

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΟΥ CO<sub>2</sub> ΑΠΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΜΕΣΩ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Γ. Καρδαράς<sup>1,2,\*</sup>, Γ. Βαρβούτης<sup>1,2</sup>, Α. Λαμπρόπουλος<sup>2</sup>, Δ. Ιψάκης<sup>3</sup>, Μ. Κονσολάκης<sup>3</sup>  
Κ. Πανόπουλος<sup>1</sup>, Γ. Μαρινέλλος<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων, ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

<sup>2</sup>Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα

<sup>3</sup>Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα

\* [gkardaras@certh.gr](mailto:gkardaras@certh.gr)

Η κλιματική αλλαγή και οι προοδευτικά συχνότερες συνέπειές της που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια, όπως κύματα καύσωνα, ακραίες καταιγίδες, έντονες ξηρασίες κ.λπ., συνδέονται άμεσα με την αύξηση των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) και κυρίως του CO<sub>2</sub>. Η αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης απαιτεί τη μετάβαση σε μια κλιματικά ουδέτερη οικονομία, με σεβασμό στις αρχές της κυκλικής οικονομίας «μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση» και εγκατάλειψη του παραδοσιακού γραμμικού οικονομικού μοντέλου «παραγωγή, κατανάλωση, απόρριψη».

Για τον σκοπό αυτό, η Ελλάδα (Δεκέμβριος 2019) παρουσίασε το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Το ΕΣΕΚ είναι ένα φιλόδοξο σχέδιο που αποσκοπεί στην αναδιοργάνωση της βιομηχανικής παραγωγής της χώρας και τη ριζική μεταμόρφωση του εθνικού ενεργειακού μοντέλου, με συντονισμένο και βιώσιμο τρόπο. Η μείωση των εκπομπών ΑτΘ από τον βιομηχανικό κλάδο, προβλέπεται να επιτευχθεί και μέσα από τη δέσμευση, αποθήκευση και αξιοποίηση του, παραχθέντος μέσω της χρήσης ορυκτών καυσίμων, CO<sub>2</sub>.

Υπό αυτό το πρίσμα, στην παρούσα μελέτη εξετάζεται, από περιβαλλοντική σκοπιά, η ενσωμάτωση τεχνολογίας δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε τσιμεντοβιομηχανία, εγκατεστημένη στην Ελλάδα, και η συνακόλουθη μετατροπή του δεσμευμένου CO<sub>2</sub> σε συνθετικό φυσικό αέριο (SNG) μέσω ανανεώσιμου ηλεκτρολυτικού υδρογόνου. Το παραχθέν SNG δύναται να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των εσωτερικών αναγκών της τσιμεντοβιομηχανίας, σε συμφωνία με τις προαναφερθείσες αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), ποσοτικοποιήθηκαν οι εκπομπές ΑτΘ της παραγωγής SNG μέσω της καταλυτικής υδρογόνωσης χημικά απορροφημένου CO<sub>2</sub> (με χρήση διαλύματος μονοαιθανολαμίνης) και υδρογόνου (ηλεκτρόλυση νερού με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ). Με τον τρόπο αυτό αποκαλύπτονται τα οφέλη και οι επιπτώσεις από την δέσμευση και μετατροπή του βιομηχανικού CO<sub>2</sub> και αναδεικνύονται οι δυνατότητες μετριασμού της έντασης των εκπομπών ΑτΘ από μεγάλες βιομηχανίες. Επιπλέον, αυτή η μελέτη επιτυγχάνει να αναγνωρίσει τις επιμέρους διεργασίες με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συνεπώς να αποτελέσει τη βάση για τη βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των τεχνολογιών δέσμευσης/αξιοποίησης βιομηχανικού CO<sub>2</sub>.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, το σύστημα παρουσιάζει αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο καθώς για την δέσμευση 1 t CO<sub>2</sub> εκλύονται **0,42 t CO<sub>2</sub> eq**, ενώ η ηλεκτρόλυση του H<sub>2</sub>O, ακολουθούμενη από την χημική δέσμευση του CO<sub>2</sub>, είναι οι διεργασίες με το μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Δέσμευση CO<sub>2</sub>, Ηλεκτρόλυση H<sub>2</sub>O, Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα, Αποθήκευση Ενέργειας

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου «Ορθολογικός σχεδιασμός και ανάπτυξη νανο-δομημένων καταλυτικών συστημάτων ενεργοποίησης του διοξειδίου του άνθρακα προς προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας – NANOCO<sub>2</sub>». Το έργο υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-00094)

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ahlgren, S., Björklund, A., Ekman, A., Karlsson, H., Berlin, J., Börjesson, P., ... & Strid, I. (2015). Review of methodological choices in LCA of biorefinery systems-key issues and recommendations. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 9(5), 606-619.
- [2] Cherubini, F., & Strømman, A. H. (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 102(2), 437-451.
- [3] Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2013). Introduction to LCA with SimaPro 8. Pré Consultants. Delft Netherlands.
- [4] Lee, K. M., & Inaba, A. (2004). Life cycle assessment: best practices of ISO 14040 series. Center for Ecodesign and LCA (CEL), Ajou University.
- [5] Muench, S., & Guenther, E. (2013). A systematic review of bioenergy life cycle assessments. *Applied Energy*, 112, 257-273.
- [6] Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability science*, 14(3), 681-695.
- [7] Welcomer, S. (2008). *The Sustainability Handbook: The Complete Management Guide to Achieving Social, Economic and Environmental Responsibility*.