilidis A., 2007. Preliminary sedimentological results indicate a new detailed stratigraphy for the Florina sedimentary basin and relate them with CO<sub>2</sub> presence. *Bull. Geol. Soc. Greece. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Congress, Athens.*

Khan I., 2006. *CO<sub>2</sub> Storage Technologies Overview*. RWE Power International.

Kiomourtzi, P., Pasadakis, N., Zelilidis, A., 2008. Source Rock and Depositional Environment Study of Three Hydrocarbon Fields in Prinos–Kavala Basin (North Aegean). *The Open Petroleum Engineering Journal* 1, 16-29.

Koukouzas, N., Koutsovitis, P., Tyrologou, P., Karkalis, C., Arvanitis, A., 2019. Potential for Mineral Carbonation of CO<sub>2</sub> in Pleistocene Basaltic Rocks in Volos Region (Central Greece). *Minerals*, 9(10), 627.

Koukouzas, N., Kypritidou, Z., Purser, G., Rochelle, C.A., Vasilatos, C., Tsoukalas, N., 2018. Assessment of the impact of CO<sub>2</sub> storage in sandstone formations by experimental studies and geochemical modeling: The case of the Mesohellenic Trough, NW Greece. *Int. J. Greenh. Gas Control*, 71, 116–132.

Koukouzas, N., Lympelopoulou, P., Tasianas, A., Shariatipour, S., 2016. Feasibility study for the setting up of a safety system for monitoring CO<sub>2</sub> storage at Prinos Field, Greece. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 44, No. 5, p. 052043). IOP Publishing.

Koukouzas, N., Tasianas, A., Gemeni, V., Alexopoulos, D., Vasilatos, C., 2015. Geological modelling for investigating CO<sub>2</sub> emissions in Florina Basin, Greece. *Open Geosciences*, 7(1).

Koukouzas, N., Ziogou, F., Gemeni, V., 2011. Cost of pipeline-based CO<sub>2</sub> transport and geological storage in saline aquifers in Greece. *10th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies* 4, 2978-2983.

Koukouzas, N. and Typou, I., 2009. An assessment of CO<sub>2</sub> transportation cost from the power plants to geological formations suitable for storage in North Greece. *Energy Procedia* 1, 1657-1663.

Koukouzas, N., Ziogou, F., Gemeni, V., 2009. Preliminary assessment of CO<sub>2</sub> geological storage opportunities in Greece. *Int J Greenh Gas Con* 3, 502-513.

Ktenas, D., Henriksen, E., Meisingset, I., Nielsen, J. K., Andreassen, K., 2017. Quantification of the magnitude of net erosion in the southwest Barents Sea using sonic velocities and compaction trends in shales and sandstones. *Marine and Petroleum Geology*, 88, 826-844.

Maddison D., Submission No. 11, p. 2 of House of Representatives Committees on Chapter 5 The environmental benefits and risks of CCS and public perception, Government of Australia.

Maldal T. And Tappel I.M., 2004. CO<sub>2</sub> underground storage for Snøhvit gas field development. *Energy*, 29(9 -10), 1403–1411.

Matysek A., M. Ford, G. Jakeman, A. Gurney, B.S. Fisher, Technology: Its role in economic development and climate change, ABARE Research Report 06.6, Canberra, July 2006.

Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2007. The Future of coal: Options for a carbon constrained world, Cambridge MA.

Ostanin I., Anka Z., di Primio R., 2013. Hydrocarbon plumbing systems above the Snøhvit gas field: Structural control and implications for thermogenic methane leakage in the Hammerfest Basin, SW Barents Sea. *Mar. Petrol. Geol.*, 43, 127–146.

Papanikolaou, D., Lekkas, E., Mariolakos, E., Mirkou, R., 1988. Contribution on the geodynamic evolution of the Mesohellenic trough. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, v. 20, p. 17-36.

Pasadakis, N.A., Koutsotheodorou, E., Manoutsoglou, M., Papakonstantinou, K., Kiomourtzi, P., Zelilidis, A., 2005. A COMPARATIVE STUDY OF OILS FROM KAVALA BASIN USING BIOMARKERS ANALYSIS. 2nd Congress of the Commission of Economic Geology, Mineralogy and Geochemistry, 309-317.

Proedrou, P. and Sidiropoulos, T., 1992. Prinos Field–Greece. Aegean basin. Structural Traps. *Treatise of petroleum Geology. Atlas of oil and gas field*, VI. AAPG, 275-291.

RWE, 2006. CO<sub>2</sub> Storage Technologies Overview, RWE Power International, TECH/JJB/670/06.

United Nations Environmental Programme (UNEP), 2006. Can carbon dioxide storage help cut greenhouse emissions? A Simplified guide to the IPCC's 'Special report on carbon dioxide capture and storage', p. 15.

United Nations Paris Agreement, 2015. Διαθέσιμο από: [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en)

Tasianas, A., Koukouzas, N., 2016. CO<sub>2</sub> storage capacity estimate in the lithology of the Mesohellenic Trough, Greece. *Energy Procedia*, 86, 334–341.

Vamvaka A., 2009. Geometry of deformation and kinematic analysis in Mesohellenic Trough. PhD thesis from the Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology.

Vamvaka A., Spiegel C., Frisch W., Danišík M., Kiliyas A., 2009. Fission track data from the Mesohellenic Trough and the Pelagonian zone in NW Greece: Cenozoic tectonics and exhumation of source areas. *International Geology Review*, v. 52 (2 & 3), pp. 223-248.

Zelilidis, A., Piper, D.J.W., and Kontopoulos, N., 2002. Sedimentation and basin evolution of the Oligocene–Miocene Mesohellenic basin, Greece. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 86, n. 1, p. 161-182.

Ziogou F., Gemeni V., Koukouzas N., de Angelis D., Libertini S., Beaubien S.E., Lombardi S., West J.M., Jones D.G., Coombs P., Barlow T.S., Gwosdz S., Krüger M., 2013. Potential environmental impacts of CO<sub>2</sub> leakage from the study of natural analogue sites in Europe. *Energy Procedia*, 37, 1–8.

Γεωργακόπουλος, Α., 2000. Lithology and stratigraphy of the neogene Prinos-Kavala basin, northern Greece. *Geological Society of Greece Special Publications*, No 9, 79-84.

ΔΕΗ Α.Ε., 2020. Διαθέσιμο από: <https://www.dei.gr/el>

ΕΔΕΥ Α.Ε. (Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογοναθράκων), 2020α. Τεχνική έκθεση για έρευνα υδρογοναθράκων στην Μεσοελληνική Αύλακα (Αδημοσίευτη).

ΔΕΥ Α.Ε. (Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογοναθράκων), 2020b. [https://www.greekhydrocarbons.gr/index\\_gr.html](https://www.greekhydrocarbons.gr/index_gr.html)

Κιομουρτζή, Π., Παπακωνσταντίνου, Κ., Πασαδάκης, Ν., Ζελιλίδης, Α., 2007. Geochemical characterisation of satellite hydrocarbon formations in Prinos-Kavala basin (North Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece XXXVII*.

Κορδάρης Ν., 2012. Τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CCS) και δυνατότητες συμβολής στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG): η περίπτωση της Ελλάδας.

Λέκκας Ε, Παπανικολάου Δ, Σκαρπέλης Ν., 1988. Μετασυνεδριακή εκδρομή, Ορθρυς, δυτική Θεσσαλία, βόρεια Πίνδος. 4ο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

Προέδρου, Π., 1986. New age determination of the Prinos Basin. *Bulletin Geological Society of Greece* 20/2, 141-147.

Προέδρου, Π., 2001. South Kavala Gas Field - Taphrogenetic Prinos Basin. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34(3), 1221-1228.

Προέδρου, Π. and Παπακωνσταντίνου, Π., 2004. Prinos Basin – A model for exploration. *Proc. of the XXXVI Geological Society of Greece*, Thessaloniki, April, 327-333.

Χατζηγιάνης, 2007. Ο Ρόλος της Δέσμευσης και Αποθήκευσης του CO<sub>2</sub> (C.C.S., Capture and Storage of CO<sub>2</sub> ) στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Διαθέσιμο από: [https://bellona.org/assets/sites/3/2015/06/fil\\_hatziannis1.pdf](https://bellona.org/assets/sites/3/2015/06/fil_hatziannis1.pdf).



## **Βιογραφικά**

### **Δημήτριος Κτενάς, Γεωλόγος-Γεωφυσικός, ΕΔΕΥ ΑΕ**

Ο Δημήτριος Κτενάς είναι κάτοχος πτυχίου Γεωλογίας (2008), μετ/κού τίτλου στην Ιζηματολογία και Γεωχημεία από το Πανεπιστήμιο Πατρών (2011) καθώς και Διδ/κού τίτλου (2019) στην Θαλάσσια Γεωφυσική από το Ερευνητικό Πετρελαϊκό Ινστιτούτο της Αρκτικής (ARCEX-Research Centre for Arctic Petroleum Exploration), στο Τρόμσο της Νορβηγίας. Τα τελευταία έξι (6) χρόνια εργαζόταν ως γεωλόγος-γεωφυσικός στην βιομηχανία πετρελαίου της Νορβηγίας. Από το 2019, στην ΕΔΕΥ ΑΕ, ασχολείται με το πετρελαϊκό δυναμικό της θαλάσσιας περιοχής της Κρήτης. Είναι συγγραφέας και συνεργάτης σε δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά σχετικά με την έρευνα υδρογονανθράκων στην Αρκτική.

### **Βασιλική Κοσμίδου, Γεωλόγος πετρελαίου, ΕΔΕΥ ΑΕ**

Η Βασιλική Κοσμίδου είναι γεωλόγος πετρελαίου στην Ελληνική Διαχειριστική Εταιρεία Υδρογονανθράκων, από το 2017. Στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της ασχολείται με την γεωλογική και γεωφυσική ερμηνεία του Ιονίου Πελάγους και περιοχών της Δυτικής Ελλάδας για την αξιολόγηση του πετρελαϊκού δυναμικού τους. Επιπλέον, παρακολουθεί από τεχνική και οικονομική πλευρά συμβάσεις μίσθωσης του ελληνικού δημοσίου για έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων. Είναι πτυχιούχος του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (2015) και κάτοχος μεταπτυχιακού τίτλου στις Γεωεπιστήμες Πετρελαίου του Imperial College London (2016).

### **Σπυρίδων Σπίνος, Περιβαλλοντολόγος κι ειδικός GIS, ΕΔΕΥ ΑΕ**

Ο Σπύρος Σπίνος (M.Sc. Env) είναι Περιβαλλοντολόγος και Ειδικός GIS στην ΕΔΕΥ ΑΕ. Ασχολείται με την περιβαλλοντική διαχείριση, περιβαλλοντικές μελέτες κι επίβλεψη του περιβαλλοντικού αντίκτυπου των δραστηριοτήτων υδρογονανθράκων. Ειδικότητα του είναι η προστασία και αποκατάσταση υδροφορέων και η περιβαλλοντική προστασία στις υπεράκτιες δραστηριότητες υδρογονανθράκων. Έχει σπουδάσει Διαχείριση Περιβάλλοντος και φυσικών πόρων στην Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών και είναι μεταπτυχιακός απόφοιτος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην διαχείριση και τεχνολογία υδατικών πόρων.





## Παράρτημα – Πίνακες

Πίνακας 1. Μεγάλα έργα CCS σε λειτουργία παγκοσμίως (Global CCS Institute, 2019).

NO.	TITLE	STATUS	COUNTRY	OPERATION DATE	INDUSTRY	CAPTURE CAPACITY (Mtpa)	CAPTURE TYPE	STORAGE TYPE
1	GORGON CARBON DIOXIDE INJECTION	Operating	Australia	2019	Natural Gas Processing	3.4 - 4.0	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
2	JILIN OIL FIELD CO <sub>2</sub> -EOR	Operating	China	2018	Natural Gas Processing	0.6	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
3	ILLINOIS INDUSTRIAL CARBON CAPTURE AND STORAGE	Operating	United States of America	2017	Ethanol Production	1	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
4	PETRA NOVA CARBON CAPTURE	Operating	United States of America	2017	Power Generation	1.4	Post-combustion capture	Enhanced Oil Recovery
5	ABU DHABI CCS (PHASE 1 BEING EMIRATES STEEL INDUSTRIES)	Operating	United Arab Emirates	2016	Iron and Steel Production	0.8	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
6	QUEST	Operating	Canada	2015	Hydrogen Production for Oil Refining	1	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
7	UTHMANIYAH CO <sub>2</sub> -EOR DEMONSTRATION	Operating	Saudi Arabia	2015	Natural Gas Processing	0.8	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
8	BOUNDARY DAM CCS	Operating	Canada	2014	Power Generation	1	Post-combustion capture	Enhanced Oil Recovery
9	PETROBRAS SANTOS BASIN PRE-SALT OIL FIELD CCS	Operating	Brazil	2013	Natural Gas Processing	3	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
10	COFFEYVILLE GASIFICATION PLANT	Operating	United States of America	2013	Fertiliser Production	1	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
11	AIR PRODUCTS STEAM METHANE REFORMER	Operating	United States of America	2013	Hydrogen Production for Oil Refining	1	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
12	LOST CABIN GAS PLANT	Operating	United States of America	2013	Natural Gas Processing	0.9	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
13	CENTURY PLANT	Operating	United States of America	2010	Natural Gas Processing	8.4	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
14	SNØHVIT CO <sub>2</sub> STORAGE	Operating	Norway	2008	Natural Gas Processing	0.7	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
15	GREAT PLAINS SYNFUELS PLANT AND WEYBURN-MIDALE	Operating	United States of America	2000	Synthetic Natural Gas	3	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
16	SLEIPNER CO <sub>2</sub> STORAGE	Operating	Norway	1996	Natural Gas Processing	1	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
17	SHUTE CREEK GAS PROCESSING PLANT	Operating	United States of America	1986	Natural Gas Processing	7	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
18	ENID FERTILISER	Operating	United States of America	1982	Fertiliser Production	0.7	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
19	TERRELL NATURAL GAS PROCESSING PLANT (FORMERLY VAL VERDE NATURAL GAS PLANTS)	Operating	United States of America	1972	Natural Gas Processing	0.4 - 0.5	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery

Πίνακας 2. Μεγάλης κλίμακας έργα CCS υπό κατασκευή αλλά και σε πρώιμη ανάπτυξη (Global CCS Institute, 2019).

NO.	TITLE	STATUS	COUNTRY	OPERATION DATE	INDUSTRY	CAPTURE CAPACITY (Mtpa)	CAPTURE TYPE	STORAGE TYPE
20	ALBERTA CARBON TRUNK LINE ("ACTL") WITH NORTH WEST REDWATER PARTNERSHIP'S STURGEON REFINERY CO <sub>2</sub> STREAM	In Construction	Canada	2020	Hydrogen Production for Oil Refining	1.2 - 1.4	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
21	ALBERTA CARBON TRUNK LINE ("ACTL") WITH AGRUM CO <sub>2</sub> STREAM	In Construction	Canada	2020	Fertiliser Production	0.3 - 0.6	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
22	SINOPEC QILU PETROCHEMICAL CCS	In Construction	China	2020	Chemical Production	0.40	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
23	YANCHANG INTEGRATED CARBON CAPTURE AND STORAGE DEMONSTRATION	In Construction	China	2020 - 2021	Chemical Production	0.41	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
24	WABASH CO <sub>2</sub> SEQUESTRATION	Advanced development	United States of America	2022	Fertiliser production	1.5-1.75	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
25	PORT OF ROTTERDAM CCUS BACKBONE INITIATIVE (PORTHOS)	Advanced development	Netherlands	2023	Various	2.0 - 5.0	Various	Dedicated Geological Storage
26	NORWAY FULL CHAIN CCS	Advanced development	Norway	2023-2024	Cement production and waste-to-energy	0.80	Various	Dedicated Geological Storage
27	LAKE CHARLES METHANOL	Advanced development	United States of America	2024	Chemical production	4.20	Industrial separation	Enhanced oil recovery
28	ABU DHABI CCS PHASE 2 - NATURAL GAS PROCESSING PLANT	Advanced development	United Arab Emirates	2025	Natural gas processing	1.9 - 2.3	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
29	DRY FORK INTEGRATED COMMERCIAL CCS	Advanced development	United States of America	2025	Power generation	3.00	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage or Enhanced Oil Recovery
30	CARBONSAFE ILLINOIS – MACON COUNTY	Advanced development	United States of America	2025	Power generation and ethanol production	2.0 - 5.0	Post-combustion capture and industrial separation	Dedicated Geological Storage and Enhanced Oil Recovery
31	PROJECT TUNDRA	Advanced development	United States of America	2025 - 2026	Power generation	3.1 - 3.6	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage or Enhanced Oil Recovery
32	INTEGRATED MID-CONTINENT STACKED CARBON STORAGE HUB	Advanced development	United States of America	2025 - 2035	Ethanol production, power generation and/or refinery	1.90	Various	Dedicated Geological Storage and Enhanced Oil Recovery
33	CARBONNET	Advanced development	Australia	2020's	Under evaluation	3.00	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage
34	OXY AND WHITE ENERGY ETHANOL EOR FACILITY	Early development	United States of America	2021	Ethanol production	0.6-0.7	Industrial separation	Enhanced Oil Recovery
35	SINOPEC EASTERN CHINA CCS	Early development	China	2021	Fertiliser production	0.50	Industrial separation	Enhanced oil recovery
36	HYDROGEN 2 MAGNUM (H2M)	Early development	Netherlands	2024	Power Generation	2.00	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage

Πίνακας 2 (συν.)

NO.	TITLE	STATUS	COUNTRY	OPERATION DATE	INDUSTRY	CAPTURE CAPACITY (Mtpa)	CAPTURE TYPE	STORAGE TYPE
37	THE CLEAN GAS PROJECT	Early development	United Kingdom	2024-2025	Power generation	1,7 - 2,0	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage
38	CALEDONIA CLEAN ENERGY	Early development	United Kingdom	2025	Power generation	3,00	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage
39	OXY AND CARBON ENGINEERING DIRECT AIR CAPTURE AND EOR FACILITY	Early development	United States of America	2025	N/A	1,0	Direct Air Capture	Enhanced Oil Recovery
40	SOUTH WEST HUB	Early development	Australia	2025	Fertiliser production and power generation	2,50	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
41	HYNET NORTH WEST	Early development	United Kingdom	Mid-2020's	Hydrogen production	2,00	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
42	PROJECT ECO2S: EARLY CO <sub>2</sub> STORAGE COMPLEX IN KEMPER COUNTY	Early development	United States of America	2026	In Evaluation	3,00	In Evaluation	Dedicated Geological Storage
43	NORTHERN GAS NETWORK H21 NORTH OF ENGLAND	Early development	United Kingdom	2026 - 2028	Hydrogen production	1,5 - 2,0	Industrial separation	Dedicated Geological Storage
44	ERVIA CORK CCS	Early development	Ireland	2028	Power generation and hydrogen production	2,50	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage
45	CHINA RESOURCES POWER (HAIFENG) INTEGRATED CARBON CAPTURE AND SEQUESTRATION DEMONSTRATION	Early development	China	2020's	Power generation	1,00	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage
46	HUANENG GREENGEN IGCC PROJECT (PHASE 3)	Early development	China	2020's	Power generation	2,00	Pre-combustion capture (gasification)	Under evaluation
47	KOREA-CCS 1 & 2	Early development	South Korea	2020's	Power generation	1,00	Post-combustion capture	Dedicated Geological Storage
48	SHENHUA NINGXIA CTL	Early development	China	2020's	Coal-to-liquids (CTL)	2,00	Industrial separation	Under evaluation
49	SINOPEC SHENGLI POWER PLANT CCS	Early development	China	2020's	Power generation	1,00	Post-combustion capture	Enhanced oil recovery
50	NET ZERO TEESIDE	Early development	United Kingdom	2020's	Various	0,8 - 1,0	Various	Dedicated Geological Storage
51	ACORN SCALABLE CCS DEVELOPMENT	Early development	United Kingdom	End-2020's	Various	3,0 - 4,0	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage

Πίνακας 3. Πρότυπα που αφορούν διατάξεις σχετικά με την επιλογή, τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μίας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CSLF, 2013).

Έτος δημοσίευσης	Φορέας	Τίτλος δημοσίευσης	Κύρια σημεία περιεχομένου	Παρατηρήσεις
October 2012	CSA <sup>3</sup> Group	CSA: Z741-12 - Geological storage of carbon dioxide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Συστήματα διαχείρισης</li> <li>- Εντοπισμός, επιλογή και χαρακτηρισμός θέσης αποθήκευσης</li> <li>- Διαχείριση κινδύνου</li> <li>- Γεωτρήσεις εισπίεσης</li> <li>- Παρακολούθηση και επαλήθευση</li> <li>- Κλείσιμο</li> </ul>	<p>Αναπτύχθηκε από την Τεχνική Επιτροπή για τη Γεωλογική Αποθήκευση CO<sub>2</sub>, η οποία αποτελεί κοινοπραξία μεταξύ Καναδά – Η.Π.Α, με την υποστήριξη του IPAC-CO<sub>2</sub><sup>4</sup> Research Inc.</p> <p>Είναι λεπτομερές και έχει κύριο πεδίο εφαρμογής τους υδροφορείς υφάλμυρου νερού και τους εξαντλημένους ταμειυτήρες υδρογονανθράκων (Walker, 2012)</p>
Under developement (Υπό εκπόνηση)	ISO <sup>5</sup>	ISO/TC 265 "Carbon dioxide capture, transportation, and geological storage"	<p>Υφιστάμενες ομάδες εργασίας (WG):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>WG 01</b> "Δέσμευση"</li> <li>- <b>WG 02</b> "Μεταφορά"</li> <li>- <b>WG 03</b> "Αποθήκευση"</li> <li>- <b>WG 04</b> "Ποσοτικοποίηση &amp; Επαλήθευση"</li> <li>- <b>WG 05</b> "Οριζόντια θέματα"</li> <li>- <b>WG 06</b> "Θέματα EOR"</li> </ul>	<p>Έναρξη εργασιών: 2011 Αναμενόμενη διάρκεια: 5 έτη Αριθμός χωρών που συμμετέχουν: 18 Αριθμός χωρών που παρατηρούν: 9</p>

<sup>3</sup> CSA: Canadian Standards Association (CSA 2011)

<sup>4</sup> IPAC-CO<sub>2</sub>: International Performance Assessment Centre for Geologic Storage of Carbon Dioxide

<sup>5</sup> ISO: International Organization for Standardization

Πίνακας 4. Εγχειρίδια Βέλτιστων Πρακτικών και Συνιστώμενων Πρακτικών σχετικά με την επιλογή, τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CSLF 2013).

Έτος δημοσίευσης	Φορέας	Τίτλος δημοσίευσης	Κύρια σημεία περιεχομένου	Παρατηρήσεις
April 2004	CO2NET2	CO2NET2 Work Package 7: Best Practice Review	Εισαγωγικό εγχειρίδιο που καλύπτει το σύνολο ενός έργου CCS, από την επιλογή θέσης αποθήκευσης μέχρι το κλείσιμό της	Η χρησιμότητά του είναι περιορισμένη γιατί έχει υπερκεραστεί από περισσότερο εμπειριστατωμένες και λεπτομερείς εκδόσεις
September 2004	LBNL <sup>6</sup> (GEOSEQ Project Team)	GEOSEQ: Geologic carbon dioxide sequestration: Site evaluation to implementation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Μη τεχνική συζήτηση σχετικά με τον υπολογισμό της αποθηκευτικής χωρητικότητας</li> <li>– Ενότητα αφιερωμένη στην επιλογή EOR</li> <li>– Χαρακτηρισμός σχηματισμού με αλμυρό νερό για αποθήκευση CO<sub>2</sub></li> <li>– Παρακολούθηση</li> <li>– Επαλήθευση</li> <li>– Διάθεση ρευμάτων CO<sub>2</sub> που περιέχουν προσμείξεις</li> <li>– Μοντελοποίηση &amp; προσομοίωση</li> </ul>	Βασικό εγχειρίδιο που καλύπτει πολλά θέματα ενός έργου CCS
2008	BGS <sup>7</sup>	CO2STORE: Best practice for the storage of CO <sub>2</sub> in saline aquifers	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Εντοπισμός ιδανικού ταμιευτήρα</li> <li>– Ιδιότητες αδιαπέρατου καλύμματος</li> <li>– Υπολογισμός χωρητικότητας</li> <li>– Προγνωστική μοντελοποίηση ροής</li> <li>– Γεωχημικός &amp; γεωμηχανικός χαρακτηρισμός μιας θέσης αποθήκευσης</li> <li>– Λειτουργία μιας θέσης αποθήκευσης</li> <li>– Υπολογισμός κόστους</li> <li>– Ανάγκες μεταφοράς</li> </ul>	Τεχνικό εγχειρίδιο, στο οποίο οι πληροφορίες παρουσιάζονται μέσα από μελέτες περίπτωσης πέντε (5) διακριτών έργων, μεταξύ των οποίων το Sleipner στη Νορβηγία και το Schwarze Pumpe στη Γερμανία

<sup>6</sup> LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory

<sup>7</sup> BGS: British Geological Survey

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Κατάρτιση σχεδίου παρακολούθησης</li> <li>- Προσαρμογή ιστορικών δεδομένων (history matching) βάσει των δεδομένων παρακολούθησης</li> <li>- Διαδικασίες ασφάλειας &amp; αποτίμησης κινδύνου</li> </ul>	
January 2009	CCP <sup>8</sup>	CCP: A technical basis for carbon dioxide storage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Γενικό επιστημονικό υπόβαθρο για επιλογή θέσης αποθήκευσης</li> <li>- Λειτουργία</li> <li>- Κλείσιμο</li> <li>- Παρακολούθηση</li> <li>- Λεπτομερής οδηγός για την όρυξη &amp; ολοκλήρωση γεωτρήσεων. Περιέχει αναφορές σε υλικά και κρίσιμες παραμέτρους επιλογής που δεν περιέχουν άλλα εγχειρίδια</li> </ul>	<p>Τεχνικό εγχειρίδιο που βασίζεται στην εμπειρία των συμμετεχόντων εταιριών σχετικά με την εισπίεση CO<sub>2</sub>.</p> <p>Χρησιμοποιεί εκτεταμένο αριθμό μελετών περίπτωσης. Αποτελεί οδηγό για την ανάπτυξη ενός έργου CCS</p>
November 2010	NETL <sup>9</sup>	NETL SS: Best practices for: Site screening, site selection, and initial characterization for storage of CO <sub>2</sub> in deep geologic formations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Εντοπισμός και ανάπτυξη όλων των δυνητικών θέσεων εισπίεσης &amp; απαιτήσεις για κάθε τύπο αποθήκευσης (υδροφορέας υφάλμυρου νερού / εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων / άνθρακας)</li> <li>- Ανάλυση δεδομένων</li> <li>- Στρατηγικές εισπίεσης</li> <li>- Ανάπτυξη μοντέλων και βελτίωσή τους</li> <li>- Υπολογισμός χωρητικότητας &amp; συνολική ανάλυση καταλληλότητας</li> <li>- Κοινωνικές &amp; περιβαλλοντικές εκτιμήσεις κατά την</li> </ul>	<p>Περιεκτικό τεχνικό εγχειρίδιο για τα θέματα επιλογής και χαρακτηρισμού μιας θέσης αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Προσεγγίζει τα θέματα με εισαγωγικό τρόπο που καλύπτει τη βασική επιστημονική κατανόηση και μόνο περιστασιακά παραθέτει παραδείγματα εφαρμογής</p>

<sup>8</sup> CCP: CO<sub>2</sub> Capture Project

<sup>9</sup> NETL: National Energy Technology Laboratory

			ανάπτυξη & λειτουργία μιας θέσης αποθήκευσης	
March 2011	NETL	NETL RA: Risk analysis and simulation for geologic storage of CO <sub>2</sub>	<p>Περιλαμβάνει στοιχεία για την ακριβή προσομοίωση των κινδύνων:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Βασικές γνώσεις</li> <li>– Εντοπισμός πηγών κινδύνου</li> <li>– Αξιολόγηση (περιλαμβανομένης της ποσοτικοποίησης) &amp; χαρακτηρισμός</li> <li>– Περιορισμός κινδύνου</li> <li>– Προσομοίωση πολλών διαφορετικών διεργασιών (θερμικές, χημικές, βιολογικές κ.λπ.)</li> </ul>	<p>Μια έκδοση γενικού περιεχομένου που παρέχει κατανόηση του τι είναι κίνδυνος και πως προσομοιώνεται και γιατί αυτό αποτελεί ουσιώδη πλευρά ενός έργου CCS. Αξιοποιεί τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από διάφορα έργα που υλοποιήθηκαν από την ομάδα Regional Carbon Sequestration Partnership (RCSP) στις Η.Π.Α.</p>
April 2012	DNV <sup>10</sup>	DNV RP-J203: Geological Storage of Carbon Dioxide	<p>Στοχεύει κυρίως στο να παρέχει μια συστηματική προσέγγιση στην επιλογή, τον χαρακτηρισμό και τη διαχείριση θέσεων γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub>. Περιλαμβάνει:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Επιλογή και αποτίμηση θέσης αποθήκευσης</li> <li>– Αδειοδότηση</li> <li>– Πλαίσιο &amp; απαιτήσεις</li> <li>– Άδειες αποθήκευσης &amp; κλεισίματος</li> <li>– Διαχείριση, αποτίμηση &amp; αντιμετώπιση κινδύνου</li> <li>– Προδιαγραφές γεωτρήσεων</li> </ul>	<p>Λεπτομερές εγχειρίδιο. Αποτελεί τμήμα μιας σειράς Συνιστώμενων Πρακτικών της DNV. Περιλαμβάνει και συνδυάζει δεδομένα από τις κατευθυντήριες οδηγίες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ CO2QUALSTORE &amp;</li> <li>➤ CO2WELLS,</li> </ul> <p>οι οποίες αποτελούν παραδοτέα έργων που εκτελέστηκαν σε συνεργασία με τη βιομηχανία</p>

<sup>10</sup> DNV: Det Norske Veritas

June 2012	DNV (Det Norske Veritas)	DNV DSS-402: Qualification Management for Geological Storage of CO <sub>2</sub>	-Αρχές επιλογής, χαρακτηρισμού & διαχείρισης θέσεων γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> -Επισκόπηση παρεχόμενων υπηρεσιών -Παραδείγματα εγγράφων πιστοποίησης για τη γεωλογική αποθήκευση CO <sub>2</sub>	Δεν αποτελεί Εγχειρίδιο Βέλτιστων Πρακτικών, αλλά προδιαγράφει τις υπηρεσίες που παρέχονται από τον DNV σχετικά με το θέμα
October 2012	IEAGHG / PTRC <sup>11</sup>	Best Practices for Validating CO <sub>2</sub> Geological Storage (Hitchon, B. (ed), 2012, Geoscience Publishing)	-Χαρακτηρισμός -Προβλέψεις απόδοσης της αποθήκευσης -Γεωχημική παρακολούθηση -Γεωφυσική παρακολούθηση -Προσαρμογή ιστορικών δεδομένων (history matching) & επικύρωση των επιδόσεων -Ακεραιότητα γεωτρήσεων -Εκτίμηση κινδύνου -Επικοινωνία με το κοινό	Περιέχει σύνοψη της γνώσης που αποκτήθηκε από το έργο CCS IEAGHG Weyburn-Midale Monitoring and Storage project στον Καναδά για περισσότερα από 12 χρόνια. Παρέχει τεχνική καθοδήγηση σε μελλοντικούς διαχειριστές, νομοθέτες και κοινωνικούς φορείς

---

<sup>11</sup> IEAGHG/PTRC: International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme/Petroleum Technology Research Center



Πίνακας 5. Βέλτιστες πρακτικές που αφορούν τον υπολογισμό της αποθηκευτικής χωρητικότητας μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO<sub>2</sub> (CSLF, 2013).

Έτος δημοσίευσης	Φορέας	Τίτλος δημοσίευσης	Κύρια σημεία περιεχομένου & Παρατηρήσεις
March 2003	Stefan Bachu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Screening and Ranking of sedimentary basins for sequestration of CO<sub>2</sub></li> <li>– Screening and Ranking of hydrocarbon reservoirs for CO<sub>2</sub> storage</li> </ul>	Ένα από τα πρώτα άρθρα σχετικά με την επιλογή θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> . Το θέμα που εξετάζει είναι πολύ ευρύ και έχει εφαρμογή σε επίπεδο περιφερειακής αξιολόγησης. Πρόκειται για συστηματική προσπάθεια διαμόρφωσης ενός οδηγού κατανόησης της επιλογής θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub>
March 2008	CO2CRC	Storage Capacity Estimation, Site Selection and Characterization for CO <sub>2</sub> Storage Projects	Μια πλήρης, αν και γενικού χαρακτήρα, αναφορά σχετικά με το τι είναι απαραίτητο για την επιλογή & τον χαρακτηρισμό μιας θέσης αποθήκευσης και την εκτίμηση της χωρητικότητάς της. Δεν κατατάσσεται στα Εγχειρίδια Βέλτιστων Πρακτικών διότι, αν και παρέχει εμπειριστατωμένα και χρήσιμα δεδομένα για την επιλογή θέσης, τα παρουσιάζει, ωστόσο, ως παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη και όχι ως πρακτικές που πρέπει να ακολουθούνται
2005, 2007 & 2008	CSLF <sup>12</sup> Task Force for Review and Identification of Standards for CO <sub>2</sub> Storage Capacity	Measurement, Phase I, II and III	Περιλαμβάνει βέλτιστες πρακτικές σχετικά υπολογισμό της αποθηκευτικής χωρητικότητας μιας θέσης γεωλογικής αποθήκευσης CO <sub>2</sub> (Παλαιά έκδοση)

<sup>12</sup> CSLF: Carbon Sequestration Leadership Forum

2008	NETL	Methodology for Development of Geologic Storage Estimates for Carbon Dioxide	Περιλαμβάνεται ως πρόσθετη αναφορά, αλλά έχει περιορισμένο πεδίο εφαρμογής και έχει αντικατασταθεί από το Εγχειρίδιο Βέλτιστων Πρακτικών της NETL που αφορά στην επιλογή θέσης (NETL SS), το οποίο περιέχει ένα τεχνικό τμήμα σχετικά με τη χωρητικότητα αποθήκευσης
2008	Netherlands Oil and Gas Exploration & Production Association	Potential for CO <sub>2</sub> storage in depleted gas fields on the Netherlands Continental Shelf	Περιλαμβάνει δύο μέρη: <b>Φάση 1:</b> Τεχνική αξιολόγηση <b>Φάση 2:</b> Κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης
2010	Government of China	Chinese methodologies of storage capacity estimation. Near-term mega-scale CO <sub>2</sub> capture and storage demonstration opportunities in China (Zheng et. al., 2010)	Είναι εθνικού χαρακτήρα και δεν αποτελεί Εγχειρίδιο Βέλτιστων Πρακτικών
2011	Government of Japan	Japanese methodology of storage capacity estimation. Saline-aquifer CO <sub>2</sub> sequestration in Japan- methodology of storage capacity assessment. (Ogawa et al., 2011)	Είναι Εθνικού χαρακτήρα και αφορά την αξιολόγηση θαλάσσιων αλατούχων υδροφορέων για την αποθήκευση CO <sub>2</sub> στην Ιαπωνία
2011	United Kingdom	UK CO <sub>2</sub> Storage Appraisal Project (ETI 2011) (S. Holloway (IEA Seminar 2011)	Αξιολόγηση σε εθνικό επίπεδο των θαλάσσιων αλατούχων υδροφορέων για την αποθήκευση CO <sub>2</sub> στο Ηνωμένο Βασίλειο Είναι εθνικού χαρακτήρα και δεν αποτελεί Εγχειρίδιο Βέλτιστων Πρακτικών

2011	Germany	GIS-basierte Kartenanwendung Informationssystem "Speicher- Kataster Deutschland"	Ειδικός κατάλογος βάσει χαρτών που περιέχει πληροφορίες για όλους τους σχετικούς γεωλογικούς σηματισμούς για αποθήκευση CO <sub>2</sub>
------	---------	--	--







**HHRM S.A.**

Dimitriou Margari 18, 11525 | Athens -Greece

T. (+30) 210-6717591

**[www.greekhydrocarbons.gr](http://www.greekhydrocarbons.gr)**

**[contact@greekhydrocarbons.gr](mailto:contact@greekhydrocarbons.gr)**



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ  
ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ



HELLENIC HYDROCARBON  
RESOURCES MANAGEMENT