

Αποθήκευση CO₂ στον Πρίνο

Ενημέρωση Δημοτικού Συμβουλίου Καβάλας

Dr.-Ing. Λάζαρος Κ. Βασιλειάδης

Καβάλα, 07 Ιουλίου 2025

Βρισκόμαστε στον αστερισμό της πράσινης υστερίας.
Ακόμη και η αποθήκευση του CO₂ "βαφτίζεται" πράσινη ανάπτυξη.

Το 2023 η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα: κατά 57% από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (αέρα - ήλιο) και από υδροηλεκτρικές μονάδες, ξεπερνώντας τις 25 TWh

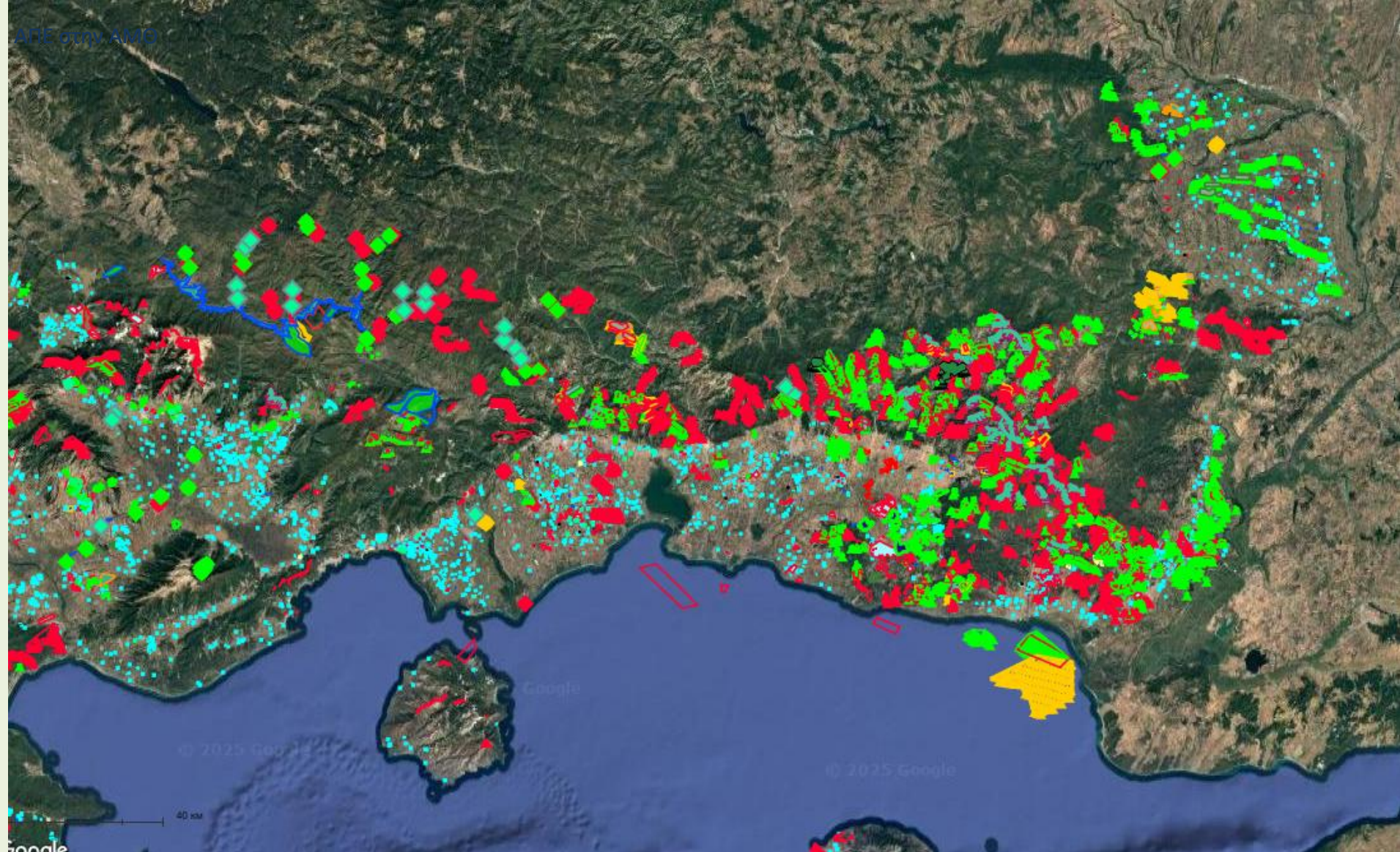
**Εξάγουμε καθαρή (πράσινη) ενέργεια
και θα;; εισάγουμε CO₂**

Οικονομικά παιχνίδια στο χρηματιστήριο ρύπων

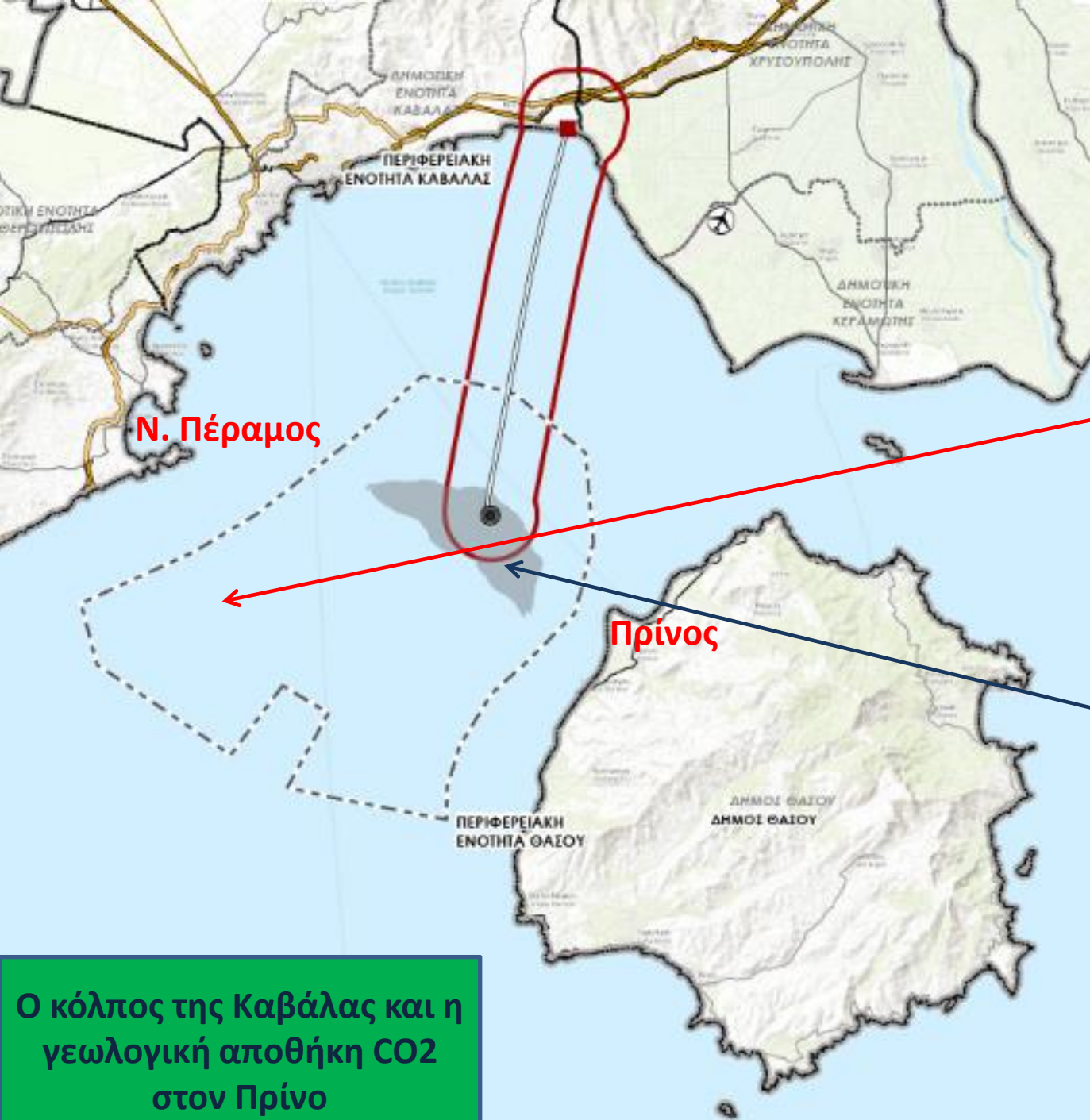
Καίμε δάση, καταστρέφουμε ελαιώνες γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας και στήνουμε αιολικά και φωτοβολταϊκά για να πουλήσουμε **καθαρή ενέργεια** στους ξένους.

Ταυτόχρονα το CO₂ που παράγεται από το πετρέλαιο και το κάρβουνο εκτός Ελλάδος θα το μεταφέρουμε στα ελληνικά «νεκροταφεία». Θα μείνει εκεί πάνω από 1000 χρόνια και οι μελλοντικές γενιές θα προσεύχονται κάθε πρωί μην αστοχήσει ο ταμιευτήρας.

Για κάθε τόνο CO₂ που παράγεται παγκοσμίως πληρώνονται **ρήτρες** στο χρηματιστήριο, σήμερα γύρω στα 70 € και χρειάζεται κανείς να αγοράσει αντίστοιχα πιστοποιητικά. Τι κάνει για να γλιτώσει; **Αγοράζει καθαρή ενέργεια** από την Ελλάδα για τα επόμενα 20 με 25 χρόνια και **την συμψηφίζει λογιστικά** με **ακάθαρτη ενέργεια** που παράγεται παγκοσμίως. Έτσι καρπώνεται επιδοτήσεις και αντί να πληρώσει για την ακάθαρτη ενέργεια, με τη βοήθεια της Ελλάδος βάζει και χρήματα στην τσέπη.



ΑΠΕ στην ΑΜ-Θ (χάρτης της ΡΑΕ) ή πράσινη υστερία;
Η ίδια εικόνα είναι σε όλη την Ελλάδα. Η χώρα τείνει να γίνει η μπαταρία της Ευρώπης.



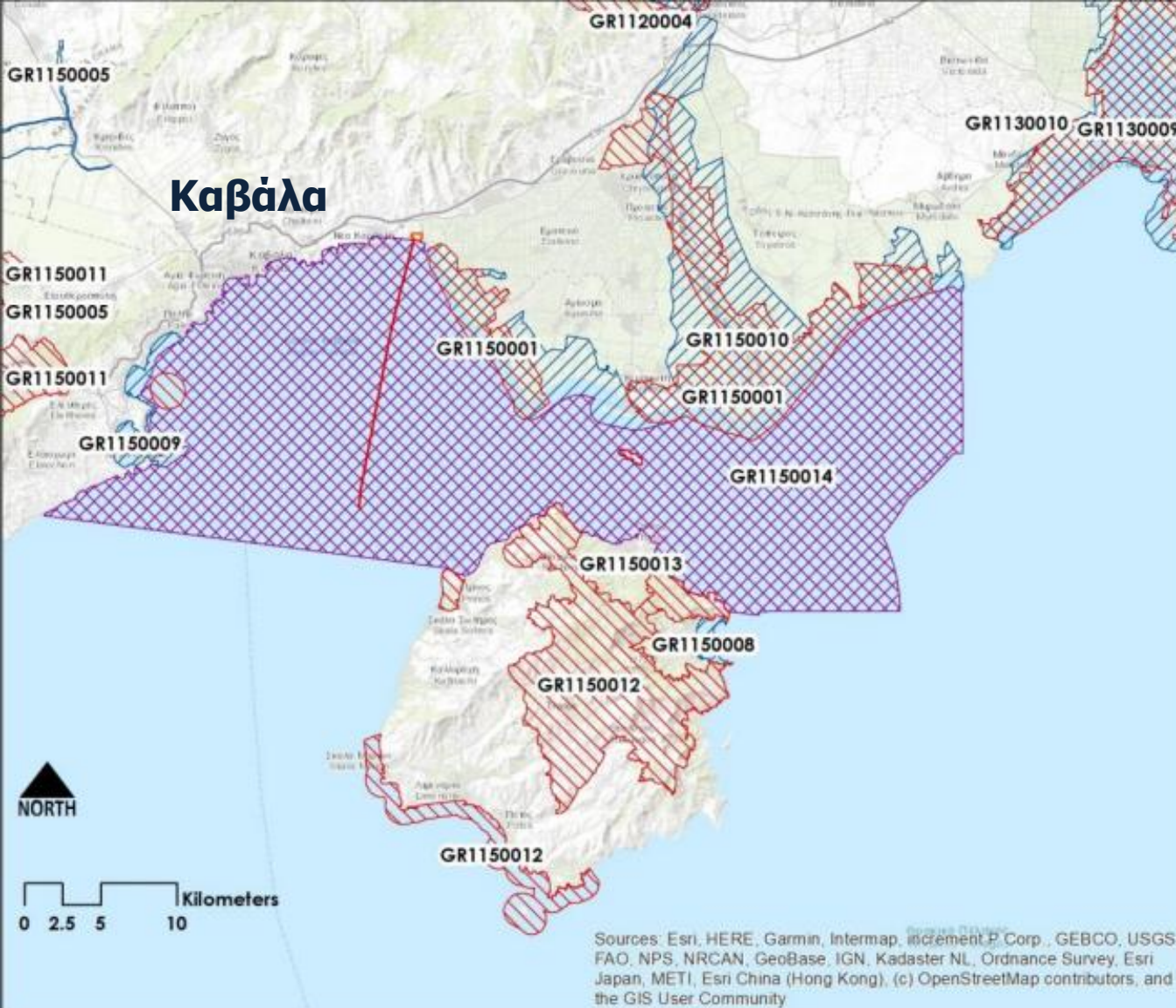
Συγκρότημα αποθήκευσης CO₂
257 km², περίμ. 73 km

Τόπος αποθήκευσης CO₂
20 km², περίμ. 27 km

Ο κόλπος της Καβάλας και η γεωλογική αποθήκη CO₂ στον Πρίνο

Κίνδυνοι από το έργο Αποθήκευσης CO₂ στον Πρίνο

- 1. Άμεση αλληλεπίδραση με την χερσαία βιομηχανική μονάδα των πετρελαίων (Seveso) στη Νέα Καρβάλη**
- 2. Αστοχία αγωγού ή αγωγών μεταφοράς**
- 3. Αστοχία της γεωλογικής αποθήκης στον Πρίνο (σεισμός ή επαγόμενος σεισμός) (καταστροφικό σενάριο)**
- 4. Αστοχία γεωτρήσεων**
- 5. Επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα (Natura 2000)**
- 6. Επιπτώσεις στον τουρισμό της Θάσου και της Καβάλας**



Ζώνες Ειδικής Προστασίας και Ειδικές Ζώνες Διατήρησης

GR 1150014

Η μοβ σκιαγραφημένη περιοχή από τις ακτές της Καβάλας μέχρι τη Θάσο και πέρα από τις εξέδρες του Πρίνου

Προστατευόμενες περιοχές δικτύου Natura 2000 εντός περιοχής μελέτης

Υπόμνημα

-  Προτεινόμενη όδευση υποθαλάσσιου αγωγού CO2
-  Υφιστάμενες χερσαίες εγκαταστάσεις ΣΙΓΜΑ
-  Περιοχή Οδηγίας για τους Οικοτόπους (ΕΖΔ, ΤΚΣ)
-  Περιοχή Οδηγίας για τα Πουλιά (ΖΕΠ)
-  Περιοχή Οδηγίας για τους Οικοτόπους και τα Πουλιά (ΕΖΔ, ΤΚΣ & ΖΕΠ)

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P. Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Σελ. 10-316: Μνημειώδης διατύπωση από την ΜΠΕ του Έργου στον Πρίνο που αφορά τις επιπτώσεις στην ιχθυοπανίδα εντός της προστατευόμενης περιοχής Natura (κωδικός GR 1150014)

«η αλιευτική βιομηχανία μπορεί γενικά να μετεγκατασταθεί σε άλλους χώρους, χωρίς επιβλαβείς επιπτώσεις, εφόσον η ιχθυοπανίδα καταφέρει να απομακρυνθεί από το πεδίο που έχει επηρεασθεί. Ωστόσο το πλησιέστερο ιχθυοτροφείο ενδέχεται να υποστεί βλάβη».

Η μακροχρόνια (στο διηνεκές) γεωλογική αποθήκευση του CO₂ συνδέεται με αβεβαιότητες και υψηλούς κινδύνους:

Δυο αποκαλυπτικές διατυπώσεις της ΜΠΕ

1. (σελ. 10-32):

«Λόγω απουσίας αντίστοιχης τεχνογνωσίας πάνω σε παρόμοια Έργα αξιοποιήθηκαν δεδομένα/ πληροφορίες από διάφορους **διαδικτυακούς τόπους σε ότι αφορά τα κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα αντίστοιχων έργων, καθώς και η εμπειρία της ομάδας μελέτης από προηγούμενες προσεγγίσεις Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων». **(όχι φυσικά για CO₂)****

2. (σελ. 14.2)

«Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, αν και η **αξιολόγηση κινδύνου** παράγει αριθμητικές τιμές, αυτές βασίζονται εξ ολοκλήρου στην κρίση των ειδικών στο εν λόγω αντικείμενο, καθώς **υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα για τη μακροπρόθεσμη γεωλογική αποθήκευση CO₂**. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη **μόνο ως ενδεικτικές τιμές** για τη σύγκριση σχετικών κινδύνων παρά για την εξαγωγή απόλυτων Τιμών»

Τεύχος ΕΔΕΥ (Ελληνική Διαχειριστική Εταιρία
Υδρογονανθράκων), Ιούνιος 2020, με τίτλο: **Υπόγεια Γεωλογική
Αποθήκευση CO₂ και Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα (σελ. 21)**



« Όσον αφορά τη **σταδιακή διαρροή CO₂**, **αν και πιο πιθανή**, αντιμετωπίζεται με σωστή προετοιμασία και επιλογή ταμιευτήρα. 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** ».

ΕΕΔΥ (2020): σελ. 20

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος είναι αυτός της διαρροής στους χώρους αποθήκευσης. Ενώ υπάρχει κάποια **εμπειρία** κατά τα τελευταία **10-25 χρόνια**, **δεν συμβαίνει το ίδιο με τη μακροχρόνια αποθήκευση.**

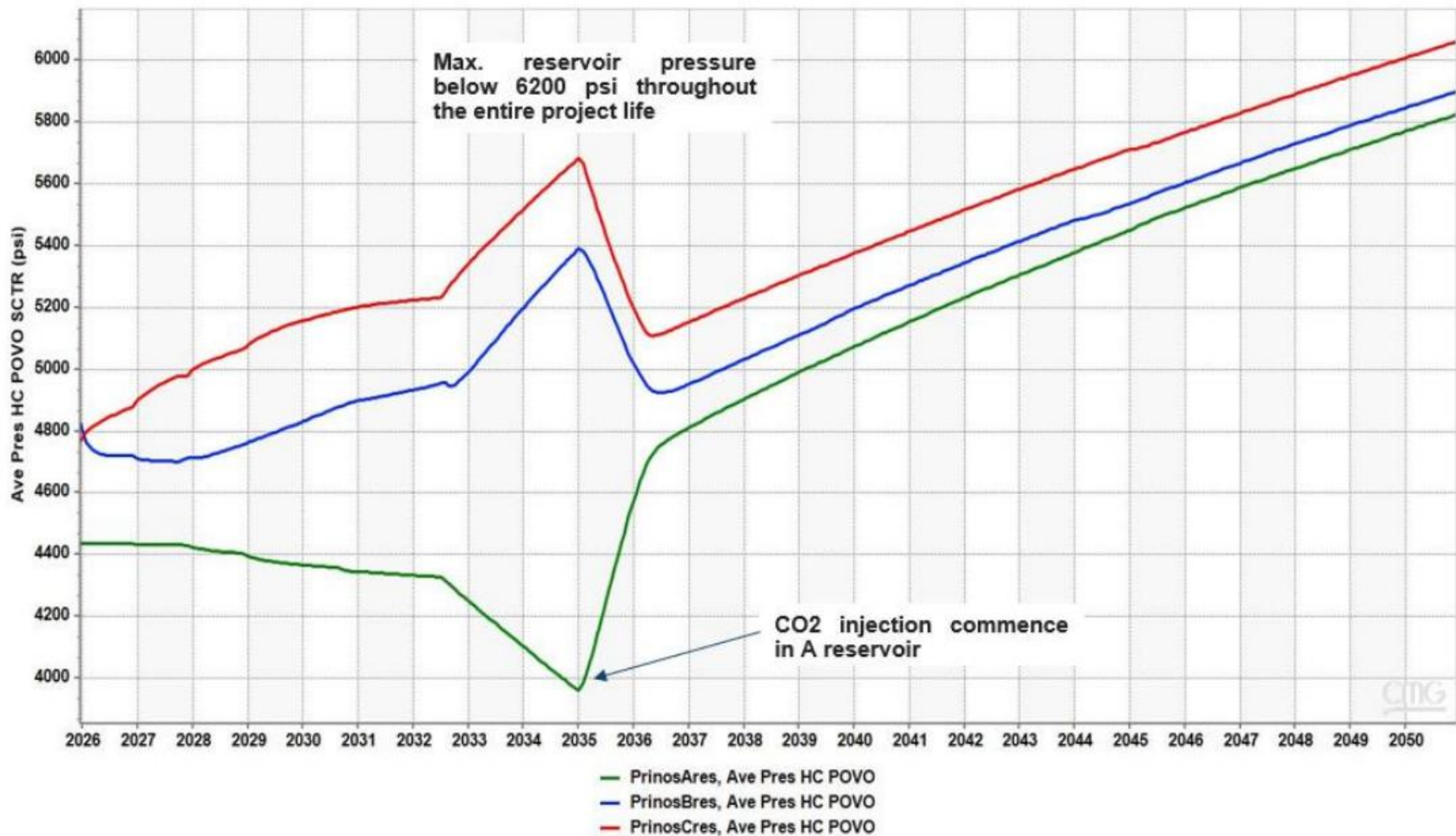
Εκφράστηκαν ανησυχίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση CO₂ και αυτό έχει να κάνει με δύο ενδεχόμενα διαρροής: • **απότομη διαρροή μέσω βλάβης του φρεατίου έγχυσης ή διαρροής ενός εγκαταλελειμμένου πηγαδιού και** • **σταδιακή διαρροή, μέσω μη εντοπισμένων βλαβών, ρηγματών ή ρωγμών σε πηγάδια** • 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 CO₂ από μάγμα εξήλθε από την λίμνη Nyos προκαλώντας ασφυξία σε ζωντανά και ανθρώπους σε ακτίνα 25 χιλιομέτρων (Madison, Government of Australia).

Φαινόμενο Blow-out

Μπορεί να συμβεί, μεγάλες ποσότητες αερίου CO₂ να απελευθερωθούν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στον γεωλογικό σχηματισμό αποθήκευσης θα υπάρχει δυναμικό πολλών εκατομμυρίων τόνων CO₂ . Μια **ξαφνική και ραγδαία διαφυγή** θα ήταν δυνατή είτε από έναν **ισχυρό φυσικό σεισμό** ή **από επαγόμενο σεισμό**.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η εξέλιξη των πιέσεων στους τρεις ταμιευτήρες μέχρι το 2051

Prinos Average Pressure Per Reservoir



Μέση πίεση στους ταμιευτήρες A (πράσινο), B (μπλε) και C (κόκκινο) (μέχρι το 2050)

Η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι περίπου 140 °C και η πίεση 482 bar, επομένως το CO₂ βρίσκεται σε υπερκρίσιμη φάση (το κρίσιμο σημείο για το CO₂ είναι 31,1 °C και 73,9 bar).

Δεδομένου ότι το CO_2 είναι βαρύτερο από τον αέρα (πυκνότητα $1,98 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 atm)), συγκεντρώνεται στο έδαφος και ρέει ως αόρατο και άοσμο ρεύμα αερίου. Μια περιεκτικότητα στον αέρα άνω του 8 έως 10%, μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια των αισθήσεων και **θάνατο** στους ανθρώπους **μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα**.

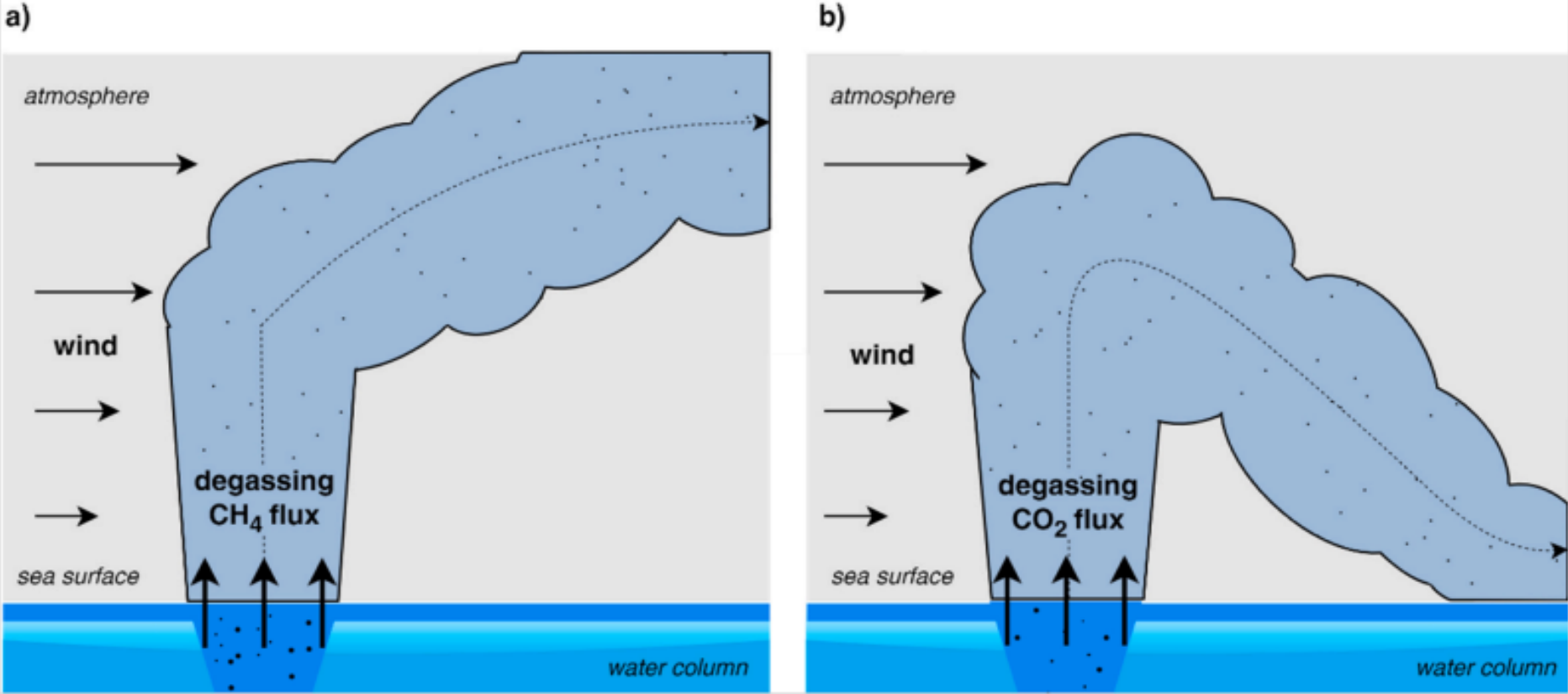


Fig. 4. Schematization of the dispersion of the gas emerging from the water column: a) natural gas plume in air; b) CO_2 plume in air.

Στη λίμνη **Nyos (Καμερούν)** το 1986 μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα διέφυγαν περίπου **1,3 εκατομμύρια τόνοι CO₂**. Μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη, μεγάλες ποσότητες CO₂ που είχαν συσσωρευτεί σε υπόγεια αποθήκη (**ο θάλαμος μάγματος κάτω από τη λίμνη είναι η πηγή του διοξειδίου του άνθρακα**), απελευθερώθηκαν ξαφνικά, **σκοτώνοντας 1.700 ανθρώπους** και **χιλιάδες βοοειδή σε ακτίνα 25 χιλιομέτρων**.

Παράδειγμα:

Ένα πηγάδι CO₂ στο πεδίο Sheep Mountain, **Κολοράντο**, υπέστη έκρηξη στις **17 Μαρτίου 1982** στη μορφή **blow-out** και καθημερινά χιλιάδες τόνοι CO₂ απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα. Τέθηκε υπό έλεγχο μόλις στις 3 Απριλίου 1982.

In Kamerun

Lake Nyos – der See, der 1800 Menschen das Leben kostete





Dead cattle, pictured after the Lake Nyos disaster of 1986.

U.S. Geological Survey

Τεύχος ΕΔΕΥ συνέχεια:

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

«Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος είναι η προοπτική της μετρήσιμης μείωσης του CO₂—όσο τα ορυκτά καύσιμα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται. Αυτή η προοπτική εξαρτάται από την ποσότητα CO₂ που δεσμεύεται και την ποσότητα που χάνεται από την μεταφορά του και από την μακροχρόνια αποθήκευση CO₂»

Κίνδυνοι – Μειονεκτήματα

«Για τη δέσμευση και αποθήκευση χρειάζεται **ενέργεια**. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί πολύ περισσότερο καύσιμο για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ισχύος. Οι πρόσθετες απαιτήσεις ενέργειας κυμαίνονται από 24% έως 40%»

«Σύμφωνα με τον IPCC (Διακυβερνητική Επιτροπή για την κλιματική αλλαγή), ενώ το CO₂ 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».

Αέριες εκπομπές εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας με CCS (kg/MWh)

	Φυσικό Αέριο	Λιγνίτης	Integrated gasification combined cycle
CO ₂	0,43 (-89%)	1,07 (-87%)	0,97 (-88%)
NO _x	0,11 (+22%)	0,77 (+31%)	0,1 (+11%)
SO _x	-	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):

(6) Μονάδες CCS στην Ευρώπη. Εκτός από την Iceland που είναι μονάδα DAC, οι υπόλοιπες αφαιρούν το CO₂ από το φυσικό αέριο και το αποθηκεύουν στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Sleipner 1996 ΦΑ
Snohvit 2008 LNG
Ravenna 2024 ΦΑ
Iceland (DAC) 2024
Hungary LNG 1992
Croatia 2014 ΦΑ

- Early development
- Advanced development
- In construction
- Operational

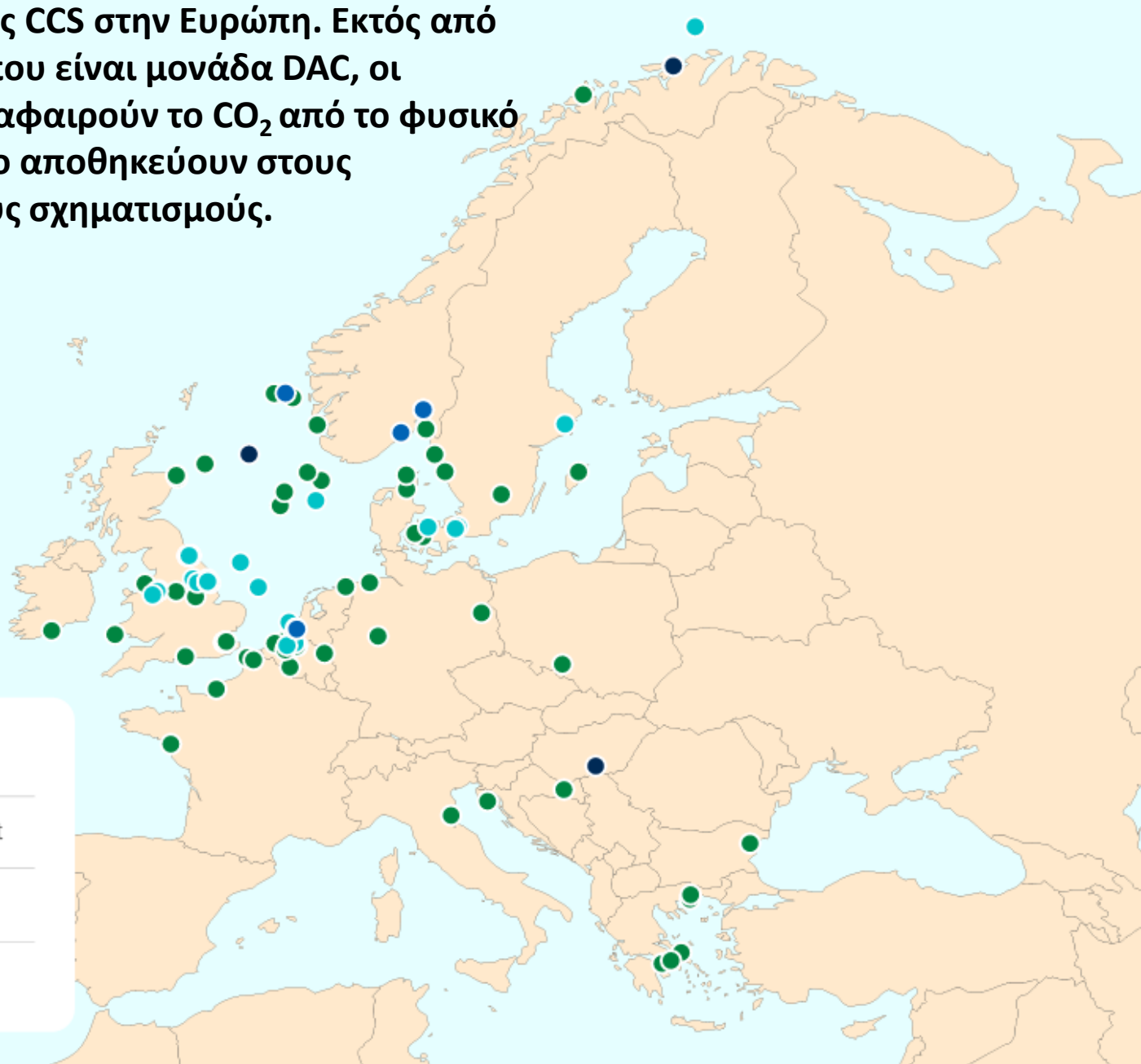


Figure 4: Map of CCS projects in various stages of development as of October 2023.²⁶



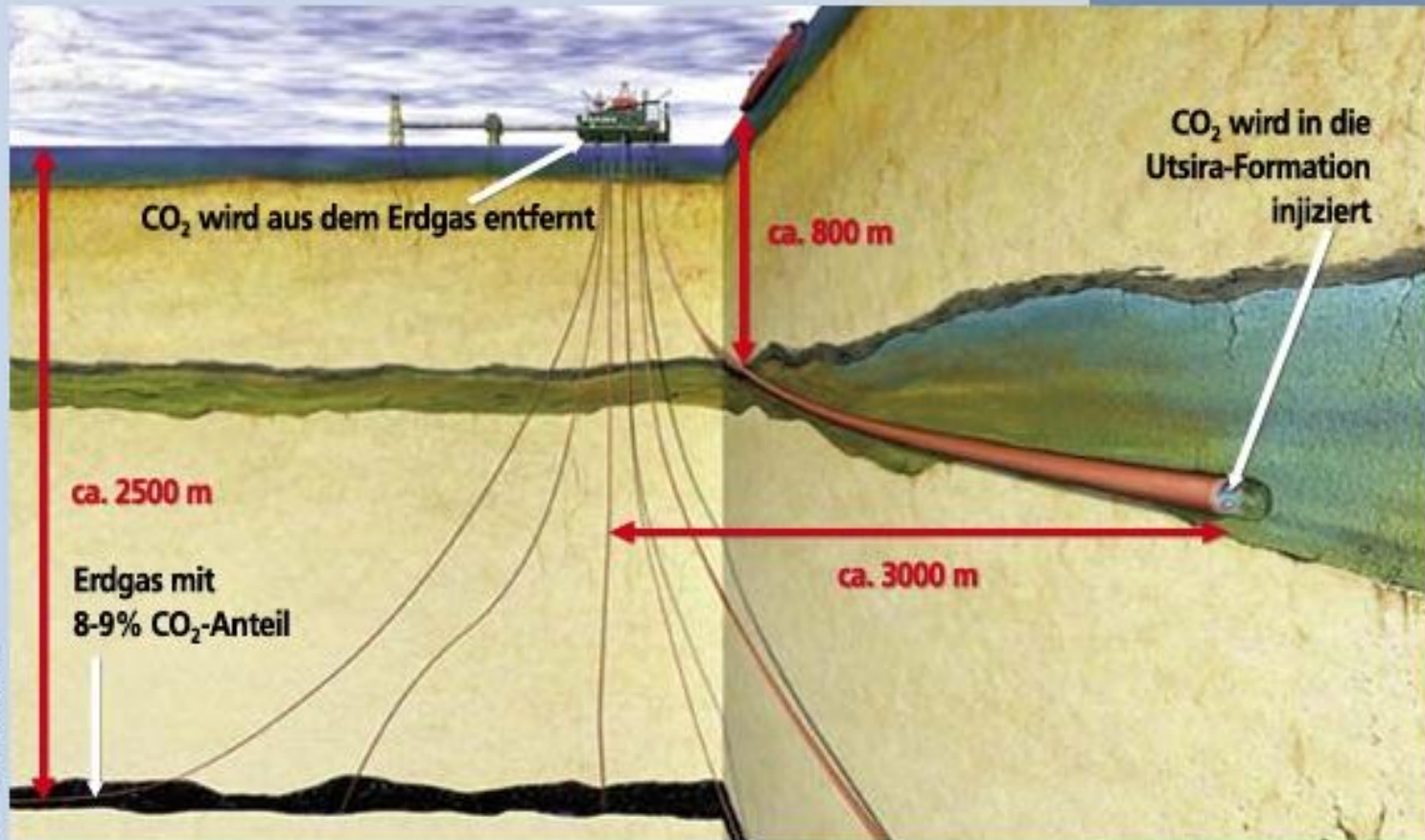
Βόρεια Θάλασσα, **250 χιλιόμετρα (160 μίλια)** δυτικά του Στάβανγκερ της Νορβηγίας.

Το κοίτασμα φυσικού αερίου περιέχει έως και **9% CO₂**.

Από το 1996 πραγματοποιεί απομάκρυνση CO₂ από το παραγόμενο αέριο και αποθηκεύει περισσότερους από **19 εκατομμύρια τόνους CO₂** στον σχηματισμό Utsira (μέχρι το τέλος του 2020).

CCS Sleipner (Νορβηγία)

Τομή της γεωλογικής αποθήκης Sleipner στη Νορβηγία. Το φυσικό αέριο το οποίο ανακτάται από ένα βάθος 2500 m, περιέχει μεγάλη ποσότητα CO₂. Το CO₂ πρέπει να απομακρυνθεί προκειμένου το φυσικό αέριο να πληροί τα στάνταρτ του εμπορίου. Αντί το CO₂ να αφηθεί ελεύθερο στην ατμόσφαιρα, δεσμεύεται και εγχέεται σε ένα βάθος περίπου 1000 m στον **αλατούχο υδροφόρα Utsira**.

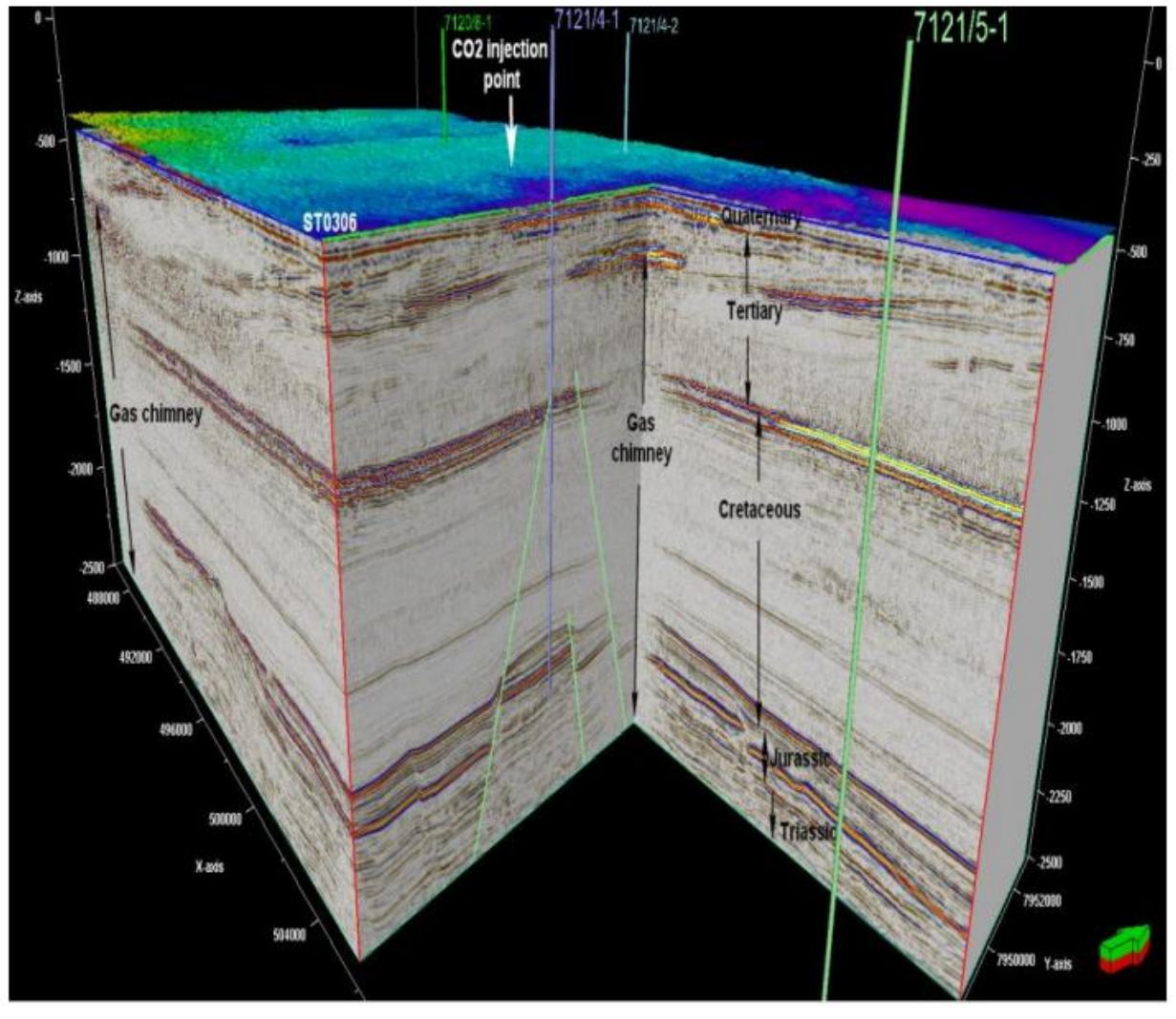


Γεωλογική αποθήκευση CO₂ στο Sleipner της Νορβηγίας



Το Snøhvit είναι το κοιτάσματος φυσικού αερίου στη Νορβηγική Θάλασσα, που βρίσκεται **140 χιλιόμετρα (87 μίλια)** βορειοδυτικά του Hammerfes. (2008)

Το φυσικό αέριο περιέχει 5% έως 8% διοξείδιο του άνθρακα. Το CO₂ διαχωρίζεται στο εργοστάσιο LNG Hammerfest, μεταφέρεται πίσω στο κοιτάσμα φυσικού αερίου και εγχέεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς. Ικανότητα αποθήκευσης **0,7 εκατομμύρια τόνους CO₂ ετησίως**.

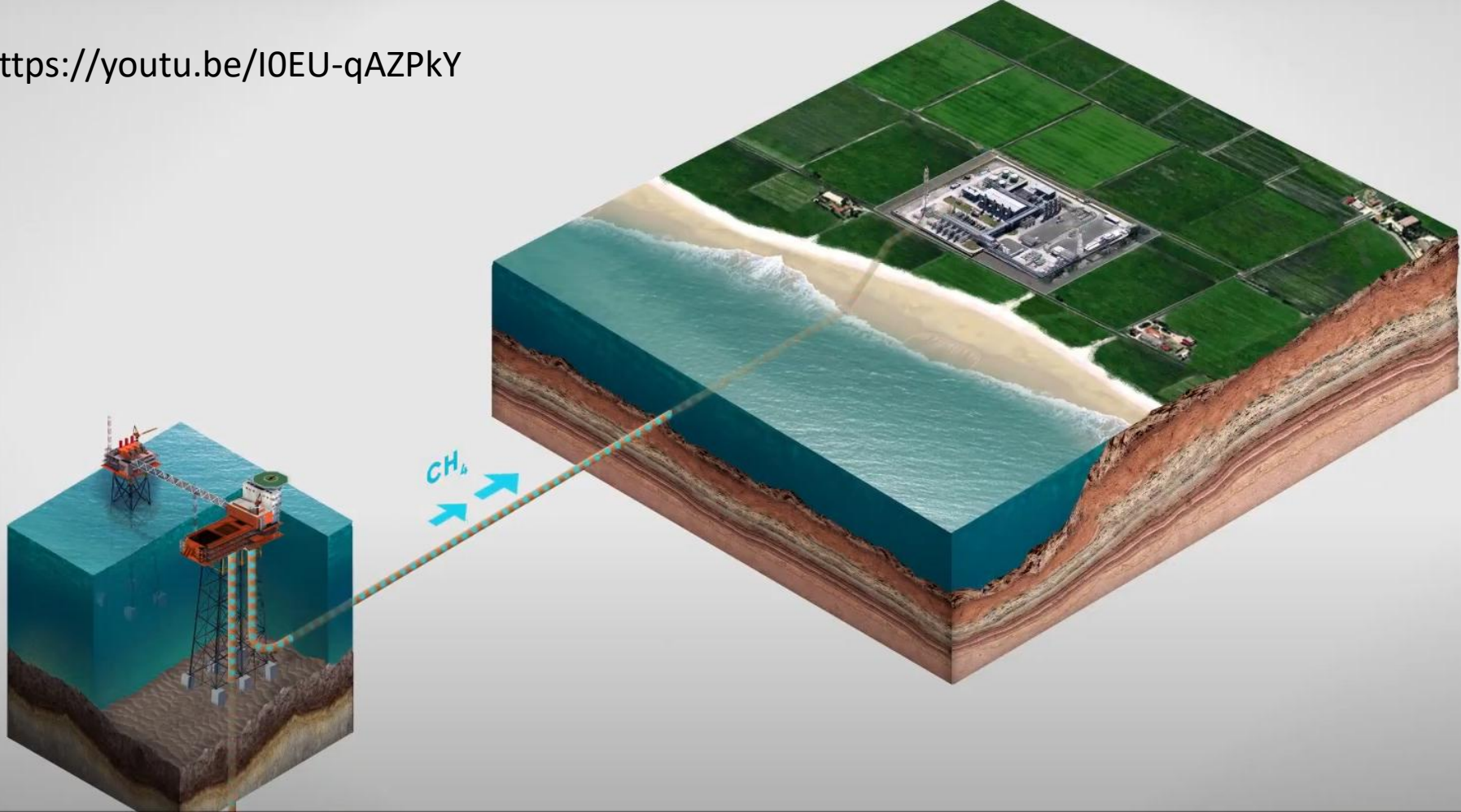


Σελ. 35 τεύχους της **ΕΔΕΥ** /2020 (Υπόγεια Γεωλογική Αποθήκευση CO2 και Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα)

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

Snøhvit: «Στο παρελθόν είχε συμβεί διαφυγή CO2. Διαπιστώνεται από γεωφυσικές ερμηνείες των σεισμικών ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας όπου παρατηρούνται σωλήνες αερίου, φωτεινά σεισμικά γεγονότα πάνω από ρήγματα»

<https://youtu.be/I0EU-qAZPkY>

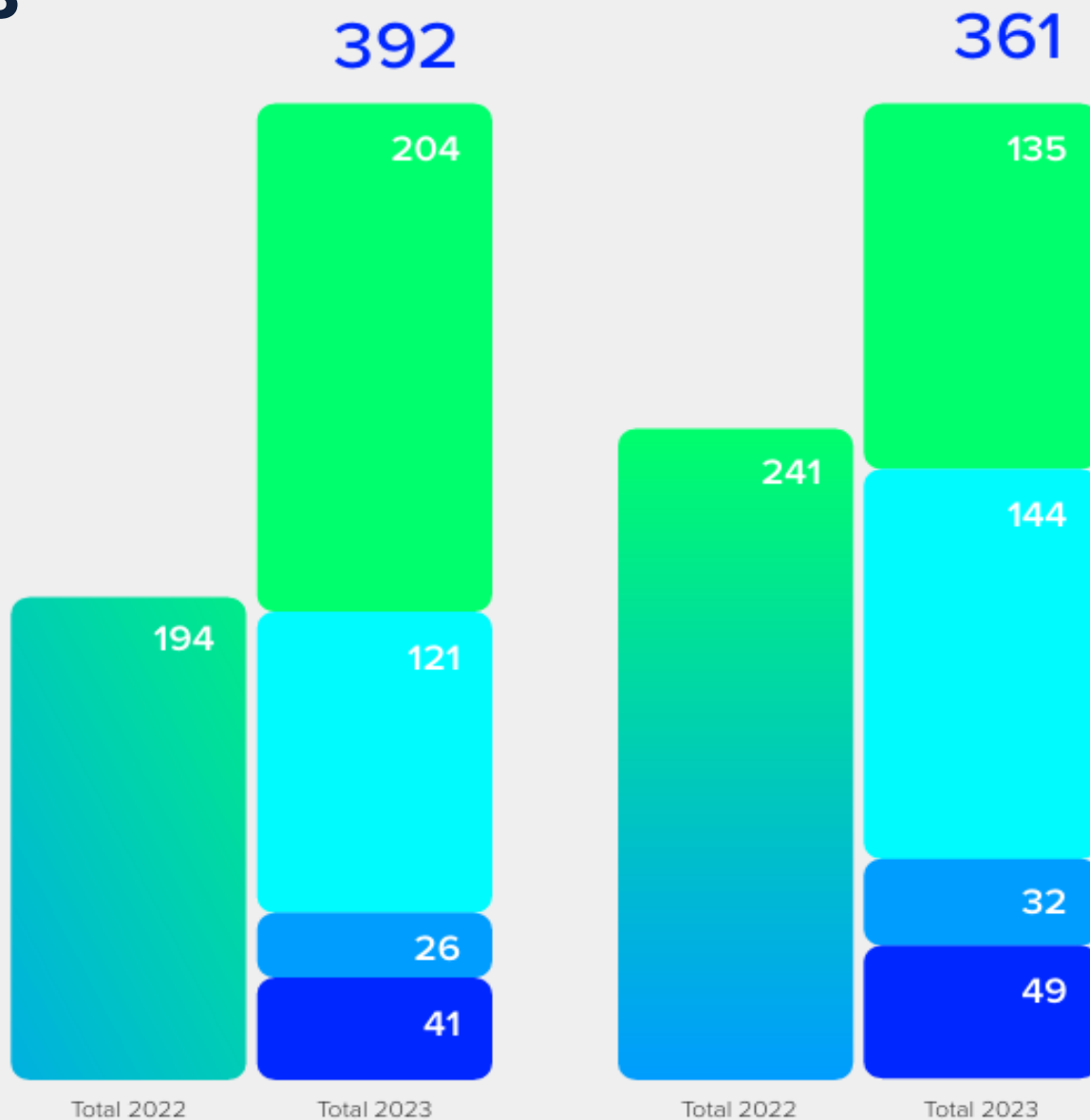


Ravenna CCS

Ανάκτηση φυσικού αερίου, απομάκρυνση CO_2 και αντίστροφη έγχυση στην υπόγεια αποθήκη

Figure 3.1-2:
Commercial CCS facilities
by number and total capture
capacity of 31 July 2023;
total for 2022 shown for
comparison.

2023



Note: The 2022 Global Status of CCS report stated a total capture capacity of approximately 244 Mtpa including the capacity of facilities that had suspended capture operations. Suspended capacity is no longer included in these statistics and thus the 2022 capacity has been revised down slightly.

Number of facilities

Capture capacity (Mtpa)

Operational

Facility	Country	Operational date	Facility industry	Capture, transport and/or storage capacity (Mtpa CO ₂)	Facility storage code
Occidental Terrell	USA	1972	Natural Gas Processing	0.5	Enhanced Oil Recovery
Enid Fertilizer	USA	1982	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.2	Enhanced Oil Recovery
ExxonMobil Shute Creek Gas	USA	1986	Natural Gas Processing	7	Enhanced Oil Recovery
MOL Szank Field	Hungary	1992	Natural Gas Processing	0.16	Enhanced Oil Recovery
Equinor Sleipner	Norway	1996	Natural Gas Processing	1	Dedicated Geological Storage
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	USA	2000	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	3	Enhanced Oil Recovery
Core Energy CO ₂ -EOR South Chester plant	USA	2003	Natural Gas Processing	0.35	Enhanced Oil Recovery
Equinor Snohvit	Norway	2008	Natural Gas Processing	0.7	Dedicated Geological Storage
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field	Brazil	2008	Natural Gas Processing	10.6	Enhanced Oil Recovery
Arkalon CO ₂ Compression Facility	USA	2009	Ethanol	0.5	Enhanced Oil Recovery
Longfellow WTO Century Plant	USA	2010	Natural Gas Processing	5	Enhanced Oil Recovery
Gary Climate Solutions Bonanza BioEnergy	USA	2012	Ethanol	0.1	Enhanced Oil Recovery
Yanchang Integrated Demonstration	China	2012	Chemical	0.05	Enhanced Oil Recovery
Air Products and Chemicals Valero Port Arthur Refinery	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.9	Enhanced Oil Recovery
Contango Lost Cabin Gas Plant	USA	2013	Natural Gas Processing	0.9	Enhanced Oil Recovery
Coffeyville Gasification Plant	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.9	Enhanced Oil Recovery
PCS Nitrogen Geismar Plant	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	Enhanced Oil Recovery
SaskPower Boundary Dam	Canada	2014	Power Generation and Heat	1	Enhanced Oil Recovery
Saudi Aramco Uthmaniyah	Saudi Arabia	2015	Natural Gas Processing	0.8	Enhanced Oil Recovery
Shell Quest	Canada	2015	<u>Hydrogen / Ammonia / Fertiliser</u>	1.3	<u>Dedicated Geological Storage</u>

1

GLOBAL CCS INSTITUTE - GLOBAL STATUS OF CCS 2024

Operational

Facility	Country	Operational date	Facility industry	Capture, transport and/or storage capacity (Mtpa CO ₂)	Facility storage code
Xinjiang Dunhua Karamay	China	2015	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
ADNOC Al-Reyadah	United Arab Emirates	2016	Iron and Steel Production	0.8	Enhanced Oil Recovery
ADM Illinois Industrial	USA	2017	<u>Ethanol</u>	1	<u>Dedicated Geological Storage</u>
CNPC Jilin Oil Field	China	2018	Natural Gas Processing	0.6	Enhanced Oil Recovery
Chevron Gorgon	Australia	2019	Natural Gas Processing	4	Dedicated Geological Storage
Qatargas Qatar LNG	Qatar	2019	Natural Gas Processing	2.2	Dedicated Geological Storage
Enhance Clive Oil Field	Canada	2020	CO ₂ Transport / Storage	1.12	Enhanced Oil Recovery
NWR Sturgeon Refinery	Canada	2020	Oil Refining	1.6	Enhanced Oil Recovery
WCS Redwater	Canada	2020	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	Enhanced Oil Recovery
Wolf Alberta Carbon Trunk Line	Canada	2020	CO ₂ Transport / Storage	14.6	Enhanced Oil Recovery
China National Energy Guohua Jinjie	China	2021	<u>Power Generation and Heat</u>	0.15	<u>Dedicated Geological Storage</u>
Climeworks Orca	Iceland	2021	Direct Air Capture	0.004	Dedicated Geological Storage
Sinopec Nanjing Chemical	China	2021	Chemical	0.2	Enhanced Oil Recovery
Yangchang Yan'an CO ₂ -EOR	China	2021	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
Entropy Glacier Gas Plant	Canada	2022	Natural Gas Processing	0.2	Dedicated Geological Storage
Red Trail Energy Richardton Ethanol	USA	2022	Ethanol	0.18	Dedicated Geological Storage
Sinopec Qilu-Shengli	China	2022	Chemical	1	Enhanced Oil Recovery
Yangchang Yulin CO ₂ -EOR	China	2022	<u>Chemical</u>	0.3	<u>Dedicated Geological Storage</u>
China National Energy Taizhou	China	2023	Power Generation and Heat	0.5	Enhanced Oil Recovery
CNOOC Enping	China	2023	Natural Gas Processing	0.3	Dedicated Geological Storage
Sinopec Jinling Petrochemical (Nanjing Refinery)	China	2023	Oil Refining	0.3	Enhanced Oil Recovery

2

3

4

σύνολο 41 μονάδες CCS σε λειτουργία το 2024

Οι στόχοι της παγκόσμιας κοινότητας για την κλιματική κρίση

- **Κλιματική ουδετερότητα** - χρονικός ορίζοντας το **2050**
προκειμένου να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά **1,5⁰ C** στο τέλος του αιώνα.

Ο στόχος περιλαμβάνεται στη Συμφωνία του Παρισιού για το Κλίμα,
υπεγράφη από **195 χώρες**, στις 4/11/2016.

Οι κύριοι φυσικοί συλλέκτες («δεξαμενές») άνθρακα είναι το **έδαφος, τα δάση και οι ωκεανοί** και σύμφωνα με εκτιμήσεις αφαιρούν μεταξύ 9,5 και 11 Gt CO₂ ετησίως.

Οι ετήσιες παγκόσμιες εκπομπές CO₂ έφθασαν
τους 37,8 Gt το 2023

Διεθνής εμπειρία-Εφαρμογές και προβλήματα

Το έργο Sleipner CCS στη Βόρεια θάλασσα - Νορβηγία (**1996**) η πρώτη εφαρμογή υπεράκτιας CCS στον κόσμο. Το παραγόμενο φυσικό αέριο περιέχει περίπου 9% CO₂. Η παραγωγή οδηγείται σε μια πλατφόρμα όπου διαχωρίζεται το CO₂ και εγχέεται στον αλατούχο σχηματισμό Utsira (περίπου **1.000.000 τόνοι/έτος**).

Υπήρξαν διαρροές με σχηματισμό φιλμ λαδιού στην επιφάνεια του νερού, **λόγω υπερβολικής πίεσης** που ασκήθηκε με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν **ρωγμές στην στεγανή οροφή**. Το CO₂ που εγχύθηκε συμπεριφέρθηκε εντελώς διαφορετικά από ό,τι περίμεναν και μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα ανέβηκε σε στρώματα που βρίσκονται πολύ πιο κοντά στην επιφάνεια.

Το Snøhvit (Νορβηγία) στη θάλασσα Μπάρεντς είναι ένα υπεράκτιο κοιτάσμα φυσικού αερίου στη Βόρεια Νορβηγία (θάλασσα του Μπάρεντς), το οποίο προμηθεύει αέριο στην εγκατάσταση παραγωγής LNG.

Το παραγόμενο φυσικό αέριο περιέχει 5-6% CO₂, διαχωρίζεται και το CO₂ διοχετεύεται πίσω στο κοιτάσμα (**700.000 τόνοι/έτος**). Η πίεση ανέβηκε γρήγορα σε κρίσιμες περιοχές. Μόνο η τρίτη προσπάθεια είχε θετικό αποτέλεσμα.

Ωστόσο, η έγχυση CO₂ στον σχηματισμό **Tubåen** στο Snøhvit έχει πλέον διακοπεί λόγω της αυξανόμενης πίεσης και το CO₂ έχει εγχυθεί στον σχηματισμό **Stø** από το **2013**.

Το ολοκληρωμένο μέγα έργο **Gorgon CCS (Αυστραλία)**

Εξακολουθεί να μην μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο ή αποθήκευση CO₂ ακόμη και **μετά από οκτώ χρόνια**.

Σχηματίστηκαν μεγάλες ποσότητες ανθρακικού οξέος, το οποίο προσέβαλε τα μέταλλα των γεωτρήσεων. Η μονάδα **χρειάστηκε επανειλημμένα να κλείσει** μερικώς ή πλήρως για μήνες.

Η εταιρεία **Chevron** καλείται να ανοίξει **νέες γεωτρήσεις ανακούφισης** και σταθεροποίησης για να αποτρέψει την πλήρη αποτυχία του έργου.

Σχεδόν όλες οι μεγαλύτερες μονάδες CCS που στοχεύουν στη μόνιμη αποθήκευση CO₂ έχουν μέχρι στιγμής εξυπηρετήσει **μόνο τον σκοπό της μείωσης της υψηλής περιεκτικότητας σε CO₂ ορισμένων κερδοφόρων κοιτασμάτων φυσικού αερίου** (Sleipner, Snøhvit, Gorgon, In Salah).

In SALAH – Αλγερία, ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια CCS

Τον Ιούνιο του 2011 η **πίεση** έγχυσης του CO₂ υπερέβη το όριο θραύσης των πετρωμάτων. Το έργο **απέτυχε εντελώς**. Οι διαχειριστές αγνόησαν την απροσδόκητα ταχεία **αύξηση της πίεσης** στη δεξαμενή CO₂. Στην περιοχή πάνω από την υπόγεια αποθήκη, **το έδαφος ανέβηκε κατά αρκετά εκατοστά**.

Ωστόσο, τα τρισδιάστατα σεισμικά δεδομένα και τα προηγούμενα γεωλογικά ευρήματα από την παραγωγή αερίου ήταν σε εξαιρετική συμφωνία (όπως και στον Πρίνο).

Η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι περίπου 90 °C και η πίεση 180 bar. Το CO₂ βρίσκεται σε υπερκρίσιμη φάση.

Το έργο σταμάτησε και τελικά τερματίστηκε. **Συνολικά, μόνο 3,8 εκατομμύρια τόνοι CO₂** μπορούσαν να εναποτεθούν.



Figure 3 - CO₂ Blowout Case History – Vapor cloud visibility, freezing CO₂ temperatures
[Courtesy of Wild Well Control]



Figure 2 - CO₂ Blowout Case History – Blowout Location Ingress/Egress under SCBA
Visibility cloud [Courtesy of Wild Well Control]



Denbury CO2 pipeline leak near Sulphur, La. on April 3. (Image: [Calcasieu Parish Police Jury](#))

Διαρροή αγωγού CO₂ στο Denbury , Λουιζιάνα στις 3/4/2024



A CO₂ pipeline rupture in Yazoo County Mississippi in February 2020. (Yazoo County Emergency Management Agency)



Ρήξη αγωγού CO₂ στην κομητεία Yazoo του Μισισιπή τον Φεβρουάριο του 2020. (Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Αναγκών)

2020, ρήξη αγωγού CO₂ στην κομητεία Γιαζού του Μισισσιπή, 45 άτομα στο νοσοκομείο, 200 κάτοικοι χρειάστηκαν απομάκρυνση,.

3 Απριλίου 2024, ρήξη αγωγού διοξειδίου του άνθρακα στη νοτιοδυτική Λουιζιάνα, απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες.

Προειδοποίηση προς τους κατοίκους της περιοχής, προτρέποντας να κλείσουν πόρτες και παράθυρα, μπορεί να είναι θανατηφόρο σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Από το 2010, έχουν αναφερθεί 76 περιστατικά που αφορούν αγωγούς CO₂, απελευθερώνοντας CO₂ στην ατμόσφαιρα

Αναλύθηκαν 13 διαφορετικά έργα CCS που αντιπροσωπεύουν το 55% των CCS παγκοσμίως.

Αποτέλεσμα: Δέκα έργα είτε δεν ανταποκρίθηκαν στις προσδοκίες, είτε απέτυχαν είτε εγκαταλείφθηκε. (**Πέντε** έργα από αυτά είναι επεξεργασίας φυσικού αερίου).

Παγκοσμίως, περίπου **49 εκατομμύρια τόνοι CO₂ δεσμεύονται κάθε χρόνο** (στοιχεία του 2023). Περισσότερο από τα δύο τρίτα αυτού δεσμεύονται κατά την επεξεργασία φυσικού αερίου.

Μόνο το 27% αποθηκεύεται στο έδαφος. Μεγαλύτερο μέρος του δεσμευμένου CO₂ χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ακόμη περισσότερου πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Σεισμικότητα:

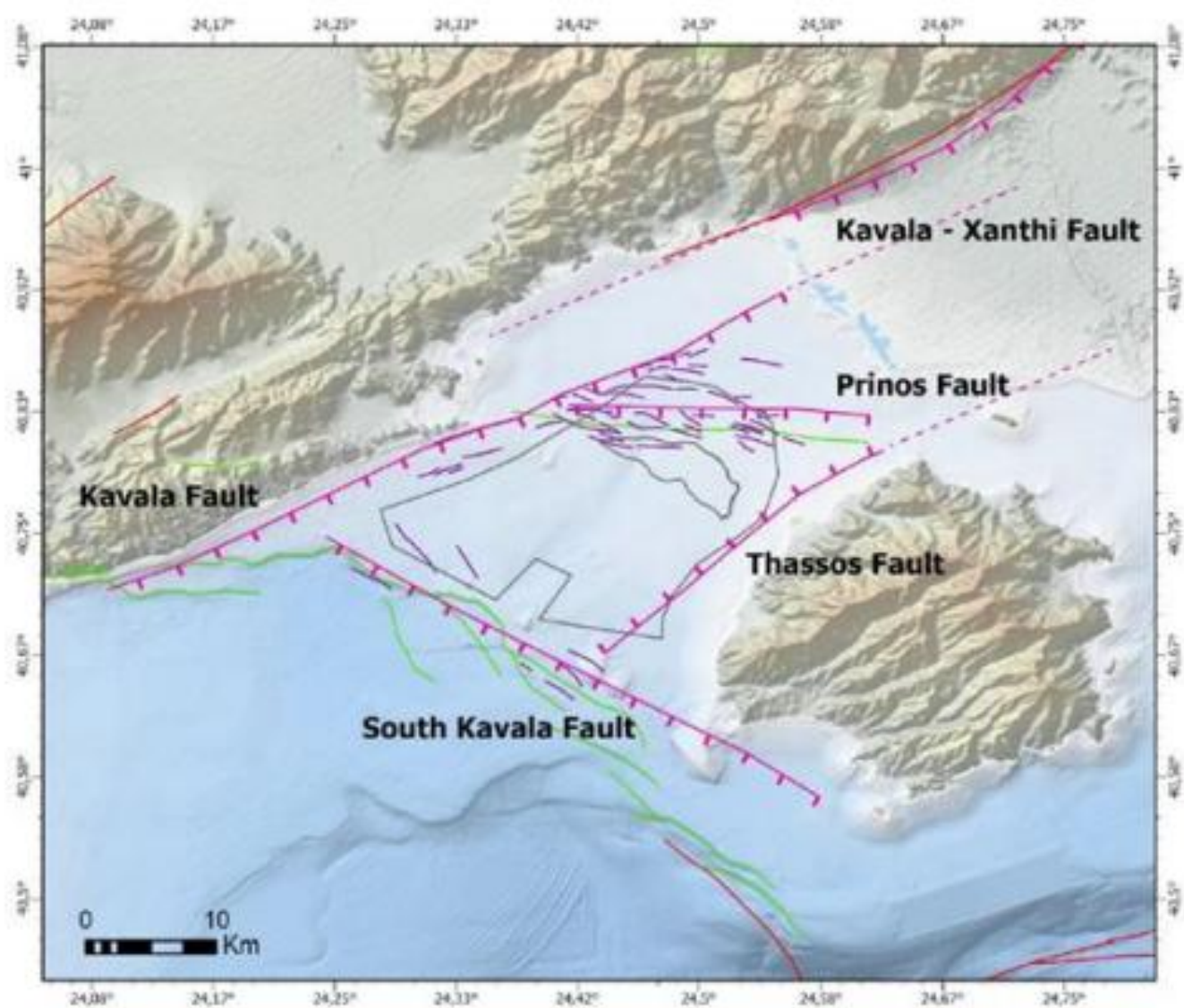
Στη ΜΠΕ γίνεται επίκληση (5 φορές) του Αντισεισμικού Κανονισμού ο οποίος όμως **δεν καλύπτει τέτοια έργα υψηλού κινδύνου, γενικά θαλάσσια έργα.**

Ήδη στην εισαγωγή του ο ΕΑΚ αναφέρει ότι «καλύπτει τα λεγόμενα έργα κανονικού κινδύνου δηλαδή τα έργα, η ενδεχόμενη βλάβη των οποίων περιορίζεται στο ίδιο το έργο, στο περιεχόμενό του ή στην άμεση γειτονιά του».

Ο ΕΑΚ δεν καλύπτει: *«Τα έργα υψηλού κινδύνου, των οποίων η ενδεχόμενη αστοχία μπορεί να έχει βαριές συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον σε μια ευρύτερη περιοχή έξω από την περιοχή του έργου (π.χ. φράγματα, πυρηνικά εργοστάσια) καθώς και τα **θαλάσσια έργα**»* όπως το εξεταζόμενο, κατά τη διάρκεια ζωής του οποίου (χιλιετία) είναι βέβαιο ότι θα συμβούν σεισμικά γεγονότα μεγάλης έντασης.

Το επίπεδο προστασίας που απαιτείται για τέτοια έργα, θα καθορίζεται από ειδικές μελέτες και διατάξεις με βάση τις συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας. **Τέτοιες μελέτες όμως δεν αναφέρονται στη ΜΠΕ.**

Ενεργά ρήγματα
στην περιοχή του
έργου



(Πηγή: Seismotectonic Investigation of Kavala Area, NOA - Energean SA, Οκτώβριος 2023)

Σχήμα 8-56: Χάρτης ανάγλυφου και ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή Καβάλας - Πρίνου⁶



Ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του έργου

Δεν υπάρχει **ασεισμική περιοχή στην Ελλάδα, όλη η χώρα είναι τεκτονικά ενεργή.**

Σημαντικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του έργου:

Α. Ζώνη Ρήγματος της Βόρειας Χαλκιδικής προς Θάσο. Είναι το ρήγμα που προκάλεσε τον ισχυρό σεισμό **7 Richter το 1932 στην περιοχή **Ιερισσού-Θάσου**.**

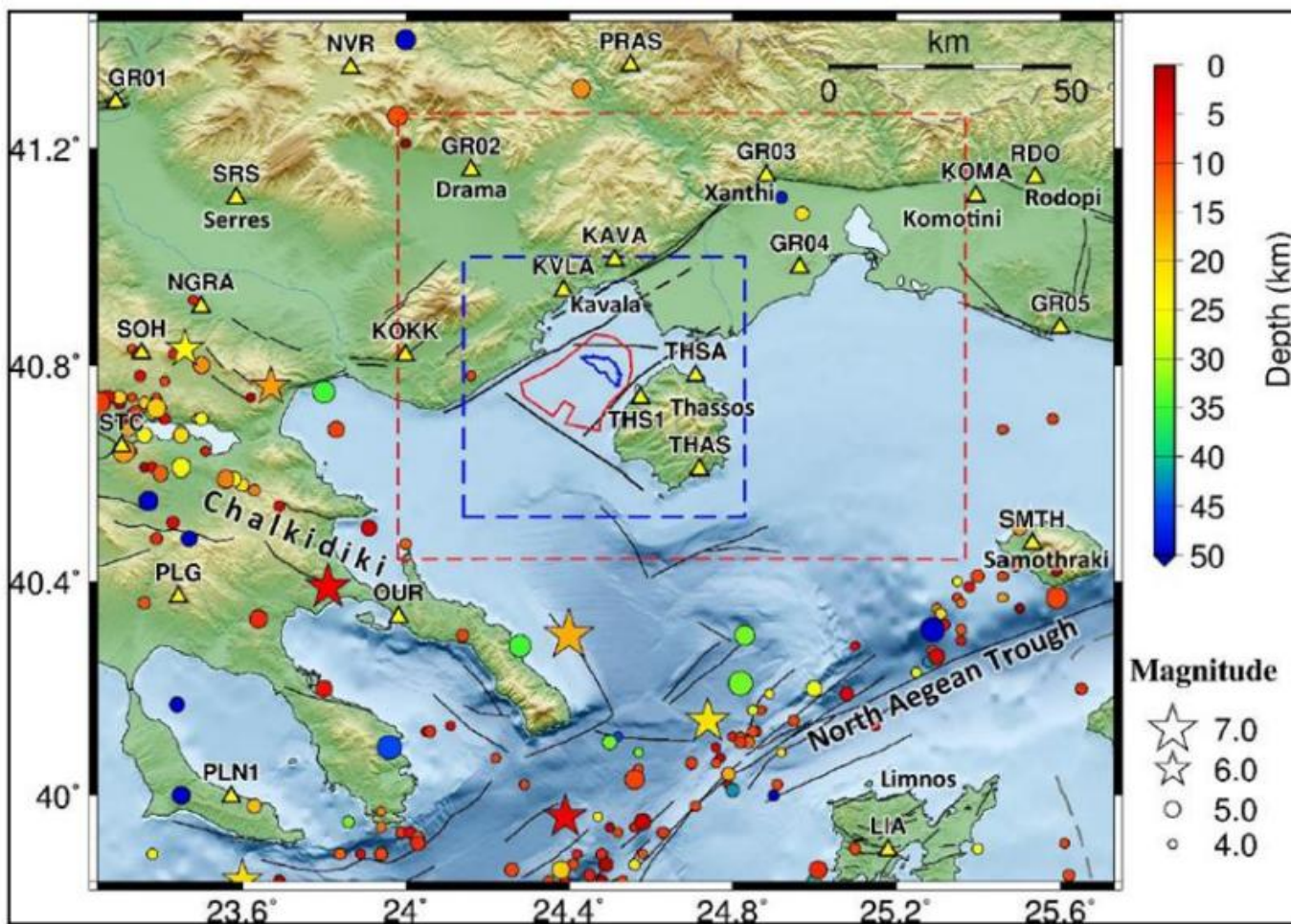
Β. Ζώνη Ρήγματος του Βόρειου Αιγαίου (Ρήγματα ανατολικά της Χαλκιδικής) σεισμός **7,5 Ρίχτερ στο Άγιο Όρος (μύτη του Άθω)**

Γ. Ρήγμα Σαμοθράκης

Δ. **Τάφρος του βορείου Αιγαίου σε συνέχεια του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας. Είναι **το πιο δυναμικό ρήγμα** στον ελλαδικό χώρο. Το 1980 και το 1982 6,7 και 7 Ρίχτερ, το 1968 6,9 Ρίχτερ στον Άγιο Ευστράτιο.**

Οι πιο μεγάλοι σεισμοί στην Ελλάδα

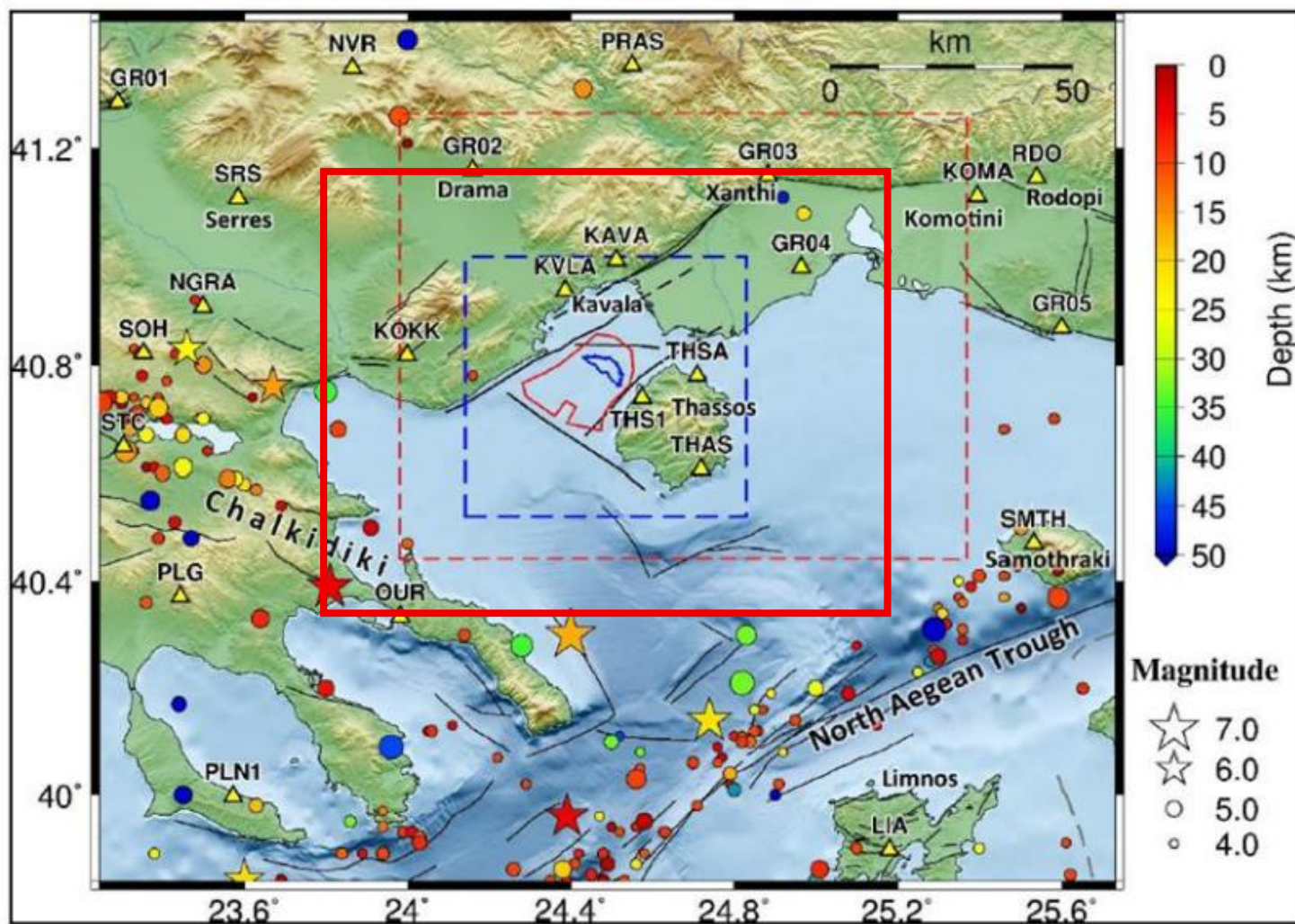
- 1810 στην Κρήτη 7.8 ρίχτερ
- **1829 στη Δράμα 7.3 ρίχτερ**
- 1856 Ρόδος. 8.2 ρίχτερ
- 1867 Κεφαλλονιά. 7.2 ρίχτερ
- 1886 φιλιατρά 7.5 ρίχτερ.
- 1894 Αταλάντη. 7.0 ρίχτερ
- 1903 Κύθηρα. 7,2[8] με 8[7]
- **1905 Άγιο Όρος (μύτη του Άθω) 7,5 ρίχτερ**
- 1926 Ρόδος. 7.7 ή 8 ρίχτερ
- **1932 Ιερισσός 7 ρίχτερ**
- 1935 Κρήτη 7 ρίχτερ
- 1953 Κεφαλλονιά 7.2 ρίχτερ
- 1952 Σοφάδες 7 ρίχτερ
- 1956 Αμοργός 7.5 ρίχτερ
- 1957 Ρόδος 7.2 ρίχτερ
- 1968 Άγιος Ευστράτιος 7.1 ρίχτερ



(Πηγή: Κατάλογος σεισμικών γεγονότων 1900-2009, Makropoulos et.al 2012)

Σχήμα 8-57: Σεισμικότητα των ετών 1900-2009 στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

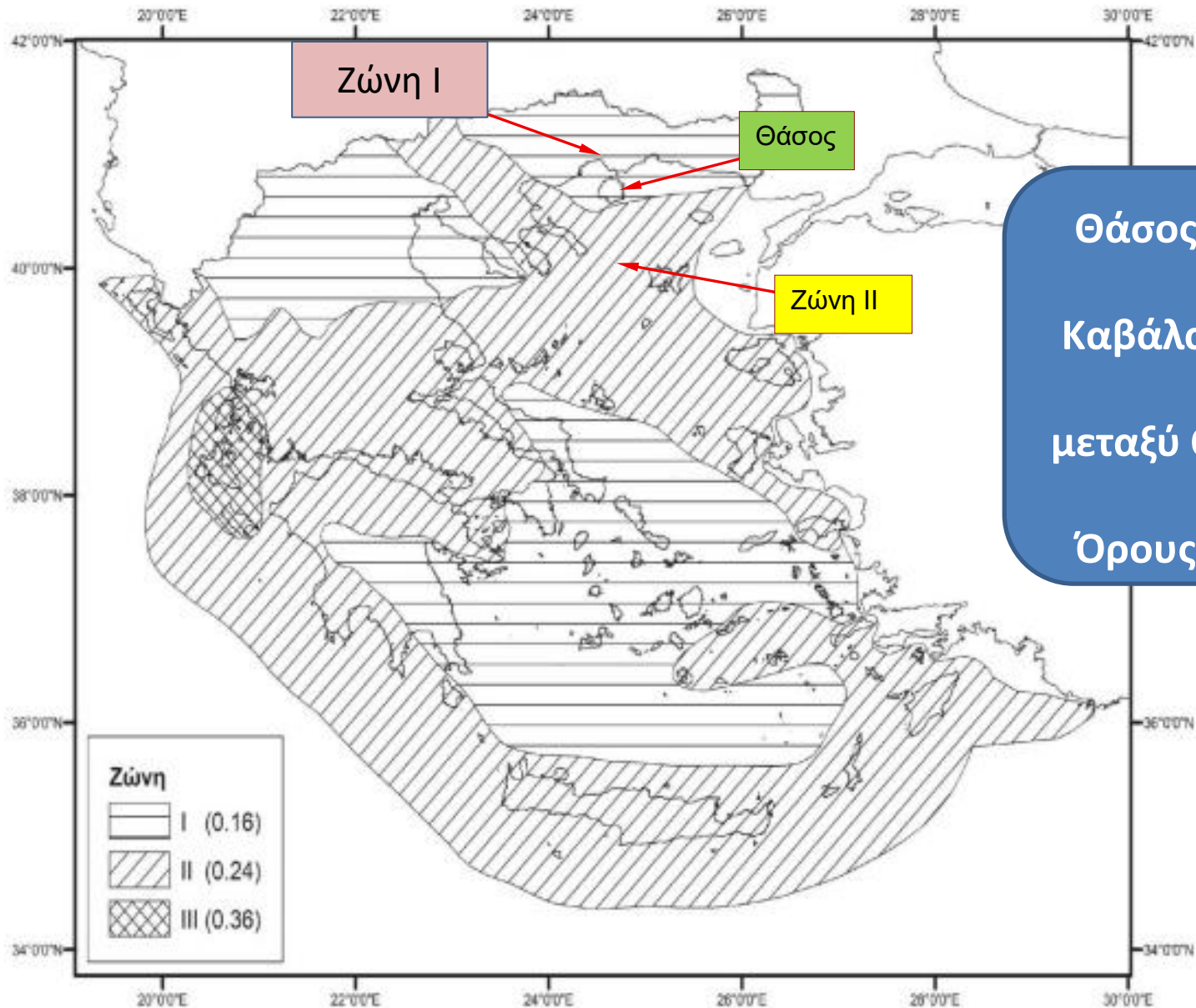
Αποσιωπώνται σημαντικά σεισμικά γεγονότα στην εξεταζόμενη περιοχή (κόκκινο ορθογώνιο) όπως ο σεισμός των 7,3 Richter στη Δράμα (στις 05-05-1829), καθώς και σεισμός > 6,0 Richter μεταξύ Θάσου και Αγίου Όρους.



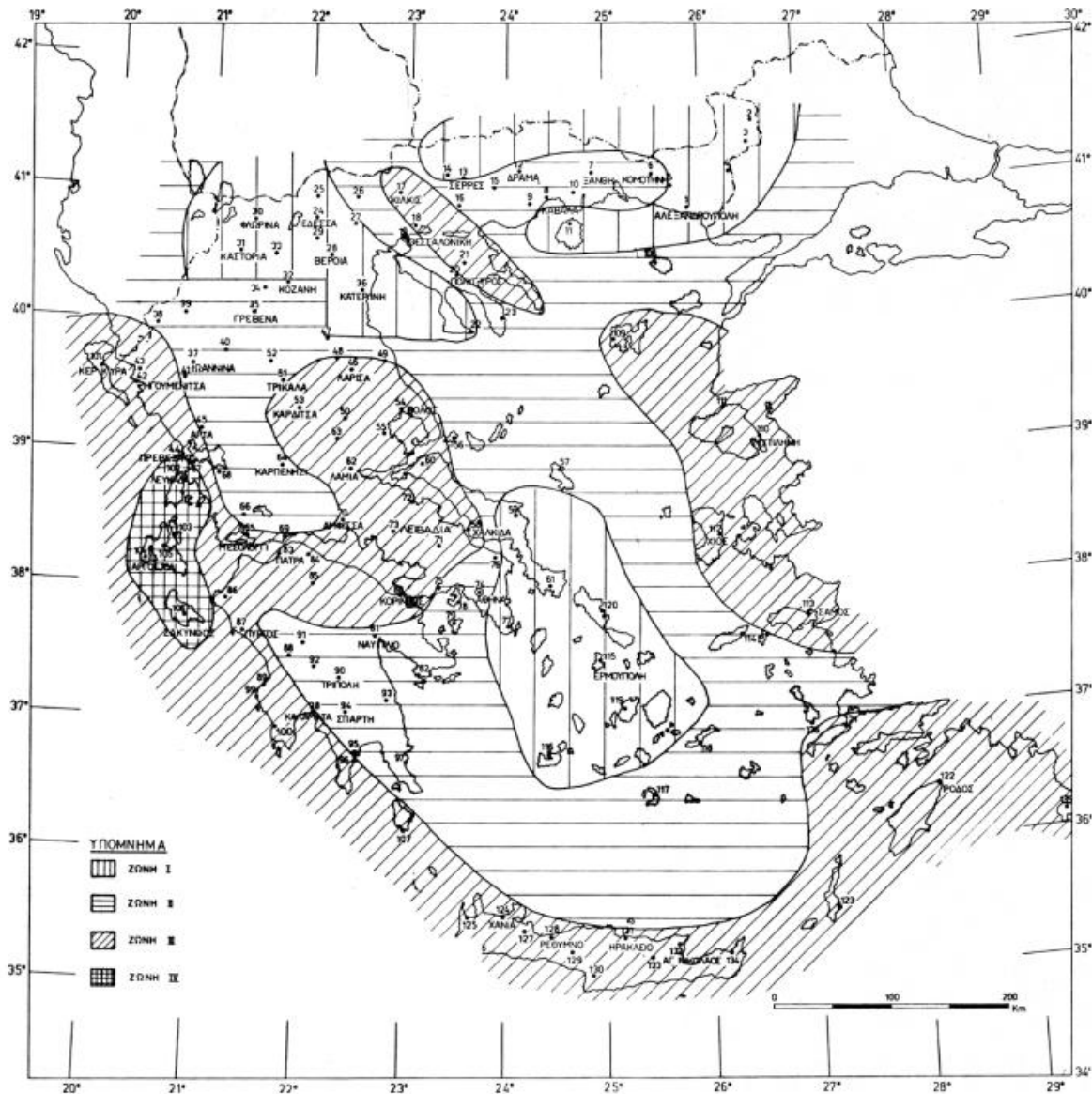
(Πηγή: Κατάλογος σεισμικών γεγονότων 1900-2009, Makropoulos et.al 2012)

Σχήμα 8-57: Σεισμικότητα των ετών 1900-2009 στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Το κόκκινο ορθόγωνιο που απεικονίζει την ευρύτερη περιοχή μελέτης τοποθετείται κεντροβαρικά σε σχέση με την σχεδιαζόμενη αποθήκη του Πρίνου



Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας ΕΑΚ 2003



Θάσος: Ζώνη Ι, $a=0,12$

Καβάλα, Ζώνη ΙΙ, $a=0,16$

μεταξύ Θάσου και Αγίου

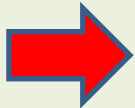
Όρους Ζώνη ΙΙ, $a=0,16$

Άγιο Όρος Ζώνη ΙΙΙ, $a=0,24$

Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας **ΕΑΚ 2000**

Επαγόμενη σεισμικότητα:

Η σεισμικότητα που προκαλείται από την έγχυση ρευστού ή CO₂ σε γεωλογικούς σχηματισμούς είναι ένα ευρέως διαδεδομένο φαινόμενο. Αυτοί οι σεισμοί μπορούν να ξεπεράσουν τα **μεγέθη των 6 Ρίχτερ** και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του χώρου και τη δημόσια ασφάλεια. Οι περισσότεροι επαγόμενοι σεισμοί συμβαίνουν κατά την έγχυση (~70%).

- Ανακατανομή τάσεων σε υπάρχουσες ρηγματωμένες επιφάνειες
- Πρόκληση γεωλογικών ρηγμάτων, θραύσεων ή διόδων που θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα του ταμιευτήρα
- Διάλυση του ορυκτού τσιμέντου (φυσικό συνδετικό υλικό πετρωμάτων)  απώλεια της αντοχής του πετρώματος
- Πίεση στο υπερκείμενο κάλυμμα (φραγμός) λόγω των δυνάμεων άνωσης που προκύπτουν από το CO₂

Στη βιβλιογραφία, πέραν των δεκάδων επαγόμενων σεισμών μικρής έως μέσης έντασης (2-4 Richter) αναφέρονται **τέσσερις σεισμοί μεγάλου μεγέθους (M 5–7 Richter)** που προκλήθηκαν από την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου και έχουν συμπεριληφθεί σε σχετική βάση δεδομένων:

i) 1976 και 1984 στο Gasli, Usbekistan με 7 Richter ii) 1983 στο Coalinga Eastside, Kalifornien, USA με 6,5 Ρίχτερ iii) 1985 στο Kettleman North Dome, Kalifornien, USA με 6,1 Ρίχτερ και iv) 1987 στο Montebello Fields, Kalifornien, USA, με 5,9 Richter.

Επαγόμενος σεισμός στο κοιτάσμα Ekofisk (Βόρεια Θάλασσα):

Στις 7 Μαΐου 2001, μέτριου μεγέθους ($M_w = 4,1-4,4$) σημειώθηκε στη νότια Βόρεια Θάλασσα

1967, 11 Δεκεμβρίου στο Κογναγαρ, Ινδία. Σεισμός 6,6 Richter, 177 νεκρούς και πάνω από 2.200 τραυματίες .Αιτία η πλήρωση τεχνητών λιμνών με νερό σε φράγματα.

1973, σεισμός 4,6 Richtre στα βουνά Mayacamas (California), αιτία η έγχυση νερού σε γεωθερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας.

1952, 5,7 Richter, Οκλαχόμα, αιτία υδραυλική ρηγμάτωση. Τα αποτελέσματα μιας πολυετούς έρευνας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ (USGS) που δημοσιεύθηκε το 2015 σχετικά με τους προκληθέντες σεισμούς, έδειξαν ότι οι περισσότεροι από τους σημαντικούς σεισμούς στην Οκλαχόμα, μπορεί να έχουν προκληθεί από βαθιά έγχυση αποβλήτων νερού από τη βιομηχανία πετρελαίου.

Επαγόμενη σεισμικότητα στον Ελλαδικό χώρο:

Φαινόμενα που σχετίζονται με την επαγόμενη σεισμικότητα συναντάμε από την πλήρωση τεχνητών λιμνών με νερό σε φράγματα.

Στη λίμνη των Κρεμαστών στη δυτική Ελλάδα. Ένας σεισμός με μέγεθος **6.2** εκδηλώθηκε τον **Φεβρουάριο του 1966** και συσχετίσθηκε με το ύψος της στάθμης του νερού στη λίμνη.

Στην τεχνητή λίμνη του **Πολυφύτου**, με την οποία συνδέεται ο ισχυρός σεισμός (**M=6.6**) ο οποίος έπληξε την περιοχή της Κοζάνης-Γρεβενών στις **13 Μαΐου 1995**.

Άλλες περιπτώσεις καταγεγραμμένων σεισμών είναι της Λίμνης Καστρακίου-Αχελώου το **1969** με σεισμό μεγέθους **4.7**,

της **Λίμνης Πουρναριού Άρτας-Αράχθου** το **1981** με σεισμό μεγέθους **5.6** και της λίμνης **Ασωμάτων Βέροιας** το **1984** με σεισμό μεγέθους **5.4**.

Κίνδυνοι που σχετίζονται με το Έργο αποθήκευσης CO₂ στον Πρίνο και μέτρα πρόληψης και μετριασμού - Παράρτημα 16.1 της ΜΠΕ

Ακεραιότητα αγωγού και κίνδυνοι μεταφοράς

Κίνδυνοι διεργασίας εισπίεσης CO₂: η αποτυχία επίτευξης της επιθυμητής πίεσης και θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή αποθήκευση ή διαρροή CO₂ και διάβρωση

Κίνδυνοι ακεραιότητας και περιορισμού του ταμιευτήρα που σχετίζονται με:

i. πιθανότητα γεωλογικών ρηγματών, θραύσεων ή διόδων που θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα των στρωμάτων του ταμιευτήρα που οδηγεί σε μετανάστευση CO₂

ii. **Σεισμικά γεγονότα** που προκαλούν γεωλογικές διαταραχές και θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο τη συγκράτηση/στεγανοποιητικές ιδιότητες των στρωμάτων του ταμιευτήρα, οδηγώντας σε διαρροή CO_2

Κίνδυνοι παραγωγής υδρογονανθράκων: παρεμβολές στην παραγωγή υδρογονανθράκων λόγω μετανάστευσης CO_2 , αυξημένη πίεση στα κοιτάσματα υδρογονανθράκων λόγω εισπίεσης CO_2 , που ενδέχεται να οδηγήσει σε ζητήματα ακεραιότητας γεωτρήσεων (**π.χ εκρήξεις**) ή άλλες λειτουργικές διακοπές ή κινδύνους.

Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι: Διαρροή CO_2 στο θαλάσσιο περιβάλλον, απειλές για τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα, **πιθανή οξίνιση του θαλασσινού νερού λόγω διαρροής CO_2**

Μέτρα Πρόληψης:

Εξασφάλιση στιβαρού σχεδιασμού !!!

Διεξαγωγή γεωλογικών ερευνών

Διεξαγωγή μελετών μοντελοποίησης και προσομοίωσης των ταμειυτήρων

Επένδυση σε ισχυρές πρακτικές σχεδιασμού !!!

Μέτρα Μετριασμού των επιπτώσεων:

Εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης

Εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης πίεσης

Ανάπτυξη ισχυρών σχεδίων παρακολούθησης και έκτακτης ανάγκης (από τέτοια σχέδια ΣΑΤΑΜΕ χορτάσαμε)

Πόρισμα του ΤΕΕ – ΑΜ 32 σελίδες, 30 σελίδες *Cory paste* από την ΜΠΕ χωρίς σχολιασμούς, 2 σελίδες συμπεράσματα (πιο έντιμο να αποσυρθεί)

Έλλειψη επιστημονικής προσέγγισης, λάθη και ανακρίβειες

«Η γεωλογική ιστορία του κοιτάσματος του Πρίνου και η συγκράτηση του περιεχόμενου πετρελαίου για εκατομμύρια χρόνια καταδεικνύει ότι και το CO₂ μπορεί να παραμείνει μόνιμα μέσα στο σχηματισμό χωρίς διαφυγές προς την επιφάνεια» **Γιατί γίνονται οι μελέτες;**

«Η χρήση του συγκεκριμένου ταμιευτήρα δεν εγείρει ανησυχίες για την ασφάλεια δεδομένης της πρότερης μακράς ιστορίας εκμετάλλευσής του» **Γιατί γίνονται οι μελέτες; (Χρόνος dt)**

Καμία αναφορά στη σεισμικότητα και στα χωροταξικά σχέδια

«Η διαδικασία αποθήκευσης έγκειται σε: διαχωρισμό, δέσμευση και συλλογή του CO₂, μεταφορά, εισπίεση στον υδροφόρο και παρακολούθηση».

«Για τις επιπτώσεις που αξιολογήθηκαν ως **«Μέτριες»**, έπειτα από την εφαρμογή των σχετικών μέτρων που προτείνονται **στο Κεφάλαιο 11 της παρούσας**, οι υπολειμματικές επιπτώσεις τελικώς αξιολογούνται ως **«Μικρές»** και συνεπώς το έργο είναι συμβατό με τους στόχους προστασίας του περιβάλλοντος.»

«Το CO₂ θα αποθηκευτεί εντός του ταμιευτήρα «Πρίνος», στις ζώνες που περιέχουν υδρογονάνθρακες»

«Στη φάση λειτουργίας του έργου θα γίνεται συνεχής **παρακολούθηση των εκπομπών CO₂**»

Το ΤΕΕ-ΑΜ δεν παρέλειψε να αναφερθεί στη Διαβούλευση που έγινε με ενδιαφερόμενα Μέρη

Να μας πει το ΤΕΕ-ΑΜ ποιες είναι έστω οι **περιορισμένες** περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου και ποια τα **μέτρα** μετριασμού όπως αναφέρεται στο πορίσματός του και **“ ποιοί αρμόδιοι φορείς ”** θα αναλάβουν την παρακολούθηση της ασφαλούς λειτουργίας του έργου στο διηνεκές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ