

Δέσμευση και αποθήκευση CO₂

Ιωάννης Ηλιόπουλος


Πάτρα, 2015

Οι εκπομπές CO₂ θεωρείται ότι αποτελούν το βασικότερο ανθρωπογενές αέριο θερμοκηπίου με σημαντική συμβολή στο φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατ' επέκταση των κλιματικών αλλαγών που αυτή επιφέρει.

Πίνακας 1-2. Συγκεντρώσεις αέριων θερμοκηπίου για τα έτη 1750 και 2010 (Blasing)

Αέρια	Έτος	
	1750 Συγκέντρωση (ppm)	2010 Συγκέντρωση (ppb)
CO ₂	280	384,8
CH ₄	700	1865
N ₂ O	270	322
O ₃	25	34

 **Κλιματική αλλαγή και ανθρωπογενής προέλευση του CO₂**

 **Peter English** @PeterEng252525 · Oct 25
As a scientist, how do you differentiate natural occurrences vs "man made"? Is that even possible. Trying to wrap my head around the difference


2 replies 3 retweets 5 likes

 **Dennis Just**  @sciencepolicia Following

Replying to @PeterEng252525 @DrShepherd2013

That's a really great question. First let's see if the CO₂ in the atmosphere is natural or "man-made", i.e. comes from burning fossil (1/14)


1:48 PM - 25 Oct 2017

17 Retweets 36 Likes 

7 replies 17 retweets 36 likes

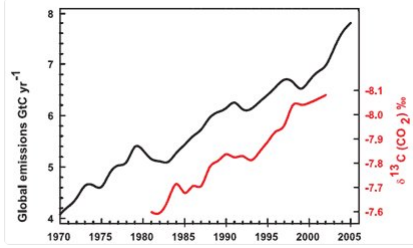
 Tweet your reply

twitter


Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25

Replying to @sciencepolicia @PeterEng252525 @DrShepherd2013

.. fuels (FF). FF carbon has a different isotopic composition than inorganic carbon. Climate scientists confirmed it's the FF carbon! (2/14)




1 3 14

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25

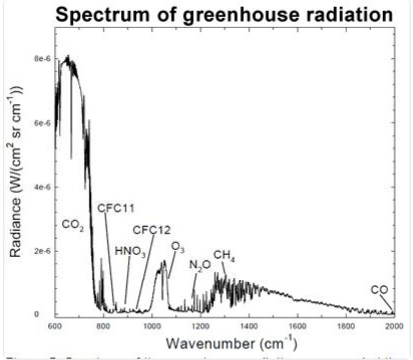
So we know we're adding CO₂ to the atmosphere, but is it responsible for the warming? Let's check. (3/14)

1 2 8

twitter

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25

If it's CO₂, we'd expect less heat escaping to space and more being trapped in the lower atmosphere. Both are confirmed! (4/14)

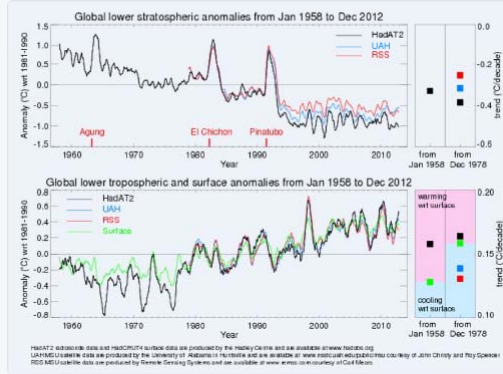


1 2 12



Dennis Just @sciencepolicia · Oct 25

We'd also expect the stratosphere to cool, since more heat is being trapped below it. This is confirmed! (5/14)

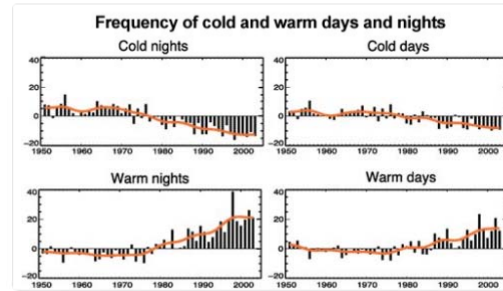


1 3 12



Dennis Just @sciencepolicia · Oct 25

We'd also expect nights to get warmer than days if it's CO2. This is confirmed! (6/14)



2 2 12



Dennis Just @sciencepolicia · Oct 25


We'd also expect a rising tropopause and a shrinking ionosphere if it's CO2. Confirmed! (7/14)


1 2 11

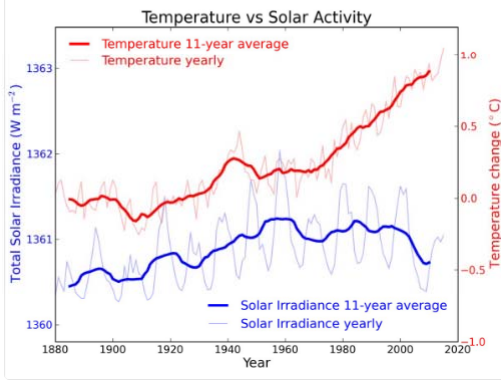


Dennis Just @sciencepolicia · Oct 25


And finally, the amount of CO2 is enough to account for the observed warming. It's all consistent :) (8/14)

twitter 

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25
 Now, what about other culprits? It can't be the Sun - solar activity is falling while the Earth is still warming. (9/14)



1 2 12



twitter 

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25
 Furthermore, the Sun would warm days more than nights - the opposite is observed! (10/14)

1 2 8

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25
 Even moreso, the Sun would warm the stratosphere, too - the opposite is observed! (11/14)

1 2 7

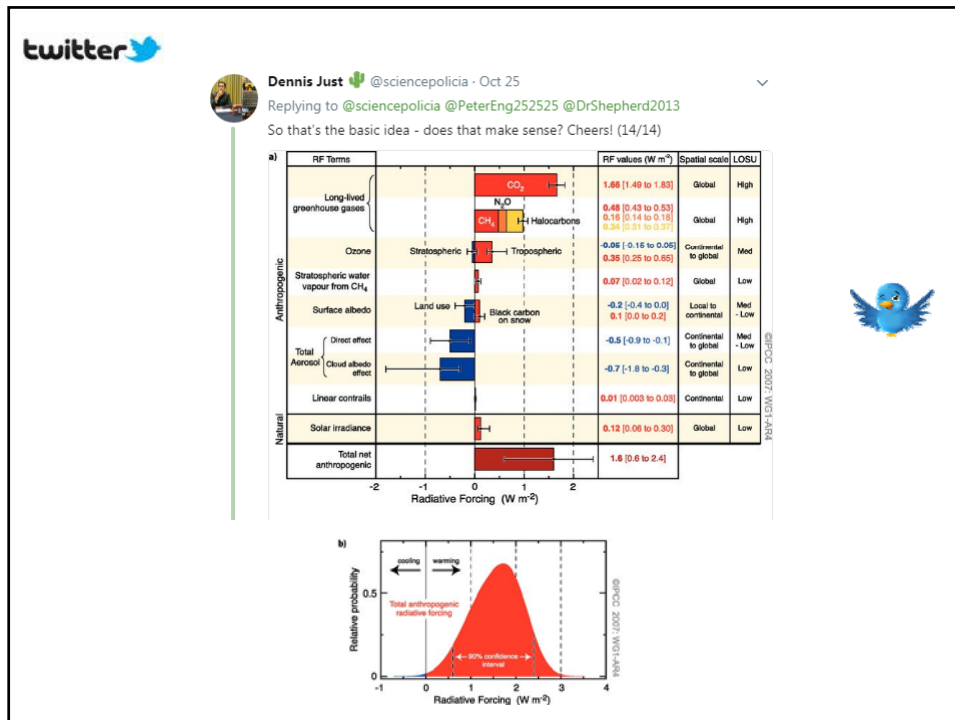
Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25
 Similar arguments are made to rule out cosmic rays, the Earth's albedo, etc. (12/14)

1 2 7

Dennis Just  @sciencepolicia · Oct 25
 And clouds, while a big source of uncertainty, have enough offsetting effects that they can't account for the observations. (13/14)

1 2 8





The National Oceanic and Atmospheric Administration produced this video showing the unique nature of the modern spike in the atmospheric concentration of carbon dioxide

<http://www.youtube.com/watch?v=Roa73Q8qZtA>

1.4.3 Πηγές εκπομπής

Οι κύριοι τομείς εκπομπής αερίων των θερμοκηπίων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι οι εξής:

- 26% εκπομπές από παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και θερμότητας (CO₂)
- 17% από μεταφορές (CO₂)
- 10% από εργοστάσια (CO₂)
- 8% από οικίες (CO₂)
- 4% από γεωργία (N₂O)
- 4% από χαλυβουργία (CO₂)
- 4% από ακτοπλοϊκά (CO₂)

Σε μικρότερο ποσοστό από άλλες αιτίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-1.



Σχήμα 1-1. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τομέα (Ε.Ε.Α, 2009)

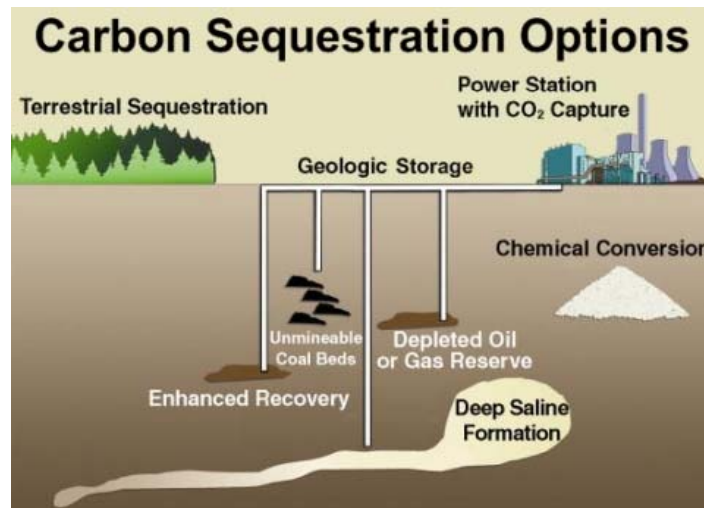
- Ο ενεργειακός τομέας και συγκεκριμένα ο τομέας ηλεκτροπαραγωγής είναι η κύρια πηγή εκπομπών CO₂
- Υπολογίζεται ότι το 30% των συνολικών εκπομπών CO₂ οφείλεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

- Ο ενεργειακός τομέας εξακολουθεί να είναι ισχυρά εξαρτώμενος από τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, φυσικό αέριο) παρά τις προσπάθειες που καταβάλλονται για την υποκατάστασή τους από άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας με μηδενικές εκπομπές CO₂ π.χ ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

- Εκτιμάται ότι το 85% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως καλύπτεται από τα ορυκτά καύσιμα.
- Στην Ελλάδα ο τομέας παραγωγής ενέργειας παράγει σχεδόν το 50% των συνολικών εκπομπών CO₂.

- Η παγκόσμια κοινότητα έχει δεσμευτεί μέσω της σύμβασης-πλαίσιο για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC) να σταθεροποιήσει τις εκπομπές CO₂ στα επίπεδα του 1990, και
- μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 5,2% έως την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990.

Ποιες είναι οι επιλογές μας;



<https://www.zmescience.com/ecology/climate/co2-turned-carbon-nanofibres-0432423/>

Μια εναλλακτική λύση για μηδενικές εκπομπές CO₂ σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα θα μπορούσε να αποτελέσει η ιδέα της **δέσμευσης του CO₂ και αποθήκευσής του**


- **σε υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς**, όπως ταμειυτήρες πετρελαίου ή φυσικού αερίου με βελτιωμένη ανάκτηση του κοιτάσματος (Enhanced Oil Recovery) ή
- **υποθαλάσσια**

Αντίστοιχη τεχνολογία έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στη περιοχή Sleipner της Βόρειας Θάλασσας

- εμπλουτισμός του φυσικού αερίου με διαχωρισμό του CO₂.
- το CO₂ συμπιέζεται και αποθηκεύεται σε γεωλογικό σχηματισμό 1000m κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας.
- Το έργο μπήκε σε εφαρμογή το 1996 και από τότε έχουν αποθηκευτεί επιτυχώς 80 εκ. τόνοι CO₂.

Carbon Capture & Sequestration Technologies @ MIT
Contact Us - MIT - MITel

Home
Bibliography
Research
C.S.I.
CCS Project Database
Tools
About Us





► CCS Project Database

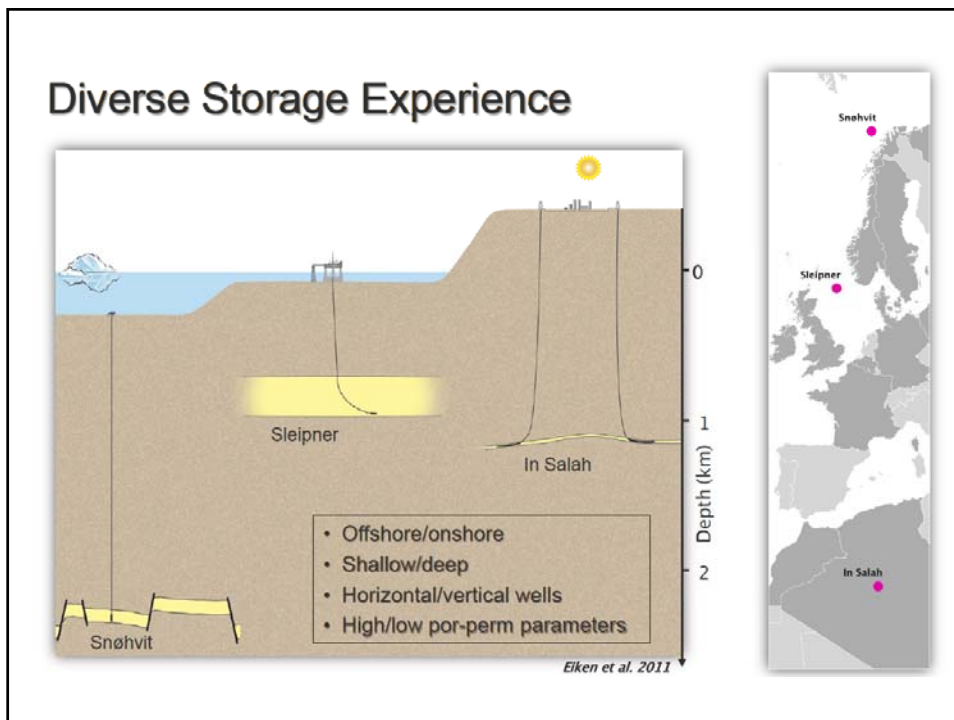
- Overview
- Map of Projects
- Power Plant CCS Projects
- Non-Power Plant CCS Projects
- Project: Sleipner
- Commercial EOR Projects
- Pilot Projects
- Announced Projects
- Cancelled and inactive Projects
- Recent Updates and News
- Regional CCS Financing Summaries
- Other Online Databases

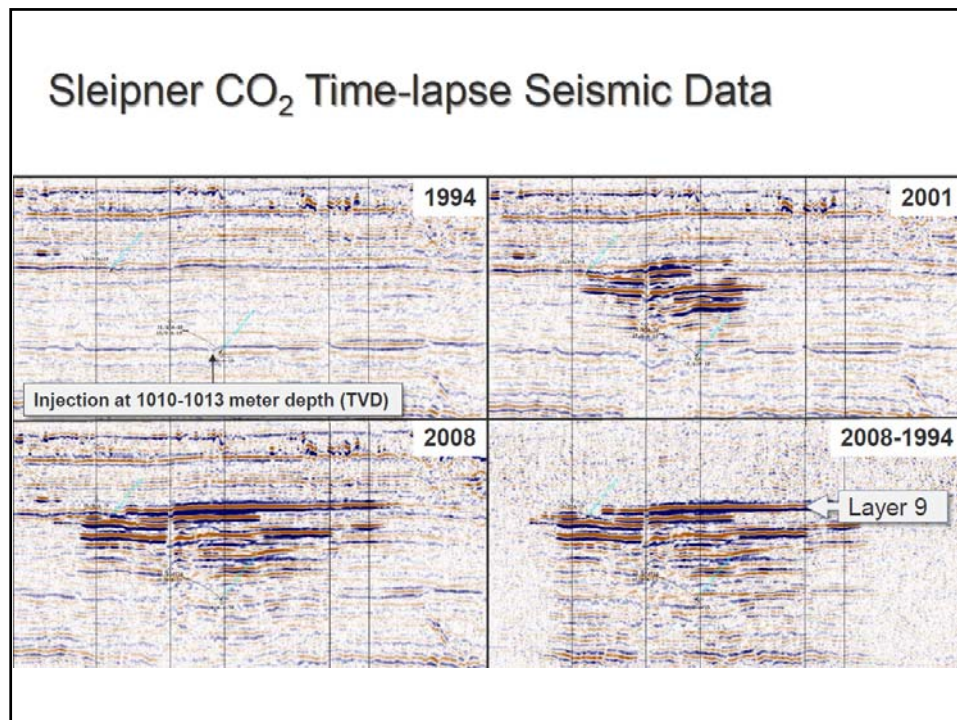
Sleipner Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project

Company/Alliance: Statoil
Location: Norway, North Sea
Start Date: 1996
Size: 0.9 Mt/yr
CO₂ Source: Gas processing
Storage: Utsira Formation. A deep saline reservoir 800-1000 meters (2600-3300ft) below the sea floor
Motivation/Economics:
 The Sleipner CO₂ gas processing and capture unit was built in order to evade the 1991 Norwegian CO₂ tax. Sleipner obtains CO₂ credit for the injected CO₂ and does not pay the tax.
Comments:
 Sleipner was the world's first commercial CO₂ storage project. The natural gas produced from the Sleipner West field contains up to 9% CO₂, however, in order to meet the required export specifications and the customer's requirements, this has to be reduced to a maximum of 2.5%. The CO₂ is removed from the produced hydrocarbons at an offshore platform before being pumped back into the ground and the hydrocarbons piped to land. Had this process not been adopted, and the CO₂ produced been allowed to escape to the atmosphere, the licensees of the Sleipner West field would have had to pay NOK 1 million/day in Norwegian CO₂ taxes. In May 2008 Statoil had stored over 10 million tons of CO₂. There is no evidence of CO₂ leakage and the CO₂ remains in situ. CO₂ capture is done using amine technology. Injection currently costs \$17 US/Ton CO₂.
 The Utsira Formation is a 200-250 meters thick massive sandstone. It is estimated that the Utsira Formation is capable of storing 600 billion tons of CO₂. 3D seismic monitoring of the CO₂ injection into the Utsira Formation shows that there is no leakage of the CO₂ into other horizons.
Project Link: Sleipner Project website
Other Sources and Press Releases:
 Statoil website
 Statoil wins leadership in new energy award (July 2015)
 Successful CO₂ storage in Utsira Formation (March 2009)
 Storing 10 million tonnes of CO₂ (May 2006)
 Geophysical monitoring of the CO₂ plume at Sleipner [PDF] (February 2004)
 Date Modified August 12, 2015
 Please send any comments, additions or corrections to csi@mit.edu

Sleipner
 Knowledge sharing in CCS projects - Workshop Mobile, Alabama
 Sveinung Hagen and colleagues - Statoil
 May 16 and 17 - 2012





- Επίσης στις ΗΠΑ στην ανθρακική μονάδα Warrior Run 150 τόνοι CO₂ απομονώνονται ημερησίως σε στήλες απορρόφησης μονοαιθανολαμίνης (ΜΕΑ) και χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία

Summary of CO ₂ Capture Facilities Operating in 2009			
CO ₂ Source/Project Name	Location	Capture Rate (tons/year)	CO ₂ End Use
Post-Combustion Capture from Pulverized Coal-Fired Electric Power Plants			
AES Warrior Run Power Plant	Cumberland, MD, USA	120,000	Food/Beverage
AES Shady Point Power Plant	Panama, OK, USA	73,000	Food/Beverage
Searles Valley Minerals	Trona, CA, USA	300,000	Soda Ash Production
CO₂ Capture from Coal Gasification			
Great Plains Synfuels Plant	Beulah, ND, USA	2,000,000	Enhanced Oil Recovery
CO₂ Capture from Oxygen-Fired Coal Combustion			
Vattenfall Schwarze Pumpe Plant	Germany	75,000	Various Industrial
Post-Combustion Capture from Natural Gas-Fired Facilities			
Sumitomo Chemicals Plant	Japan	60,000	Food/Beverage
Prosint Methanol Production Plant	Brazil	30,000	Food/Beverage


CO ₂ Capture for Natural Gas Reforming			
Indian Farmers Fertilizer Co.	India	600,000	Manufacturing
Petronas Fertilizer	Malaysia	55,000	Urea Production
Ruwais Fertilizer Industries	UAE	145,000	NR*
Luzhou Natural Gas Chemicals	China	55,000	Urea Production
CO₂ Capture from Natural Gas Production			
Snohvit LNG Project	Norway	700,000	Geologic Storage
Sleipner West Field	Norway	1,000,000	Geologic Storage
In Salah Natural Gas Production	Algeria	1,200,000	Geologic Storage
Shute Creek Natural Gas Processing	La Barge, WY, USA	4,000,000	Enhanced Oil Recovery
Val Verde Natural Gas Plants	Terrell/Pyros, TX, USA	1,400,000	Enhanced Oil Recovery
DTE Turtle Lake Gas Processing	Ostego, MI, USA	200,000	Enhanced Oil Recovery / Geologic Storage
<small>*NR - Not Reported Material obtained from "Report of the Interagency Task Force on Carbon Capture and Storage," August 2010. Available at: http://fossil.energy.gov/programs/sequestration/ccstf/CCSTaskForceReport2010.pdf.</small>			

MYBROADBAND
TRUSTED IN TECH

NEWS PRESS OFFICE BREAKING NEWS FORUM CLASSIFIEDS INDUSTRY NEWS DEALS SPEED TEST Q

The world's first carbon removal through direct air capture plant

Staff Writer 16 October 2017 69 Comments



173 shares

The world's first commercial direct air capture (DAC) plant, which removes carbon dioxide from the air, has gone live in Switzerland.

Climeworks is behind the plant, which is part of the CarbFix2 project. It stores the air-captured CO2 permanently in basalt and will help reduce

<https://mybroadband.co.za/news/science/233341-the-worlds-first-carbon-removal-through-direct-air-capture-plant.html>

POLL

Are you going to buy an Xbox One X?

Yes

No

Vote

View Results

FOLLOW US

Facebook Twitter Google+ RSS YouTube Apple

Email address

Subscribe

RECOMMENDED

Don't send your Bitcoin Cash to Luno

Πως λειτουργεί:

- Η μονάδα Climeworks DAC συλλέγει CO₂ από τον αέρα.
- Το CO₂ συλλέγεται σε ένα φίλτρο.
- Το κορεσμένο φίλτρο θερμαίνεται από χαμηλής βαθμίδας απόβλητα παρακείμενης γεωθερμικής εγκατάστασης
- Το CO₂ απελευθερώνεται και δεσμεύεται σε νερό
- Το ανθρακούχο νερό διοχετεύεται με πίεση σε βάθος 700m
- Αντιδρά με το βασαλικό υπόβαθρο, δημιουργώντας σταθερές ορυκτές φάσεις
- Δημιουργείται έτσι μια μόνιμη και ασφαλής λύση αποθήκευσης CO₂

Τεχνολογίες Δέσμευσης CO₂

Οι **τεχνολογίες δέσμευσης CO₂** διακρίνονται ανάλογα με το στάδιο της διεργασίας στο οποίο απομονώνεται το CO₂ . Συνεπώς διακρίνονται σε:

α) Τεχνολογίες δέσμευσης μετά την καύση: το CO₂ διαχωρίζεται από ένα αέριο μίγμα αζώτου N₂ και O₂. Η πρακτική που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο διαχωρισμός με χημική απορρόφηση με χρήση αμινών σε στήλες απορρόφησης - αναγέννησης. Άλλες πρακτικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (διαχωρισμός με μεμβράνες) βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης τους

β) Τεχνολογίες δέσμευσης πριν από την καύση: εδώ το CO₂ απομονώνεται από αέριο μίγμα πλούσιο σε H₂ προϊόν εξαέρωσης άνθρακα ή αναμόρφωσης φυσικού αερίου σε υψηλή πίεση (15-40 bar). Εδώ, η επικρατέστερη τεχνική είναι ο διαχωρισμός από το κυρίως ρεύμα με διάφορες εναλλακτικές όπως φυσική απορρόφηση, απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης κτλ.,

γ) Καύση με υψηλή συγκέντρωση O_2/CO_2 : η

τεχνολογία αυτή βασίζεται στο διαχωρισμό του N_2 από τον αέρα καύσης και στην καύση με O_2 αντί για αέρα έχοντας ως αποτέλεσμα καυσαέριο που αποτελείται από CO_2 και H_2O .

δ) Καινοτόμες εφαρμογές: σημαντική προσπάθεια καταβάλλεται στην ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών δέσμευσης CO_2 όπως η καύση με τον μηχανισμό χημικής ανάδρασης (Chemical Looping Combustion), η οποία στηρίζεται στην χρήση οξειδίων διαφόρων μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται ως φορείς οξυγόνου και μεταφέρουν οξυγόνο από τον αέρα καύσης στο καύσιμο.

Τεχνολογίες Μεταφοράς CO₂

Για την μεταφορά του CO₂ από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους ταμειυτήρες αποθήκευσης υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά συστήματα:

α) μεταφορά με φορτηγά μεγάλης χωρητικότητας:

η πιο κοινή εναλλακτική λύση για μεταφορά προϊόντων με βάρος λιγότερο των πέντε τόνων εξαιτίας της αξιοπιστίας, της προσαρμογής και της ευελιξίας που παρέχει ο τρόπος αυτός,

β) με τραίνα: ειδικά προσαρμοσμένα βαγόνια

μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες CO₂ σε μεγάλες αποστάσεις,

γ) με βυτιοφόρα πλοία: κατάλληλος τρόπος για

θαλάσσια μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Το μεγάλο πλεονέκτημα εδώ είναι η οικονομική αποδοτικότητα αφού έτσι μπορούν να μεταφερθούν πολύ μεγάλες (38000-78000m³) ποσότητες CO₂,

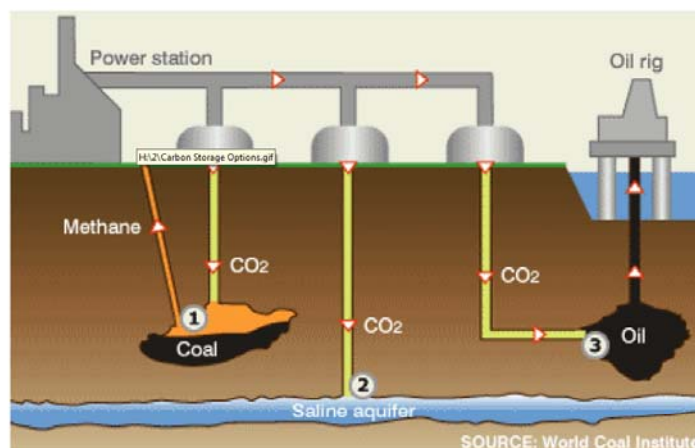
δ) με αγωγούς: με τον τρόπο αυτό μεταφέρεται CO₂ από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Από πολλούς εμπειρογνώμονες θεωρείται ως η πιο αποδοτική, οικονομικά, τεχνολογία για συνεχή μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων CO₂.

Τεχνολογίες Αποθήκευσης CO₂

Εισαγωγή CO₂ σε ταμειυτήρες πετρελαίου για την βελτίωση της ανάκτησης του, έλαβε χώρα για πρώτη φορά την δεκαετία του '70 στις Η.Π.Α.

Οι πιο σημαντικοί γεωλογικοί χώροι υπόγειας αποθήκευσης είναι:

- αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου (EOR)
- αποθήκευση σε ταμιευτήρες πετρελαίου / φυσικού αερίου που ήδη έχουν εκκενωθεί και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους
- αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάνθρακα (ECBMR)
- αποθήκευση σε ωκεανούς μέσω αγωγού ή μέσω βυτιοφόρου πλοίου
- αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης (mineralization)



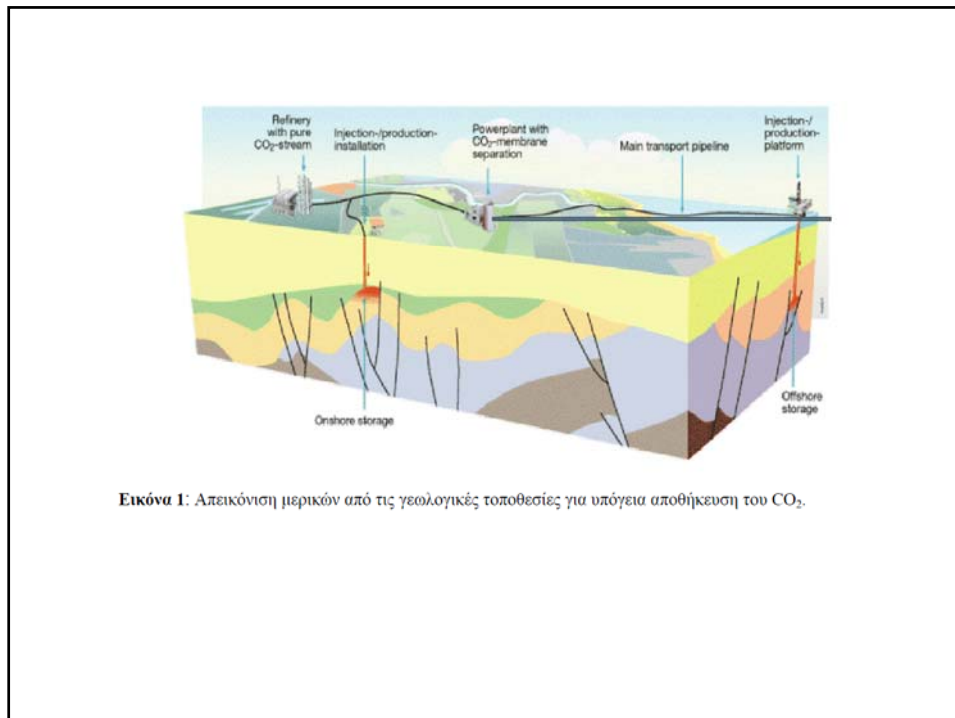
Εικόνα 2-1. Υπόγεια αποθήκευση σε ταμιευτήρες πετρελαίου, φυσικού αερίου και αλατούχου υδροφόρου ορίζοντα

Οι ταμειυτήρες αποθήκευσης CO₂ θα πρέπει

- να διαθέτουν μεγάλη χωρητικότητα
- να παρέχουν και ένα αποδεδειγμένα ασφαλές και σίγουρο περιβάλλον αποθήκευσης.

Η ιδέα της υπόγειας αποθήκευσης σε ταμειυτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου ενισχύεται από το πλεονέκτημα της γνωστής γεωλογικής μορφολογίας

- αποτελούνται από πορώδη πετρώματα,
- έχουν συνήθως σχήμα θόλου και
- περικλείονται από τέτοια πετρώματα τα οποία απαγορεύουν την μετακίνηση του αερίου σε οποιαδήποτε κατεύθυνση έτσι ώστε να μην υπάρχει διαρροή προς την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1: Απεικόνιση μερικών από τις γεωλογικές τοποθεσίες για υπόγεια αποθήκευση του CO₂.

Χωρητικότητα των ταμιευτήρων (σε Gt CO₂)

- υδροφόροι ορίζοντες ~ 400 – 10000
- ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου ~ 473 -1152
- στρώματα κοιτασμάτων μη εξορυγμένου γαιάνθρακα ~ 5 – 267

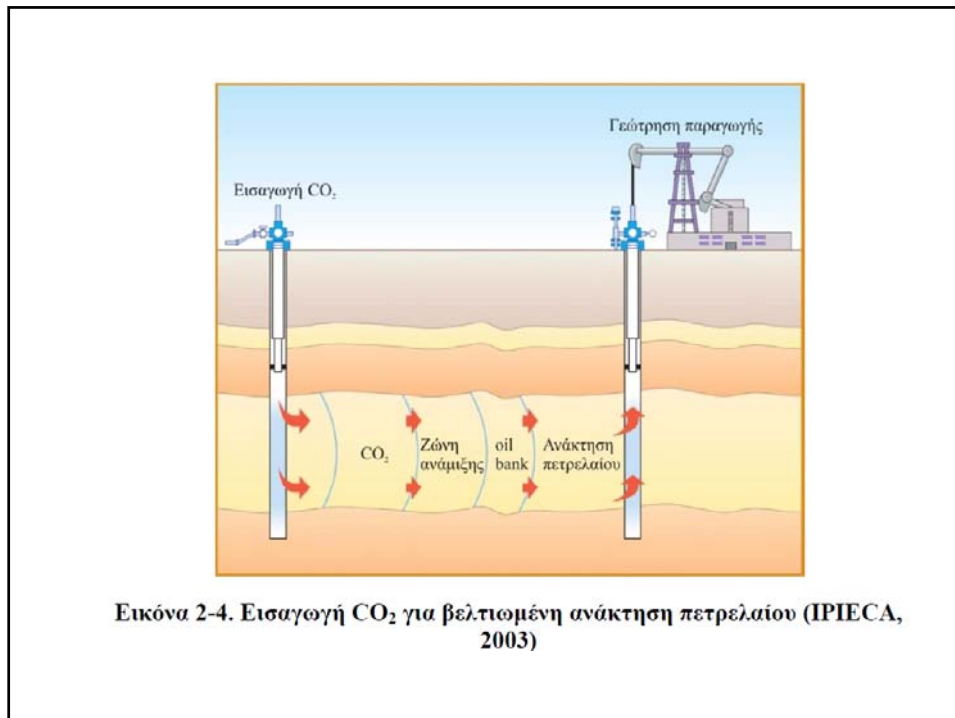
Οι εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα παγκοσμίως υπολογίζονται, γύρω στους 24 Gt τον χρόνο με αυξανόμενη τάση

Πίνακας 1. Χρησιμότητα γεωλογικών ταμιευτήρων για αποθήκευση του CO₂ παγκοσμίως

	Turkenburg 1999	Hendriks 1994	IPCC 2001/ ARC 2000	Stevens 2000	ECOFYS, TNO 2004
Κοιτάσματα πετρελαίου	500-1800	385	370	126	242
Κοιτάσματα φυσικού αερίου		1500	1500	800	910
ECBM	na	na	150	na	267
Υδροφόροι ορίζοντες	na	200	4000	na	247

Αποθήκευση σε ενεργούς ταμιευτήρες πετρελαίου (EOR, Enhanced Oil Recovery)

- Σε ταμιευτήρες που έχουν σχεδόν εκκενωθεί ή σε ταμιευτήρες πετρελαίου υψηλού ιξώδους.
- Τεχνική που έχει την δυνατότητα όχι μόνο να αυξάνει την ανάκτηση του πετρελαίου αλλά να αποθηκεύει στον ταμιευτήρα και την ποσότητα του CO₂ που χρησιμοποιείται.



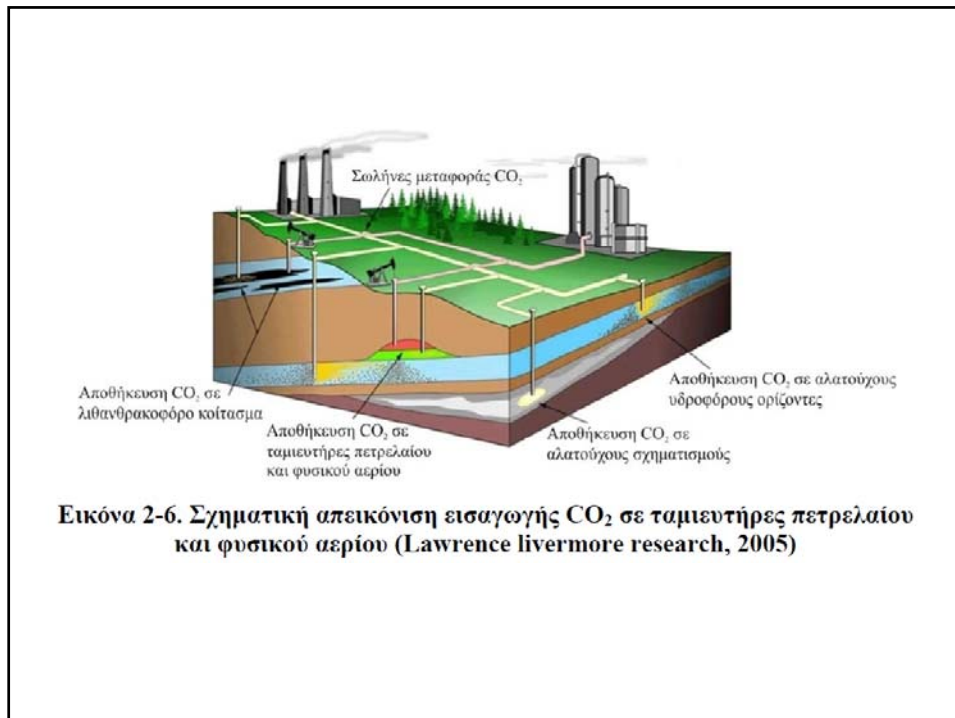
- CO₂ σε υπερκρίσιμη κατάσταση ($P > 7.38 \text{ MPa}$ και $T > -60^\circ\text{C}$)
- αύξηση της κινητικότητας του πετρελαίου και έχει ως αποτέλεσμα την πιο εύκολη ανάκτηση του.
- Ένα ποσοστό του εισαγόμενου CO₂ θα ανακτηθεί πάλι μαζί με το πετρέλαιο, θα διαχωριστεί απ' αυτό με την κατάλληλη διεργασία και θα εισαχθεί και πάλι στον ταμειυτήρα.

Διεργασίες EOR: CO₂ αναμίξιμο ή όχι

- CO₂ αναμιγνύεται με το ακατέργαστο πετρέλαιο → διόγκωση → μείωση ιξώδους ενώ παράλληλα αυξάνει ή διατηρεί την πίεση του ταμειυτήρα. Το πετρέλαιο κυκλοφορεί πιο ελεύθερα προς τον αγωγό απ' όπου και θα γίνει η ανάκτηση του.
- CO₂ χρησιμοποιείται για να αυξήσει την πίεση του ταμειυτήρα στα αρχικά του στάδια και να παρασύρει το ακατέργαστο πετρέλαιο προς τον αγωγό ώστε να ανακτηθεί με μεγαλύτερη ευκολία (τριτογενής εξόρυξη, αύξηση παραγωγής 10% με 15%)

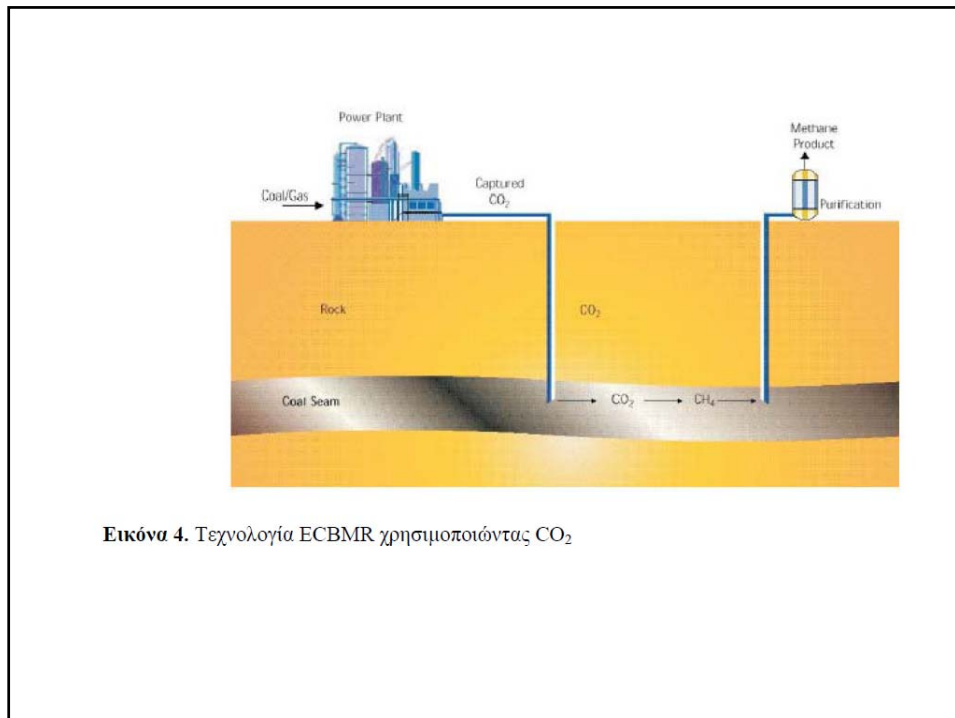
Αποθήκευση σε κενούς ταμειυτήρες πετρελαίου / φυσικού αερίου και σε αλατούχους υδροφόρους ορίζοντες μεγάλου βάθους

- Η πιο ελπιδοφόρα επιλογή αποθήκευσης στο προσεχές μέλλον.
- Οι αλατούχοι υδροφόροι ορίζοντες έχουν τη μέγιστη δυνατότητα αποθήκευσης του CO₂, αφού οι ταμειυτήρες αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι και έχουν την μεγαλύτερη χωρητικότητα.



Αποθήκευση σε κοιτάσματα μη εξορυγμένου γαιάθρακα (ECBMR, Enhanced Coal-bed Methane Recovery)

- CO₂ εισάγεται σε κοιτάσματα άνθρακα → απορροφάται στις επιφάνειες των στρωμάτων άνθρακα → ελευθερώνει μεθάνιο → ανάκτηση ως ελεύθερο αέριο.
- Πλεονέκτημα: τα κοιτάσματα αυτά μπορούν να αποθηκεύσουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες CO₂ από τον ισοδύναμο όγκο ενός συμβατικού ταμιευτήρα λόγω του ότι ο άνθρακας έχει μεγαλύτερες περιοχές επιφάνειας.



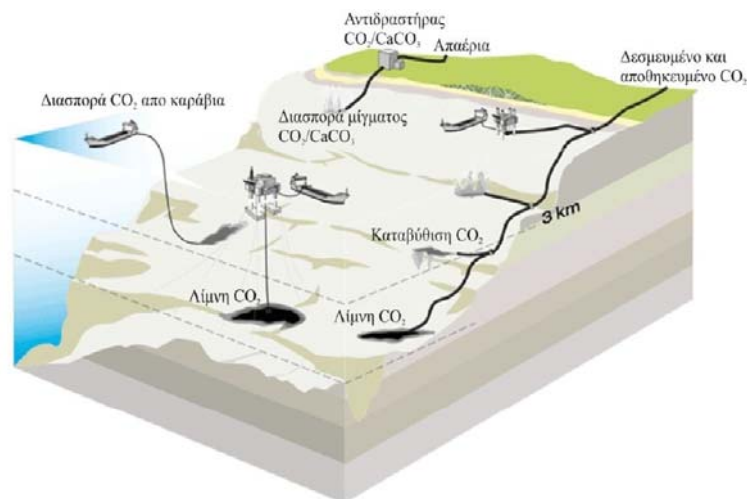
Εικόνα 4. Τεχνολογία ECBMR χρησιμοποιώντας CO₂

Αποθήκευση σε ωκεανούς

- Το CO₂ είναι διαλυμένο στο νερό των ωκεανών, ενώ οι ωκεανοί και απορροφούν αλλά και εκπέμπουν CO₂ μέσω φυσικών διαδικασιών.
- Το CO₂ μπορεί να εισαχθεί μέσω μίας συσκευής διάχυσης σε βάθη 1.000 έως 2.000 m.
- Από τα βάθη αυτά, το εισαγόμενο νέφος σταγονιδίων του CO₂ ανέρχεται προς την επιφάνεια και διαλύεται στο νερό προτού φτάσει σε βάθος 500 m όπου τα σταγονίδια παίρνουν πλέον μορφή φυσαλίδων οι οποίες θα φτάσουν στην επιφάνεια.

Αποθήκευση σε ωκεανούς

- Πειράματα σε εργαστήρια έχουν δείξει ότι μία ταινία ένυδρων ουσιών (hydrate film) μπορεί διαμορφωθεί γύρω από τα σταγονίδια του CO_2 καθιστώντας τα βαρύτερα από το νερό της θάλασσας με αποτέλεσμα να τα ωθεί στον πυθμένα.
- Έτσι το CO_2 μπορεί να εισαχθεί σε βάθη μεγαλύτερα από 3.000 m, οπότε σε αυτή την περίπτωση το υγρό CO_2 θα γίνει βαρύτερο από το νερό της θάλασσας και θα βυθιστεί στον πυθμένα δημιουργώντας μία λίμνη, όπου και θα παραμείνει



Εικόνα 2-7. Σενάρια εισαγωγής διοξειδίου του άνθρακα σε ωκεανούς.

Sink It in the Ocean?

Two ocean carbon **strategies** are being considered.

One is to **injecte carbon dioxide directly into the deep sea**, and the other is **to fertilize the ocean with iron**, which will increase its uptake of atmospheric carbon dioxide.

Direct injection involves separating carbon dioxide from the flue gas produced by power plants, compressing and liquefying it, and then pumping it into the ocean.

If the injection site is deep enough, carbon dioxide will sink and perhaps form a “lake” at the bottom of the ocean.

One concern about this approach, says Caldeira, is that the pH level of such a lake would make the deep ocean environment more acidic.

“If we continue consuming fossil fuels without doing anything at all,” Caldeira says, “the ocean—particularly its upper layer—will become more acidic than it has been in millions of years.

That change is bound to affect corals and other marine life near the surface of the ocean.

By piping it down deep, we might protect this biosystem to some extent, but how the increased acidity will affect the lower depths of the ocean has yet to be determined.”

from: <https://www.llnl.gov/str/May04/Caldeira.html>

Sink It in the Ocean?

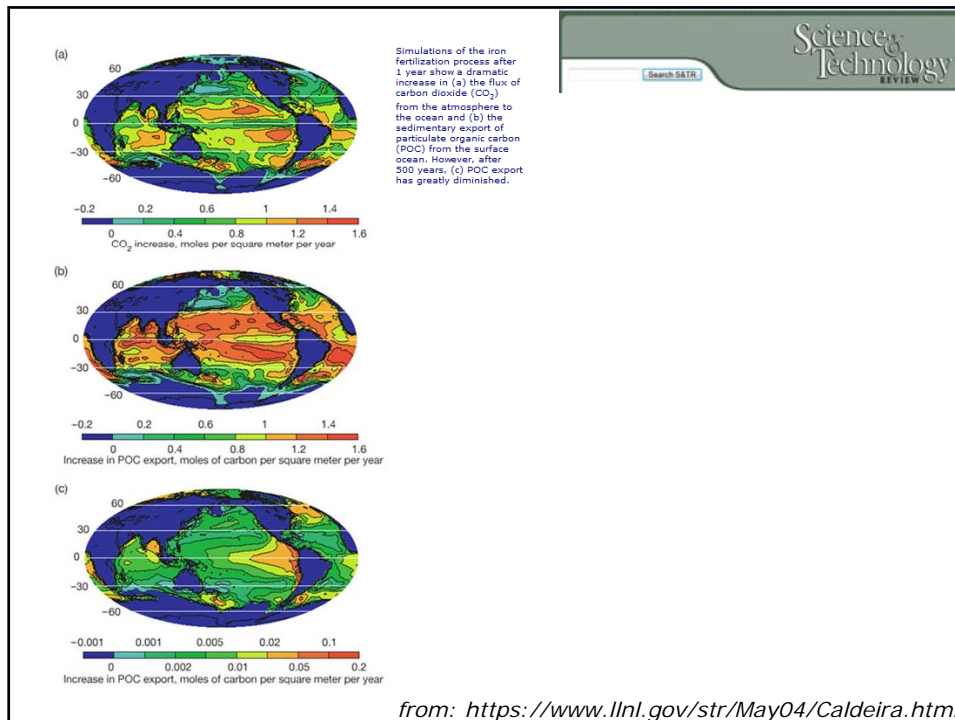
The other major approach to ocean sequestration involves **fertilizing the ocean with iron**.

Adding nutrients such as iron to the surface of the ocean can stimulate the growth of phytoplankton, which would take up additional carbon from the atmosphere as well.

When these plants and the animals that eat them reach the end of their lifecycles and die, they—and the carbon inside them—would eventually drift down into the ocean’s depths.

Carbon dioxide from the atmosphere would then enter the surface ocean to replace some of the carbon that sinks.

from: <https://www.llnl.gov/str/May04/Caldeira.html>



Limestone May Help

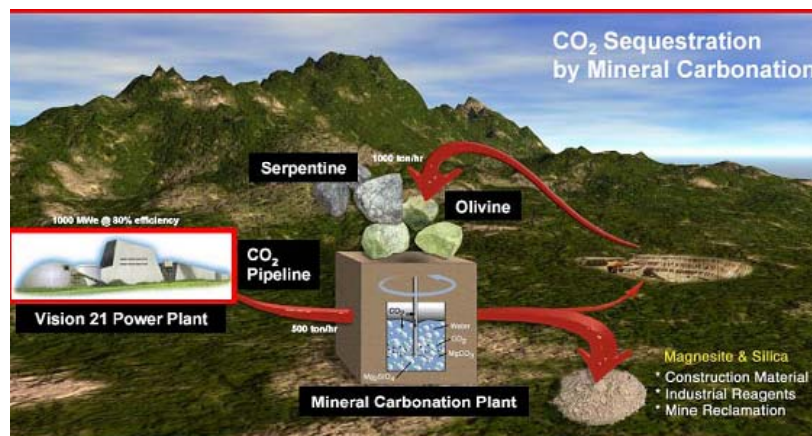
In research funded by Livermore's Laboratory Directed Research and Development Program, Livermore geochemist Kevin Knauss worked with Greg Rau of the University of California at Santa Cruz to address the pH problem. One solution may be to use common limestone in a technique called enhanced carbonate dissolution. This process involves hydrating carbon dioxide from power plant flue gas with water to produce a carbonic acid solution. The solution is then mixed with crushed limestone, which neutralizes the carbon dioxide by converting it to a calcium bicarbonate solution that can be released into the ocean. This process converts the carbon dioxide to a form that does not readily exchange with the atmosphere and that causes a less drastic change to the ocean's pH. The process occurs in nature through carbonate weathering, but at a much slower pace than envisioned in this enhanced version.

According to Rau, the carbonate dissolution process also might expand the capacity of the ocean to store carbon dioxide and minimize the amount of carbon escaping to the atmosphere. Another benefit is that the process would add calcium and bicarbonate to the ocean, which would enhance the growth of corals and other calcifying marine organisms.

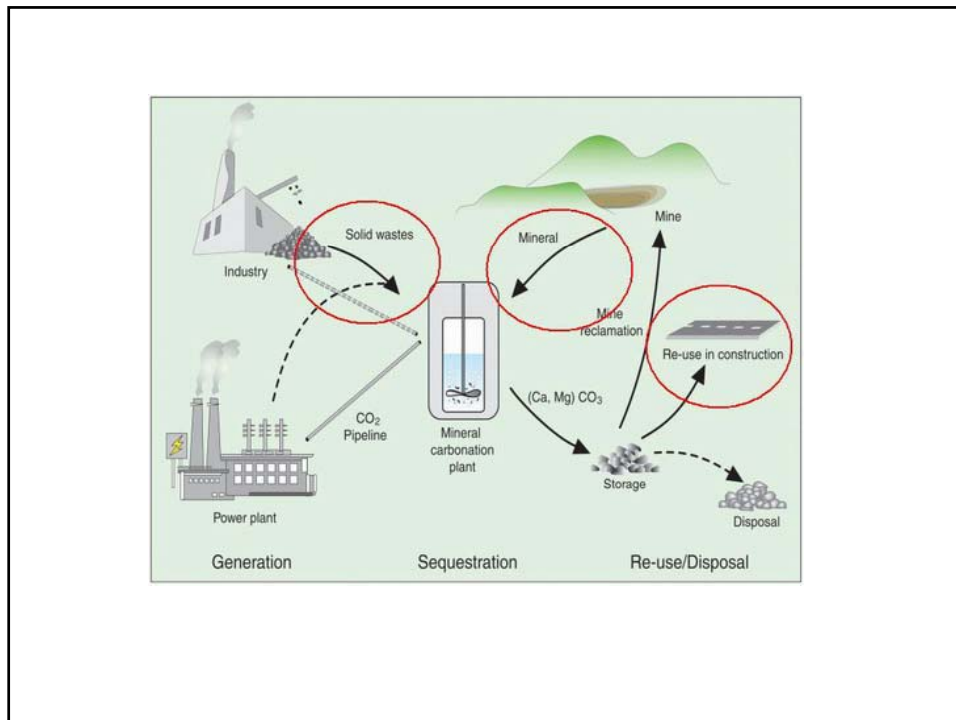
from: <https://www.llnl.gov/str/May04/Caldeira.html>

Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης

- Μία νέα πολλά υποσχόμενη μέθοδος με την οποία το CO₂ αποθηκεύεται υπό μορφή ανθρακικών ορυκτών.
- Η αντίδραση του CO₂ με οξειδία ώστε να σχηματιστούν ανθρακικά ορυκτά όπως μαγνησίτης ή ασβεστίτης είναι εξώθερμη.
- Πετρώματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ορυκτοποίηση του CO₂ είναι υπερβασικά πετρώματα πλούσια σε Mg όπως δουνίτες, περιδοίτες και σερπεντινίτες.



Mineral CO₂ sequestration (NETL, 2001)

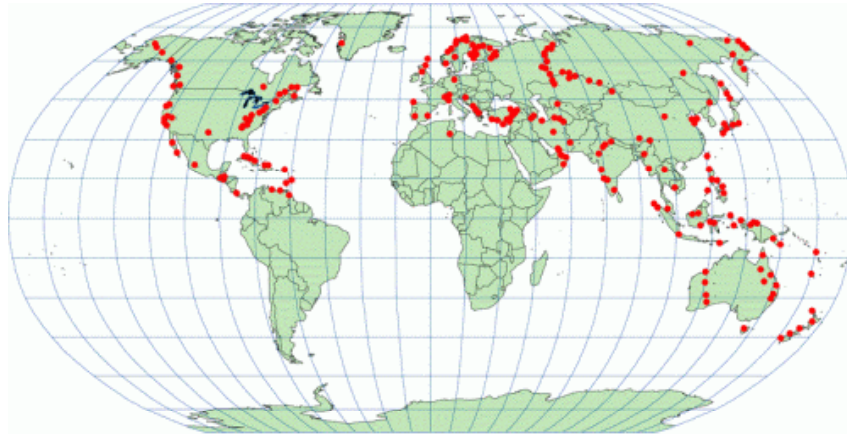


Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης

- Τέτοιες αντιδράσεις εμφανίζονται στα γεωλογικά χρονικά διαστήματα.
- Οι μελέτες επικεντρώνονται ώστε να επιταχυνθεί το φυσικό ποσοστό αντίδρασης με αποτέλεσμα να μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη η αποθήκευση CO₂ ως στερεό ορυκτό ανθρακικό άλας.
- Τα ανθρακικά άλατα είναι σταθερά θερμοδυναμικά και δεν μπορούν να απελευθερώσουν τις ποσότητες του CO₂.

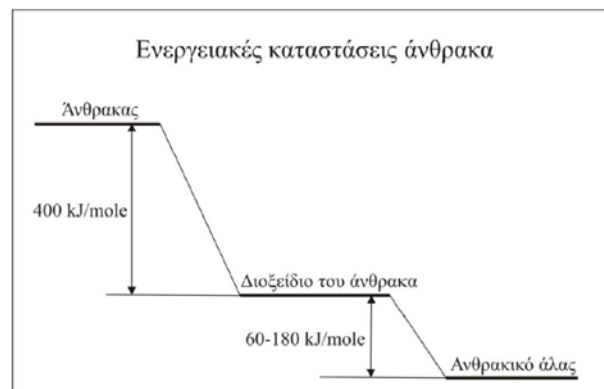
Αποθήκευση μέσω ορυκτοποίησης

- Η αποθήκευση του CO₂ στα ορυκτά είναι πιθανή και ασφαλέστερη από άλλες τεχνολογίες σε υπόγειους ταμιευτήρες ή σε ωκεανούς.
- Τα οξείδια ασβεστίου και μαγνησίου που απαιτούνται για τη διαμόρφωση των σταθερών ορυκτών ανθρακικών αλάτων είναι διαθέσιμα στη φύση σε μεγάλες ποσότητες.



World-wide distribution of magnesium-rich ultramafic rocks (Los Alamos National Laboratory)

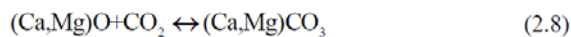
Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2-8, η χημική μετατροπή σε μία κατάσταση θερμοδυναμικά χαμηλότερη είναι επιθυμητή και εφικτή. Το CO_2 είναι η άνυδρη μορφή (anhydrous form) του ανθρακικού οξέως και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει ασθενέστερα οξέα όπως το πυριτικό οξύ (silicic acid). Θερμοδυναμικά το CO_2 μπορεί να δεσμευθεί ως ανθρακικό άλας (carbonate). Σε αρκετές περιπτώσεις αυτά τα ανθρακικά άλατα διαλύονται στο νερό, αλλά μερικά όπως τα ανθρακικά ορυκτά του μαγνησίου και του ασβεστίου, είναι εντυπωσιακά σταθερά ως στερεά. Συνεπώς μέσω της ορυκτολογικής δέσμευσης μπορούν να αποθηκευτούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 2-8. Ποιοτική απεικόνιση της θερμοδυναμικής σταθερότητας των ανθρακικών μορφών του άνθρακα (U.S.DOE.)

Η ορυκτολογική δέσμευση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στο υπέδαφος είτε σε βιομηχανίες. Στην πρώτη διαδικασία, το CO₂ εισάγεται μέσα στο υπέδαφος σε ορυκτά κοιτάσματα (πορώδη πετρώματα τα οποία περιέχουν πετρώματα μαγνησίου και ασβεστίου) για ενανθράκωση (επί τόπου ενανθράκωση). Σε σύγκριση με την αποθήκευση σε ταμειυτήρες πετρελαίου, φυσικού αερίου και υδροφόρου ορίζοντα, η υπόγεια αποθήκευση σε ορυκτά είναι μία μόνιμη αποθήκευση CO₂ γιατί τα αποτελέσματα αυτής της διεργασίας είναι χημικά σταθερά ανθρακικά άλατα. Η αντίδραση μπορεί να βοηθηθεί από φυσικές υψηλές πιέσεις (λόγω των υπερκείμενων πετρωμάτων) και μπορεί να προχωρήσει πιο γρήγορα από την ορυκτή αποσάθρωση – διάβρωση στην επιφάνεια της γης. (Park, 2005).

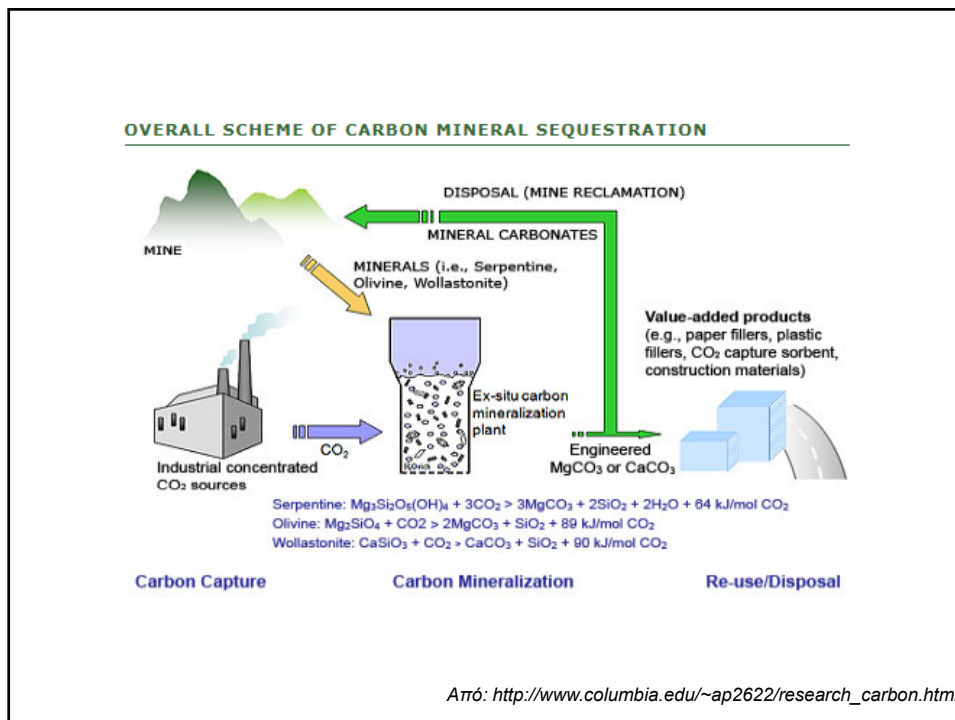
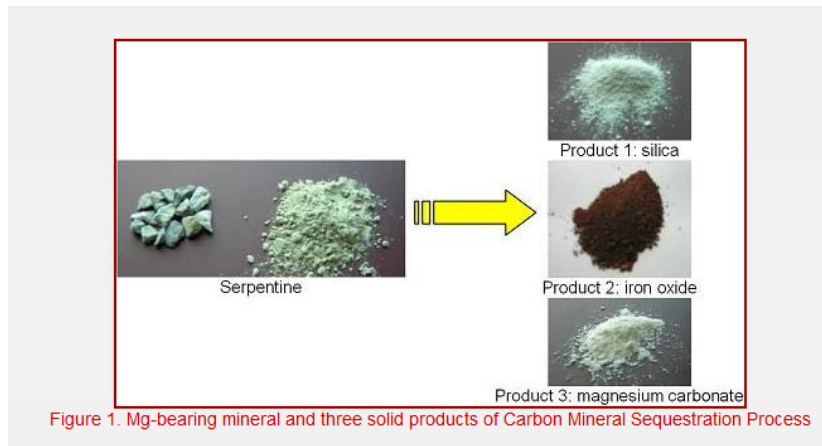
Η βασική αρχή της δέσμευσης του CO₂ με τη μορφή των ανθρακικών ορυκτών είναι η επιτάχυνση των διεργασιών που συμβαίνουν στη φύση. Λόγω αυτών των διεργασιών, ελαττώνεται η υψηλή συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Σε αυτές τις διεργασίες το CO₂ αντιδρά με ασβεστούχα ή/και μαγνησιούχα ορυκτά και δεσμεύεται μόνιμα. Η συγκεκριμένη διεργασία μπορεί να αποδοθεί βάσει της απλοποιημένης αντίδρασης (2.8).

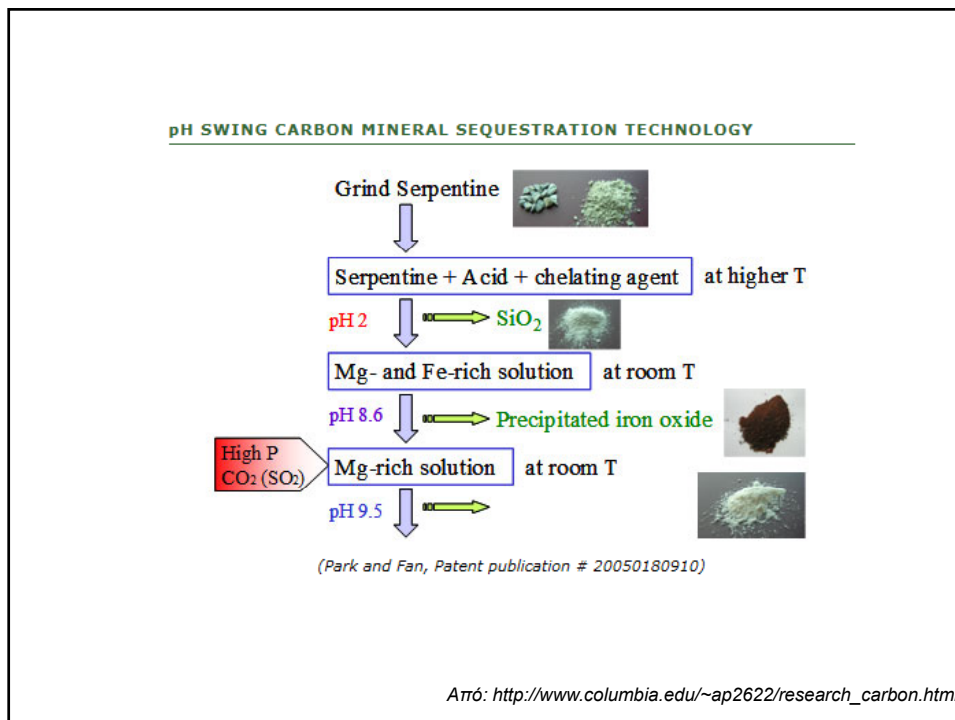
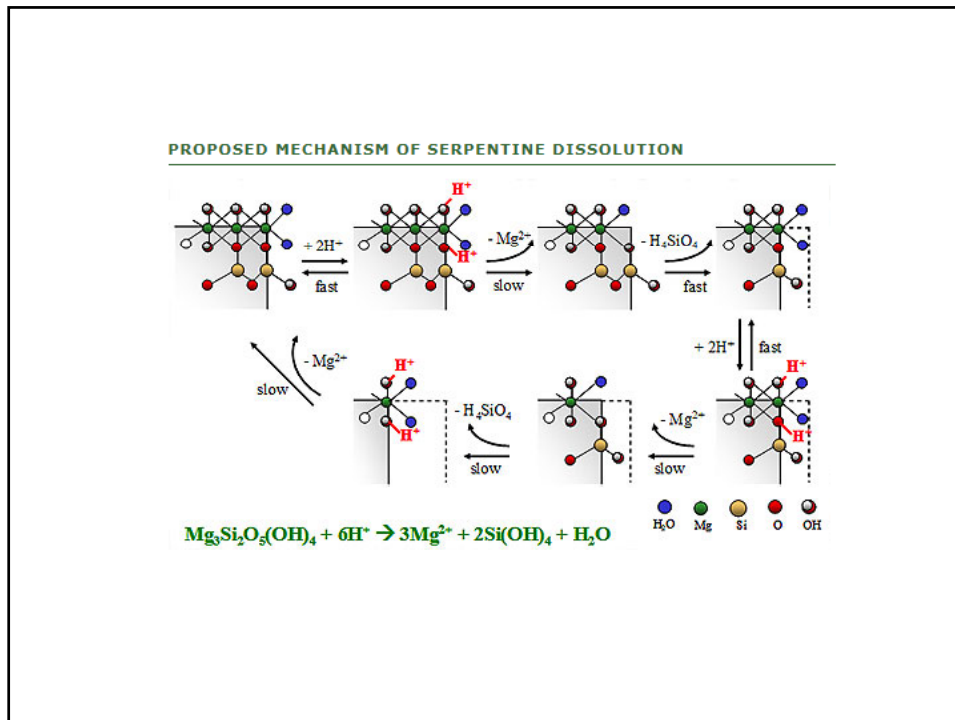


Το κύριο πλεονέκτημα της δέσμευσης του CO₂ από ορυκτά είναι η θερμοδυναμική σταθερότητα των σχηματιζόμενων ανθρακικών ορυκτών, η οποία εγγυάται μια ασφαλή αποθήκευση.

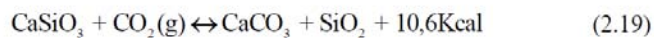
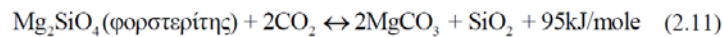
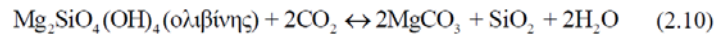
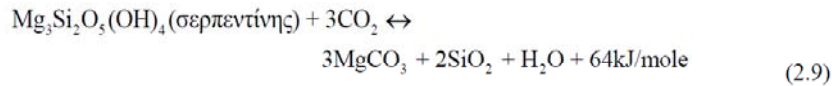
- Ολιβίνης και σερπεντίνης αποτελούν τους ιδανικούς υποψήφιους.
- Όταν είναι όξινος ο διαλύτης που χρησιμοποιείται για την ενανθράκωση των ένυδρων ορυκτών, η συνολική διεργασία περιορίζεται λόγω του ρυθμού διάλυσης του CO₂ και της αποδόμησης του ανθρακικού οξέως παρά εξαιτίας του ρυθμού διάλυσης του ορυκτού.
- Η μηχανική ανάδευση διαμέσου της εσωτερικής κονιοποίησης από μόνη της δεν βελτιώνει τη διάλυση του σερπεντίνη, ενώ ο συνδυασμός της με έναν διαλύτη Mg οδηγεί σε ταχεία διάλυσή του.
- Χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο σχήμα που βασίζεται στο pH η συνολική μετατροπή της ορυκτοποίησης βελτιώθηκε δραστικά.

- Ελέγχοντας το pH του συστήματος δημιουργούνται τρία στερεά προϊόντα:
 - SiO₂-rich solids,
 - iron oxide και
 - MgCO₃·3H₂O.
- Καθώς η καθαρότητα των δύο τελευταίων είναι αξιοσημείωτη, αυτά τα προϊόντα στα οποία προστίθεται αξία μπορούν να επιφέρουν περαιτέρω μείωση του συνολικού κόστους της διεργασίας δέσμευσης του CO₂.
- Επιπρόσθετα, βρέθηκε ότι το πλούσιο σε Mg διάλυμα ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην απομάκρυνση SO₂ από αέρια καπνοδόχων.
- Υπάρχει λοιπόν μια σημαντική δυναμική αυτής της διεργασίας για ένα πολύπλευρο φάσμα του συστήματος ελέγχου μόλυνσης.





Αντιδράσεις ενανθράκωσης μαγνησιούχων και ασβεστούχων πυριτικών ορυκτών



Advantages

The major advantages of CO₂ sequestration by mineral carbonation are:

Long Term Stability - Mineral carbonation is a natural process that is known to produce environmentally safe and stable material over geological time frames. The production of mineral carbonates insures a permanent fixation rather than temporary storage of the CO₂, thereby guaranteeing no legacy issues for future generations.

Vast Capacity - Raw materials for binding the CO₂ exist in vast quantities across the globe. Readily accessible deposits exist in quantities that far exceed even the most optimistic estimate of coal reserves (~10,000 □□109 tons).

Potential to be Economically Viable - The overall process is exothermic and, hence, has the potential to be economically viable. In addition, its potential to produce value-added by-products during the carbonation process may further compensate its costs. At a single site and scale that is consistent with current industrial practice, the process can handle the output of one to several large power plants. It is directly applicable to advanced power plants such as zero-emissions Vision 21 system configurations being developed by DOE's Fossil Energy Program or to existing power plants, thereby providing an additional degree of flexibility for future implementation.

http://www.powerplantccs.com/ccs/sto/nc/min/advantages_disadvantages.html

Disadvantages

- Carbonation plant must be at the site of the mine due to the large volumes of material required.
- Volumes increase upon carbonation so in order to store the newly formed carbonates back in the mine some terrain alteration will be necessary.
- Extensive mining operations necessary, which will have environmental impact.
- There is the potential for asbestos to be present in the mineral deposit.
- Must be able to deal with ore impurities

http://www.powerplantccs.com/ccs/sto/nc/min/advantages_disadvantages.html

Carbon dioxide sequestration in deep-sea basalt

David S. Goldberg*, Taro Takahashi, and Angela L. Slagle

Lamont-Coherty Earth Observatory, 61 Route 9W, Palisades, NY 10964

Contributed by William S. Brackley, Lamont-Coherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY, May 7, 2008 (received for review April 13, 2008)

Developing a method for secure sequestration of anthropogenic carbon dioxide in the geologic formation is one of our most pressing global scientific problems. Injection into deep-sea basalt formations provides unique and significant advantages over other potential geological storage options, including (i) vast reservoir capacities sufficient to accommodate centuries-long U.S. production of fossil fuel CO₂ at locations within pipeline distances to populated areas and CO₂ sources along the U.S. west coast; (ii) sufficiently closed water-rock circulation pathways for the chemical reaction of CO₂ with basalt to produce stable and non-toxic Ca²⁺, Mg²⁺, and Fe²⁺ silicate minerals; and (iii) significant risk reduction for post-injection leakage by overplating, geostabilization, and hydrate-trapping mechanisms. CO₂ sequestration in established and/or newly formed basalt aquifers on the East of Asia plate offers promising locations to securely accommodate more than a century of future U.S. emissions, increasing emerging scientific research, technological assessment, and economic evaluation to establish a viable pilot injection program in the future.

Climate change | ocean acidification | climate mitigation | basalt | basalt aquifer | energy

In recent years, the debate over the most effective means to stabilize greenhouse gas concentrations in the atmosphere has been focused on a single solution but has undergone multiple approaches to this global problem that require a variety of technologies (1–5). In its latest report on carbon capture and storage, the International Panel on Climate Change (1) noted that geological storage of industrial CO₂ emissions can contribute significantly to achieving a stable solution over the next several decades. Among geological storage techniques, CO₂ injection into deep saline aquifers, or its sequestration into depleted oil and gas reservoirs, has previously large storage capacity and geographic ubiquity (6–10). The effectiveness of these methods for CO₂ sequestration depends strongly on the reservoir capacity, reservoir seal, stability, and risk for leakage (11, 12). Gnanou et al. (13) discuss two primary trapping mechanisms for CO₂ injected into an aquifer: physical trapping and geochemical trapping. The first involves low permeability strata or stratigraphic seals that physically separate injected CO₂ from the surrounding reservoir. Geochemical trapping, such as adsorption of CO₂ on mineral surfaces, after combined trapping for physical trapping, and geochemical trapping (14), also known as mineral trapping, involves the reaction of CO₂ with basalt rocks and the formation of stable minerals such as carbonates under sea water conditions. In some mineral carbonation of basalt rocks occur in a variety of well documented settings, such as hydrothermal alteration in volcanic settings (15), through weathering (16), and in deep-sea vent systems (16). These processes are commonly associated with mineralization in siliceous and mafic rocks exposed to seawater, the breakdown of silicate minerals, and the precipitation of carbonates. Seltzer (17) initially proposed the concept that Mg²⁺ and Ca²⁺ silicates undergoing these processes would be particularly suitable for the stable disposal of CO₂.

Deep-Sea Basalt and CO₂
Deep-sea basalt offers a unique environment for CO₂ sequestration that combines both vast volumes of seawater-filled pores

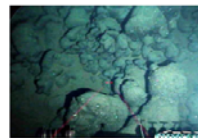


Fig. 1. Deep-sea basalt on the seafloor. Photograph of deep-sea basalt aquifer from the East of Asia plate. The East of Asia plate extends from about 40°N, 140°E to about 40°N, 170°E. The basalt aquifer is located about 1000 m below the seafloor. The nodules and fragments across the area, forming large irregularly shaped structures, range from 0.5–1.5 m in horizontal extent and 0.1–0.5 m in vertical extent.

and Mg/Ca silicate rocks (18). Within deep-sea basalt aquifers, the injected CO₂ mixes with seawater and reacts with basalt, both of which are rich in silicate-earth cations. The release of Ca²⁺ and Mg²⁺ ions from basalt will form stable carbonate minerals as reaction products (19, 20). Takahashi et al. (21) present a general geochemical model for mineral trapping in basalt. Recent laboratory experiments demonstrate the potential for rapid carbonate precipitation in both continental flood basalt (22). Dissolution and precipitation reactions in deep-sea basalt can proceed at fluid-filled fractures and pores at rates equal to or greater than measured in the laboratory (22, 23). Carbonate precipitation over time may also act as a piston and permeability within basalt aquifers, however, and thus progressively decrease the CO₂-basalt reaction rate to a finite limit. Although natural weathering processes in deep-sea basalt provide some evidence for the release of ions before or during basalt pore-filling carbonation, fractured and permeable basalt cores provide for the release of ions before or during basalt pore-filling carbonation (24). Land-based experiments provide some insight into their effects, but estimating the site-scale and accelerated effects, if any, of carbonate precipitation in basalt are difficult to predict without deep-sea CO₂ injection experiments. Maner et al. (25) conducted a small-scale injection experiment in mafic rocks to investigate the site-scale of reaction. Two processes, mixing between the injected solution and aquifer water and the release of cations from water-rock

interactions, were investigated. The authors discuss the results of their study.

The authors declare no conflict of interest.
This article contains supporting information online at www.pnas.org. DOI: 10.1073/pnas.0808071105

PNAS | July 22, 2008 | vol. 105 | no. 29

The injection of CO₂ in deep-sea basalt offers critical advantages for sequestration that warrant pressing investigation.

The injection of CO₂ into deep-sea basalt :

- facilitates the formation of stable carbonates retarding the return of CO₂ to the atmosphere,
- provides sufficient depth for denser CO₂ liquid to sink,
- blocks upward migration of acidified basement fluids with an impermeable sediment cover, and
- forms stable hydrate if CO₂ accidentally escapes to shallower depths with cooler water temperatures.

Further research for CO₂ sequestration in deep-sea basalt is essential and should aim toward a pilot injection study.

Important topics for ongoing research include:

- *in situ reaction* rates for dissolution of injected CO₂, carbonate precipitation rates and the resulting rates of change in permeability,
- competing and augmenting effects of alteration, and site-specific hydrological testing.

Only through further scientific investigation of these *in situ effects can we confidently determine the viability of* deep-sea basalt reservoirs such as the Juan de Fuca plate, which offers a geological option with potentially enormous capacity and highly secure CO₂ storage.

Η δέσμευση CO₂ σε ορυκτά απαιτεί εξόρυξη μεγάλης κλίμακας και τη χρήση φυσικών πρώτων υλών. Μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική είναι η χρήση αλκαλικών στερεών αποβλήτων σαν πηγή ασβεστίου ή και μαγνησίου. Παραδείγματα τέτοιων στερεών αποβλήτων είναι υπολείμματα καύσης ορυκτών καυσίμων (ιπτάμενη τέφρα), τέφρα από καύση αποβλήτων, σκουριά από παραγωγή χάλυβα ή κατάλοιπα βωξίτη. Οι πρώτες ύλες αυτές είναι διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες σε βιομηχανοποιημένες περιοχές και χρησιμοποιούνται εν μέρει στις κατασκευές. Πολλά από αυτά τα στερεά απόβλητα είναι πλούσια σε Ca, αλκαλικά και έχουν τη φυσική τάση να αντιδρούν με το CO₂.

Συμπεράσματα

- Οι τεχνολογίες απομόνωσης CO₂ αποτελούν κρίσιμο σημείο για την εξέλιξη των σταθμών παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων με μηδενικές εκπομπές.
- Εστίαση των ερευνών στην αντιμετώπιση των βασικών ζητημάτων που συνδέονται
 - ✓ με την γεωλογική αποθήκευση του CO₂ συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας ,
 - ✓ την σταθερότητα της υπόγειας αποθήκευσης
 - ✓ Τις περιβαλλοντικών επιπτώσεις από μία πιθανή διαρροή κάποιου υπόγειου ταμιευτήρα.

Συμπεράσματα

- Το περιβαλλοντικό αυτό πρόβλημα δεν αφορά μόνο το παρόν αλλά και τις μελλοντικές γενιές.
- Έχει σημαντικές κοινωνικές, οικονομικές, πολιτικές και ηθικές πτυχές.
- Πρόκειται, λοιπόν, για εξαιρετικά πολύπλοκο και παγκόσμιο ζήτημα και γι αυτό απαιτεί συντονισμένη δράση σε διεθνές επίπεδο.

CCS or CCU ?

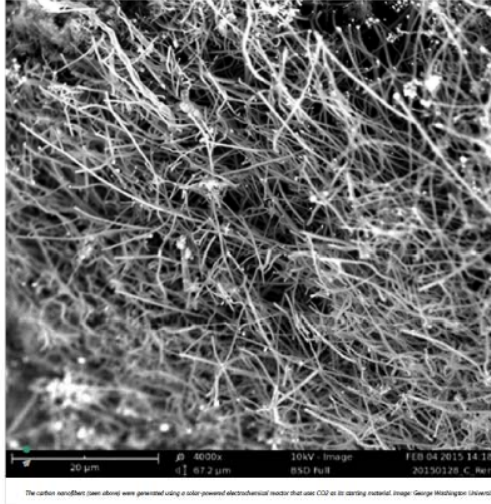
Carbon Capture and Storage or Carbon Capture and Utilization

- Passing carbon dioxide through slag left over from steel-making turns the waste product into a strong material that can be used for construction.
- Pumped into greenhouses, it provides a growing boost for crops.
- Put into tanks of algae, it can be used to make biofuels.
- Waste carbon dioxide can even be cleaned up to "food grade" and injected into fizzy drinks.

<http://www.guardian.co.uk/environment/2011/jul/25/carbon-capture-utilisation-economic-sense>

Researchers turn CO₂ seized from the air into valuable high-tech material

A team at George Washington University has found a way to hit two birds with one stone: mitigate climate change by pulling CO₂ from the atmosphere and make a valuable material at the same time. The solar-powered setup reacts a molten lithium carbonate in the presence of heat and an electrical current to produce carbon fibers, recently highly prized in engineering applications from cars and airplanes to wind turbines to tennis rackets.



The carbon nanofiber (seen above) were generated using a solar-powered electrochemical reactor that uses CO₂ as its starting material. Image: George Washington University

<https://www.zmescience.com/ecology/climate/co2-turned-carbon-nanofibres-0432423/>

7/11/2017

Can slag heaps help save the planet? | Science | The Guardian



Can slag heaps help save the planet?

British scientists are exploring ways to use the steel industry's waste to capture carbon dioxide in the atmosphere

Robin McKie

Science 23 April 2013 02:00 BST

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change), "Third Assessment Report –Climate Change 2001", www.ipcc.ch
- [2]. K. Thambimuthu, Paul Freund, "CO² Capture and Sequestration from Power Generation" , Studies by the IEA Greenhouse Gas R&D programme
- [3]. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών – Απογραφές Εκπομπών 1990-2002
- [4]. Tore A Trop, J.Gale, " Demonstrating storage of CO² in geological reservoirs: The Sleipner and SACS projects", Energy; Vol 29, pp 1361–1369, 2004
- [5]. IEA, "Putting carbon back into the ground", IEA Greenhouse Gas R&D Programme, February 2001
- [6]. CO2NET Thematic Network, " Report on the current stage and the need for further research on CO² Capture and Storage", June 2004 www.co2net.org
- [7]. Herzong, H., Colomb C. " Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use", Enc. of Energy, Vol 1, 2004
- [8]. Odenberger, M., Svensson, R. "Transportation Systems for CO₂ – Application to Carbon Sequestration" Department of Energy Conversion – Chalmers University of Technology. Goeteborg, Sweden, 2003.
- [9]. "Carbon Capture and Sequestration Systems Analysis Guidelines" U.S. Department of Energy – Office of Energy, National Energy Technology Laboratory, April 2005

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [10]. Golomb, D. (1997) Transport Systems for Ocean Disposal of CO₂ and their Environmental Effects. Energy Conversion & Management, Vol. 38, 279-286. ISSN 0196-8904.
- [11]. Haugen, H.A. & Eide, L.I. (1996) CO₂ Capture and Disposal: Energy Conversion & Management, Vol. 37, 1061-1066. ISSN 0196-8904.
- [12]. IEA GHG R&D Program, March 2004.
- [13]. Hendriks, 1994. "Carbon Dioxide Removal from Coal-fired Power Plants". C.A. Hendriks, Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, the Netherlands (1994).
- [14]. Hendriks, C., Graus, W. (ECOFYS), Van Bergen, F. (TNO-NITG) "Global Carbon Dioxide Storage Potential and Costs" ECOFYS in cooperation with TNO, 2004.
- [15]. International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 1999 edition.
- [16]. IPCC, 2001. Climate Change 2001: Mitigation, Part of third Assessment Report by WGIII of Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.
- [17]. Stevens, S. and J. Gale, "Geologic CO₂ sequestration may benefit upstream industry," Oil and Gas Journal, May 15, 2000.
- [18]. Turkenburg, 1999. Fossiele brandstoffen in een duurzame energievoorziening: de betekenis van CO₂-verwijdering, Turkenburg, W.T., and C.A. Hendriks, Natuurwetenschap en Samenleving en Ecofys, Utrecht (1999).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [19]. International Energy Agency, Committee on Energy Research and Technology Working Party on Fossil Fuels "Solutions for the 21st Century: Zero Emissions Technologies for Fossil Fuels" 2002.
- [20]. Heddle, G., Herzog, H., Klett, M., Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Energy and Environment, "The Economics of CO₂ Storage" August 2003.
- [21]. UK Department of Trade and Industry / Pub. URN 00/1081, "Carbon Dioxide Capture and Storage" Sept. 2000.
- [22]. Καραλής, Κ., Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από ιπτάμενη τέφρα. Διπλ. Εργ. ΕΜΠ, 2010.
- [23]. Κούκουζας, Ν., Στογιάννης, Π., Κλήμαντος Π., Κακαράς, Εμ. Αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα σε υπόγειους γεωλογικούς ταμειωτήρες, Σύγχρονη Τεχνική Επιθεώρηση, 164, Δεκέμβριος 2005, 52-57.
- [24] A.-H. A. Park & L.-S. Fan "Carbon Dioxide Capture and Disposal: Carbon Sequestration," K. S. Lackner, in Encyclopedia of Chemical Processing, Ed. S. Lee, Dekker Encyclopedias, pp. 305-315 (2005). – Invited Encyclopedia Chapter