

ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ CO₂ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Πολυχρόνης Καραγκιοζίδης
Χημικός. Τέως Σχολικός Σύμβουλος
www.polkarag.gr Email: info@polkarag.gr

Στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου πρέπει να δοθεί απόλυτη προτεραιότητα και αυτή τη στιγμή είναι επιτακτική ανάγκη να αξιοποιήσουμε άμεσα τεχνολογίες που ήδη διαθέτουμε με σκοπό: 1) να σταματήσουμε να επιφορτίζουμε την ατμόσφαιρα με CO₂ και 2) να αφαιρέσουμε CO₂ από την ατμόσφαιρα.

ABSTRACT

In dealing with the greenhouse effect, absolute priority must be given, and at this moment, it is an urgent necessity to immediately utilize technologies that we already possess.

From 1960 until today, due to human activity, $8,42 \cdot 10^{11}$ tons of CO₂ have been added to the atmosphere. This quantity of CO₂ contains $2,3 \cdot 10^{11}$ tons of C. Therefore, in order for the Earth's atmosphere to return to 1960 levels, $8,42 \cdot 10^{11}$ tons of CO₂ need to be removed from the atmosphere, or $8,42 \cdot 10^{11}$ tons of C need to be removed from the carbon cycle.

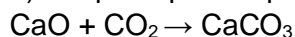
This is achievable with the technology at our disposal. If we do not act, the situation will be irreparable in 20 years.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΠΡΟΤΑΘΗΚΑΝ ΚΑΙ ΗΔΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕΡΙΚΩΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ CO₂

Για τη δέσμευση του CO₂ της ατμόσφαιρας αξιοποιούνται σε πειραματικό στάδιο δύο μέθοδοι:

1) Δέσμευση του CO₂ με ειδικές αμίνες. Το CO₂ είναι ασθενές οξύ και η αμίνη ασθενής βάση. Από την αντίδρασή τους προκύπτει άλας. Το άλας αυτό, έχει την ιδιότητα να διασπάται με θέρμανση σε CO₂ και αμίνη. Η αμίνη ξαναχρησιμοποιείται για δέσμευση άλλης ποσότητας CO₂. Το CO₂ που αποδεσμεύεται συλλέγεται και μετατρέπεται σε υγρή ή στερεά μορφή. Στη συνέχεια προβλέπεται να εγκλωβισθεί σε φυσικές κοιλότητες από εξαντλημένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων.

2) Δέσμευση του αερίου CO₂ με CaO.



Το CaCO₃ που προκύπτει πυρώνεται για τη μετατροπή του και πάλι σε CaO και CO₂. Το CaO ξαναχρησιμοποιείται ενώ το CO₂ ακολουθεί την κατεργασία όπως στην προηγούμενη μέθοδο.

Πλεονέκτημα των μεθόδων: Η άμεση δέσμευση του CO₂ της ατμόσφαιρας, ή του παραγομένου CO₂ από βιομηχανική δραστηριότητα.

Μειονεκτήματα των μεθόδων: 1) Είναι εξαιρετικά δαπανηρές στη διαδικασία της δέσμευσης, όπως και στην αποθήκευση του CO₂, σε όποια φυσική κατάσταση και αν βρίσκεται. 2) Το αποθηκευμένο CO₂ έχει περιορισμένη χρήση. Χρησιμοποιείται κυρίως ως ξηρός πάγος, ή ως αδρανές αέριο. Για να μετατραπεί το CO₂ σε χημικές ενώσεις του C πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια, ενώ αντίθετα ο C ή οι ενώσεις του, όταν μετατρέπονται σε CO₂ απελευθερώνεται ενέργεια.

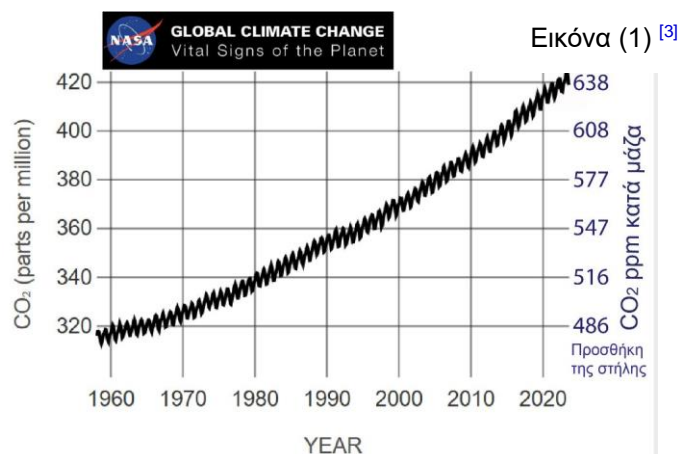
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ CO₂ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΑΠΟ ΤΟ 1960 ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2023

Από το 1960 μέχρι σήμερα, λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας, έχουν προστεθεί στην ατμόσφαιρα $8,42 \cdot 10^{11}$ τόνοι (t) CO₂

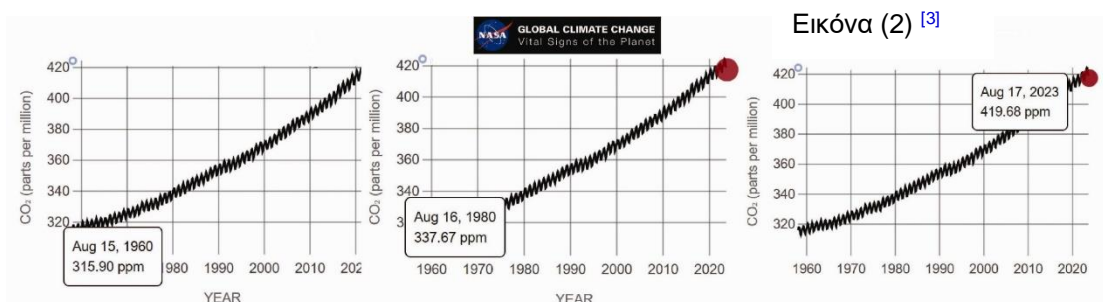
Η ποσότητα αυτή του CO₂ περιέχει $2,3 \cdot 10^{11}$ τόνους C

Άρα για να επανέλθει η ατμόσφαιρα της Γης στα επίπεδα του έτους 1960, σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε CO₂, πρέπει να απομακρυνθούν από την ατμόσφαιρα $8,42 \cdot 10^{11}$ τόνοι CO₂, ή να απομακρυνθούν από τον κύκλο του άνθρακα $2,3 \cdot 10^{11}$ τόνοι C. Αν ο C που θα απομακρυνθεί αποκτήσει την πυκνότητα 1 t/m^3 (τόνος ανά κυβικό μέτρο), η ποσότητα αυτή του C θα έχει όγκο $2,3 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$, Ο όγκος αυτός περιέχεται σε κύβο ακμής 6125 m.

Ο τελευταίος υπολογισμός έχει ως στόχο να αποκτήσει ο αναγνώστης εποπτική εικόνα για το μέγεθος της ποσότητας του άνθρακα που θα πρέπει να απομακρυνθεί. Να σημειώσω ότι το μήκος της διώρυγας της Κορίνθου είναι 6346 m.



Υπολογισμοί:



Η ολική μάζα των αερίων γήινης ατμόσφαιρας είναι $5,3 \cdot 10^{15}$ τόνοι [1],[2]

Τον **Αύγουστο του 2023** η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ ήταν 420 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) κατ' όγκο [3].

Οι σχετικές ατομικές μάζες C και O είναι 12 g/mol και 16 g/mol . Η σχετική μοριακή μάζα του CO₂ είναι 44 g/mol και η μέση σχετική μοριακή μάζα του αέρα $28,79 \text{ g/mol}$ [4]

Επομένως η κατά βάρος περιεκτικότητα του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν $420 \cdot 44 / 28,79 = 642$ ppm κατά βάρος

Άρα η μάζα του CO₂ στην ατμόσφαιρα τον Αύγουστο του 2023 ήταν $(642/10^6) \cdot (5,3 \cdot 10^{15}) = 3,4 \cdot 10^{12}$ τόνοι.

Τον **Αύγουστο του 1960** η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂ ήταν 316 ppm κατ' όγκο [3].

Επομένως η κατά βάρος περιεκτικότητα του CO₂ στην ατμόσφαιρα ήταν $316 \cdot 44 / 28,79 = 483$ ppm κατά βάρος.

Άρα η μάζα του CO₂ στην ατμόσφαιρα τον Αύγουστο του 1960 ήταν $(483/10^6) \cdot (5,3 \cdot 10^{15}) = 2,56 \cdot 10^{12}$ τόνοι

Διαφορά από το 1960 μέχρι το 2023: $3,4 \cdot 10^{12} - 2,56 \cdot 10^{12} = 0,84 \cdot 10^{12} = 8,4 \cdot 10^{11}$ τόνοι CO₂

Η ποσότητα αυτή του CO₂ περιέχει $(12/44) \cdot 8,4 \cdot 10^{11} = 2,3 \cdot 10^{11}$ τόνους C. (C:12, CO₂:44)

Αν ο άνθρακας συμπιεστεί ελαφρώς ώστε να αποκτήσει την πυκνότητα 1t/m³ (τόνος ανά κυβικό μέτρο), η ποσότητα αυτή του C θα έχει όγκο $2,3 \cdot 10^{11}$ m³, Ο όγκος αυτός αντιστοιχεί σε κύβο ακμής $(2,3 \cdot 10^{11})^{1/3} = 6125$ m, για ολόκληρη τη Γη και φυσικά δεν θα είναι μόνον ένας ο χώρος αποθήκευσης. Η κάθε χώρα θα έχει τον δικό της.

Η ποσότητα του C που πρέπει να απομακρυνθεί από τον κύκλο του άνθρακα για να επανέλθει η ατμόσφαιρα στα επίπεδα των ετών 1970 και 1980 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1

Έτος	Περιεκτικότητα σε CO ₂ κατά βάρος ppm	Τόνοι (t) CO ₂ στην ατμόσφαιρα	Διαφορά t από το έτος 2023	Αντιστοιχία σε t C	Ακμή κύβου ποσότητας C σε m
2023	642	$3,40 \cdot 10^{12}$			
1980	517	$2,74 \cdot 10^{12}$	$6,64 \cdot 10^{11}$	$1,81 \cdot 10^{11}$	5658
1970	497	$2,63 \cdot 10^{12}$	$7,70 \cdot 10^{11}$	$2,10 \cdot 10^{11}$	5943
1960	483	$2,56 \cdot 10^{12}$	$8,42 \cdot 10^{11}$	$2,30 \cdot 10^{11}$	6125

Το αρχείο Excel με τους υπολογισμούς [εδώ](https://www.polkarag.gr/11/CO2.xlsx) ή στο σύνδεσμο: <https://www.polkarag.gr/11/CO2.xlsx>

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ

Υλοτόμηση μεγάλου αριθμού δέντρων. Άμεση αντικατάσταση των υλοτομημένων με νέα δέντρα. Αποξήρανση και συμπίεση των προϊόντων υλοτομίας. Αποθήκευση του συμπιεσμένου προϊόντος με προστασία ώστε να μην μετατραπεί σε ανόργανη ύλη και επανέλθει ο C στον κύκλο του άνθρακα.

Για την υλοτόμηση δασικών δέντρων χρησιμοποιούνται μηχανήματα των οποίων το καύσιμο είναι κυρίως το DIESEL. Επομένως πρέπει να υπολογιστεί η ποσότητα του CO₂ η οποία θα παραχθεί κατά τη διαδικασία αυτή. Ο υπολογισμός υπάρχει στη σελίδα (4).

Κύριο μειονέκτημα:

1) Η μείωση του CO₂ της ατμόσφαιρας θα επέλθει όταν τα νέα δέντρα θα αναπτυχθούν τόσο ώστε να καταναλώσουν το CO₂ που αντιστοιχεί στον αποθηκευμένο άνθρακα, δηλαδή μετά την παρέλευση του χρόνου που απαιτείται ώστε αυτά να φτάσουν στο βάρος εκείνων που υλοτομήθηκαν, 10 με 20 έτη. Τα 20

έτη είναι μεγάλη χρονική περίοδος για τις επικείμενες επιπτώσεις και επομένως επιβάλλονται βελτιώσεις της μεθόδου.

Κύρια πλεονεκτήματα:

- α) Λιγότερο δαπανηρή μέθοδος
- β) Η ποσότητα του ξύλου που πρέπει να δεσμευτεί είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ποσότητα CO₂ που θα απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα, με σχέση μαζών 6:11.
- γ) Τα ξερά ξύλα αποθηκεύονται εύκολα σε αντίθεση με το CO₂ το οποίο είναι δύσκολο διαχειρίσιμο στην αποθήκευσή του, σε όποια φυσική κατάσταση και αν βρίσκεται.
- δ) Σε περιόδους κρίσεων, η αποθηκευμένη ποσότητα του άνθρακα ή των καυσόξυλων θα μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Η κάθε χώρα θα έχει τον δικό της χώρο αποθήκευσης.

ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

1) Μετατροπή των ξερών ξύλων, δηλαδή των προϊόντων υλοτομίας, σε ξυλοκάρβουνο. Τα ξερά ξύλα περιέχουν περίπου 50% άνθρακα. Το ξυλοκάρβουνο περιέχει περίπου 95% άνθρακα. Η σχέση μαζών διοξειδίου του άνθρακα και του άνθρακα που περιέχει είναι 11:3, σύμφωνα με τη στοιχειομετρία του χημικού τύπου CO₂. Σχετικές ατομικές μάζες C: 12g/mol, O: 16g/mol, σχετική μοριακή μάζα του CO₂: 44.

Επομένως αν τα προϊόντα δασικής υλοτομίας μετατραπούν σε ξυλοκάρβουνο, αυτό θα καταλαμβάνει περίπου το μισό όγκο από τα ξερά ξύλα, με την προϋπόθεση ότι ξύλα και ξυλοκάρβουνο να αποκτήσουν, με μικρή συμπίεση, την ίδια πυκνότητα 1t/m³.

Να σημειωθεί ότι το κάρβουνο δεν αποτελεί αντικείμενο τροφής εντόμων, μυκήτων και μικροοργανισμών, και επομένως δεν χρειάζεται κάποια ειδική προστασία στην αποθήκευσή του, ώστε το τελικό προϊόν να μην επανέλθει στον κύκλο του άνθρακα.

2) Συλλογή αποξηραμένων μονοετών φυτών, υπολειμμάτων γεωργικών εκμεταλλεύσεων και προϊόντα καθαρισμού δασών σε ετήσια βάση. Το είδος αυτό δεν μπορεί να μετατραπεί ή μετατρέπεται δύσκολα σε ξυλοκάρβουνο. Πρέπει να αποξηραθεί, να συμπιεστεί και να αποθηκευτεί όπως είναι.

3) Η αντικατάσταση των υλοτομούμενων δέντρων να γίνει με πλατύφυλλα ταχείας ανάπτυξης. **Με τη διαδικασία αυτή συντομεύουμε το χρόνο επίτευξης του επιθυμητού αποτελέσματος στα 10 χρόνια.**

4) Υλοτόμηση κατά προτεραιότητα των εύφλεκτων πεύκων και αντικατάστασή τους με πλατύφυλλα.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΣΗΜΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα καυσόξυλα, ως νεκρά μέρη φυτών, περιλαμβάνονται στον κύκλο του C. Η καύση τους παράγει μεν CO₂, όπως και ο λιγνίτης, πλην όμως δεν επιφορτίζει την ατμόσφαιρα με CO₂ διότι αν τα νεκρά φυτά αφεθούν στη φύση, μετά την παρέλευση κάποιων ετών, μέσω της διαδικασίας της σήψης, θα μετατραπούν σε ανόργανη ύλη επιστρέφοντας στο περιβάλλον το CO₂, το H₂O και την ενέργεια, συστατικά τα οποία προσέλαβαν τα φυτά κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Αντίθετα με την καύση ορυκτών καυσίμων προσθέτουμε C στον κύκλο του C. Ο ορυκτός C αν δεν μετατραπεί σε CO₂ δεν μπαίνει στον κύκλο του C.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ CO₂ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ C ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΤΟΥ C

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων, κυρίως diesel, για τη μετατροπή δασικών δέντρων σε καυσόξυλα, υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες καταλήγουν σε σημαντικές διαφορές αποτελεσμάτων.

Σύμφωνα με μια από αυτές ^[5], η κοπή των δέντρων, ο τεμαχισμός τους και η μεταφορά τους σε απόσταση 31,4 Km (απόσταση για την οποία έγινε η σχετική μελέτη) έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση 2,1L diesel, δηλαδή $2,1 \cdot 0,832 = 1,747 \text{Kg}$. ^[5], για έναν τόνο ξύλου. Το ειδικό βάρος του diesel είναι 0,832Kg/L. Επειδή κάθε Kg diesel παράγει κατά την καύση του 2,77Kg CO₂, η προαναφερθείσα διαδικασία στέλνει στην ατμόσφαιρα $1,747 \cdot 2,77 = 4,84 \text{Kg CO}_2$ για κάθε τόνο φρεσκοκομμένων ξύλων.

Επειδή το νερό που περιέχεται στα φρεσκοκομμένα ξύλα είναι τουλάχιστον το 50% του βάρους τους, η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα είναι $2 \cdot 4,84 = 9,68 \text{Kg}$ για κάθε τόνο ξηρών ξύλων.

Άλλες μελέτες υπολογίζουν μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου για την υλοτόμηση δασικών δέντρων ^[6].

Επειδή η προτεινόμενη διαδικασία απομάκρυνσης άνθρακα από τον κύκλο του άνθρακα δεν σταματά στη μετατροπή των δέντρων του δάσους σε καυσόξυλα πρέπει να συνυπολογιστούν και άλλοι παράγοντες, όπως:

1) Η μεταφορά θα γίνει σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις.

2) Τα καυσόξυλα θα μετατραπούν σε ξυλοκάρβουνο το οποίο στη συνέχεια θα συμπιεστεί. Για τη μετατροπή των αυτή η μισή περίπου ποσότητά τους καίγεται. Η καύση των καυσόξυλων δεν επιφορτίζει μεν την ατμόσφαιρα με CO₂ διότι τα καυσόξυλα προκύπτουν από δέσμευση CO₂ της ατμόσφαιρας, η υλοτόμησή τους όμως, όπως προαναφέρθηκε, απαιτεί την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

3) Για την τελική αποθήκευση του συμπιεσμένου ξυλοκάρβουνο ή των ξηρών ξύλων θα καταναλωθεί ενέργεια από ορυκτά καύσιμα.

Υποθέτω ότι η κατανάλωση ενέργειας για ολόκληρη τη διαδικασία θα είναι δεκαπλάσια, άρα και η παραγόμενη ποσότητα του CO₂ επίσης δεκαπλάσια, δηλαδή $10 \cdot 9,68 = 96,8 \text{ Kg}$ για κάθε τόνο αποθηκευμένου άνθρακα.

Η ποσότητα αυτή δεν είναι πολύ σημαντική και επομένως η απόκλιση από τους υπολογισμούς του πίνακα (1) είναι πολύ μικρότερη του 10%.

ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Η εξέλιξη της αύξησης του CO₂, όπως φαίνεται από το διαδραστικό διάγραμμα της NASA στη βιβλιογραφία ^[3], αυξάνεται με ταχύτατους ρυθμούς. Τα αίτια είναι πολλά και δεν ωφελεί να τα αξιολογήσουμε ως λογικά ή παράλογα, όπως: βιομηχανικός ανταγωνισμός, αμυντικός ανταγωνισμός, πολεμικές συρράξεις, κόστος αντικατάστασης κινητήρων οι οποίοι καταναλώνουν παράγωγα πετρελαίου και πολλά άλλα.

Σε διάστημα 10-15 ετών η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω αύξησης του CO₂, θα συντελέσει στην τήξη του ¼ του παγοκαλύμματος της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας. Το αποτέλεσμα θα είναι η Γη να χάσει σημαντικό μέρος της ανακλαστικής ικανότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως γνωρίζουμε το στερεό νερό, πάγος ή χιόνι, αντανακλά περισσότερη ακτινοβολία από το υγρό νερό. Η κατάσταση θα γίνει μη αναστρέψιμη καθώς μετά από αυτό το στάδιο, σε λίγα μόνον

χρόνια θα εξαφανιστούν πλήρως οι πάγοι από της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας. Δεν διαθέτουμε την απαραίτητη τεχνολογία ώστε να επαναφέρουμε τα παγοκαλύμματα, αν εξαφανιστούν, στην κατάσταση που ήταν πριν από μερικές δεκαετίες.

Πρέπει να αξιοποιήσουμε άμεσα την τεχνολογία που ήδη διαθέτουμε και να μην επαναπαυόμαστε σε έρευνες τύπου πυρηνικής σύντηξης, η οποίες φυσικά πρέπει να συνεχιστούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/6/jcli-3299.1.xml>
2. <https://hypertextbook.com/facts/1999/LouiseLiu.shtml>
3. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
4. https://www.me.psu.edu/cimbala/learning/general/gas_constant.pdf
5. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-016-1015-2>
6. <https://www.polkarag.gr/>

