



Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης και Εφαρμογής Δράσεων  
στους τομείς Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Καινοτομίας

ΕΝΙΑΙΑ ΔΡΑΣΗ ΚΡΑΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ  
ΕΡΕΥΝΑΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
& ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ

## ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ

---

### ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

### Τελική Έκθεση

Κωδικός Έργου: **T2ΕΔΚ-02899**

Τίτλος Έργου: Ανάπτυξη τεχνολογίας δέσμευσης CO<sub>2</sub> από καυσαέρια ενεργοβόρων βιομηχανιών με τη χρήση υδατικού διαλύματος K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> και νέων ενζυμικών καταλυτών για την αξιοποίηση του στην παραγωγή προϊόντων προστιθεμένης αξίας



# 1. Φυσικό Αντικείμενο

## 1.1 Αντικείμενο του έργου

Το έργο CoCCUS με έναρξη την 30<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2021 είναι ένα έργο διάρκειας 26 μηνών που είχε ως στόχο να αναπτύξει μία πρωτοποριακή τεχνολογία δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα από καυσαέρια ενεργοβόρων βιομηχανιών με τη χρήση υδατικού διαλύματος  $K_2CO_3$  και νέων ενζυμικών καταλυτών για την αξιοποίησή του στην παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

Οι γενικοί στόχοι του CoCCUS όπως καταγράφηκαν στο εγκεκριμένο τεχνικό παράρτημα (ΤΠ) του έργου συνοψίζονται ως εξής:

1. Να επιδειχθεί μια τεχνολογία δέσμευσης  $CO_2$  χαμηλού κόστους (25 €/ton  $CO_2$ ) που θα παράγει ένα υψηλής καθαρότητας ρεύμα  $CO_2$  (>99%) έτσι ώστε να είναι εύκολη η αξιοποίηση του με καθόλου ή ελάχιστες ανάγκες για περαιτέρω καθαρισμό.
2. Να επιτευχθεί εργαστηριακά βαθμός απόδοσης δέσμευσης  $CO_2$  >90%.
3. Να διερευνήσει τρόπους βελτιστοποίησης της τεχνολογίας δέσμευσης καθώς και της καταλυτικής διεργασίας μέσω της ανακάλυψης νέων ενζύμων καρβονικής ανυδράσης (KA) με στόχο την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης τόσο του ενζύμου/καταλύτη όσο και του διαλύτη ( $K_2CO_3$ ).
4. Να παραχθεί ένζυμο KA με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (75 – 85°C) και μηχανική αντοχή που να ελαχιστοποιεί τις ανάγκες σε αναπλήρωση. Το ένζυμο θα μπορεί να παραχθεί σε βιομηχανική κλίμακα με κόστος που να είναι ανταγωνιστικό στις διαθέσιμες τεχνολογίες.
5. Να αξιοποιηθεί το  $CO_2$  σε συνδυασμό με υδρογόνο ( $H_2$ ) από ηλεκτρόλυση μέσω ΑΠΕ για την παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (π.χ. πράσινη μεθανόλη) και να επικυρωθεί (proof of concept) η παραγωγή πειραματικά επιβεβαιωμένων ασφαλώς καταναλισκομένων πρωτεϊνών.
6. Να εξετάσει εναλλακτικές τεχνολογίες αξιοποίησης του παραγόμενου καθαρού  $CO_2$ .
7. Να συμβάλει σημαντικά στις προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις βιομηχανίες της ασβεστοποιίας, της παραγωγής μαγνησίας και τσιμέντου.

Από τους παραπάνω στόχους και μέχρι την ολοκλήρωση του έργου CoCCUS έχουν επιτευχθεί τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Βάση μοντελοποίησης και τεχνο-οικονομικής ανάλυσης, το κόστος της τεχνολογίας δέσμευσης  $CO_2$  με KA και υδατικό διάλυμα  $K_2CO_3$  κυμαίνεται από 31-48 €/ton  $CO_2$  αναλόγως τη βιομηχανία που εκπέμπει τα αερία, ενώ με μείωση του κόστους του ατμού και της ενέργειας θα μπορούσε να φτάσει μέχρι τα 28.7 €/ton  $CO_2$ .
2. Έχει πραγματοποιηθεί σχεδιασμός και προμήθεια πιλοτικής μονάδας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα. **(Εικόνα 1)**. Μέχρι στιγμής έχει επιτευχθεί εργαστηριακά βαθμός απόδοσης δέσμευσης  $CO_2$  ίσος με 47%, ενώ με αλλαγή των λειτουργικών παραμέτρων της μονάδας έχει επιτευχθεί σε μοντελοποίηση, βαθμός απόδοσης δέσμευσης  $CO_2$  ίσος με 90%. Επίσης έχει επιτευχθεί εργαστηριακά βαθμός ανάκτησης του δεσμευμένου  $CO_2$  >88%, ενώ σε μοντελοποίηση με αλλαγή των λειτουργικών παραμέτρων έχει επιτευχθεί βαθμός ανάκτησης 90% και παραγωγή ρεύματος  $CO_2$  υψηλής καθαρότητας (99%).
3. Έχει γίνει βελτιστοποίηση της τεχνολογίας δέσμευσης ως προς τις ενεργειακές καταναλώσεις του αναβραστήρα και της κατανάλωσης του ενζύμου μέσω κατάλληλης παραμετρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μοντέλου.
4. Έχουν ανακαλυφθεί νέα ένζυμα KA με αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (75 – 85°C) και μηχανική αντοχή. Έχει επιλεγεί η CA-KR1 η οποία παράγεται σε ικανοποιητικό βαθμό, είναι θερμοσταθερή και αλκαλοσταθερή και ταυτόχρονα έχει δράση KA.
5. Έχει πραγματοποιηθεί αξιοποίηση του  $CO_2$  με υδρογόνο από ΑΠΕ για την παραγωγή μεθανόλης και πειραματική παραγωγή πρωτεΐνης.

6. Έχει εξεταστεί η παραγωγή μεθανόλης από CO<sub>2</sub> και πρωτεΐνης από μεθανόλη. Έχει πραγματοποιηθεί τεχνο-οικονομική ανάλυση του σεναρίου πώλησης πρωτεΐνης και ενός μικρού ποσοστού μεθανόλης.
7. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου, έχει χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε βιομηχανίες ασβεστοποιίας, μαγνησίου και τσιμέντου.

Στο χρονικό διάστημα από την πρώτη έως την παρούσα πιστοποίηση 30.09.2022 – 30.11.2023 το έργο έχει ολοκληρώσει δραστηριότητες δεκατεσσάρων (14) μηνών. Στην παρούσα χρονική στιγμή έχουν ολοκληρωθεί όλες οι ενότητες εργασίας και όλα τα παραδοτέα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 και στην Εικόνα 2. Στο χρονικό διάστημα της παρούσας πιστοποίησης (M13-M26) ολοκληρώθηκαν τα παραδοτέα Π1.1, Π1.2, Π1.3, Π2.1, Π2.2, Π3.2, Π3.3, Π4.1, Π4.2, Π4.3, Π4.4, Π5.1 και Π5.2, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα εργασιών του CoCCUS, όπως αυτό κατατέθηκε στο ΤΠ και απεικονίζεται στο χρονοδιάγραμμα εργασιών, Εικόνα 2.



**Εικόνα 1. Πιλοτική μονάδα δέσμευσης CO<sub>2</sub>**

	1ο έτος 2021										2ο έτος 2022										3ο έτος 2023																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28												
<b>ΕΕΕ Ανάλυση προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών για τη δέσμευση και αξιοποίηση του CO2 από μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, C40 και ταμείου</b>																																								
ΠΕ.1.1. Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής ενέργειας																																								
ΠΕ.1.2. Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής ενέργειας																																								
ΠΕ.1.3. Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής ενέργειας																																								
ΠΕ.1.4. Ανάλυση της οικονομίας διεύθυνση του άρθρου στην Ελλάδα																																								
<b>ΕΕΖ Αναμόρφωση, βελτιστοποίηση χαρακτηριστικών και βελτιστοποίηση ενόμων ΚΑ</b>																																								
ΠΕ.2.1. Αναμόρφωση βιομηχανικών χαρακτηριστικών και βελτιστοποίηση ενόμων ΚΑ																																								
ΠΕ.2.2. Δοκιμασία ενόμων σε μεθολογικές συνθήκες θερμοκρασίας και σύστασης καυσίμων για τον προσδιορισμό της απόδοσης των ενόμων ΚΑ																																								
<b>ΕΕΣ Χρηματοοικονομική ανάλυση και επενδυτικές, δομικές δαπάνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</b>																																								
ΠΕ.3.1. Σχεδιασμός και κατασκευή πιλοτικού αντιδραστήρα																																								
ΠΕ.3.2. Δοκιμή μέσων εργασίας/παραγμάτων κύκλων δέσμευσης/ απελευθέρωσης του CO2																																								
ΠΕ.3.3. Παραγωγή πρωτότυπων από μεθολογία																																								
<b>ΕΕΕ Ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε μεγάλη κλίμακα μονάδες</b>																																								
ΠΕ.4.1. Ανάλυση με χρήση υπολογιστικών εργαλείων της τεχνολογίας δέσμευσης του CO2																																								
ΠΕ.4.2. Ανάλυση για τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας																																								
ΠΕ.4.3. Ανάλυση για τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας																																								
ΠΕ.4.4. Ανάλυση για τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας																																								
<b>ΕΕΕ Τεχνολογική και περιβαλλοντική ανάλυση των αποτελεσμάτων</b>																																								
ΠΕ.5.1. Τεχνολογική ανάλυση αποτελεσμάτων έρευνας και ανάπτυξης περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εφαρμογής																																								
ΠΕ.5.2. Περιβαλλοντικό Σχέδιο για εφαρμογή σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, C40 και ταμείου																																								

Εικόνα 2: Χρονοδιάγραμμα του έργου CoCCUS

Πίνακας 1. Ποσοστό επίτευξης Ε.Ε. του έργου

Τίτλος Ενότητας Εργασίας	Φορέας	Ποσοστό Επίτευξης
Ανάλυση προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών για τη δέσμευση και αξιοποίηση του CO <sub>2</sub> από μονάδες, παραγωγής μαγνησίας, CaO και τσιμέντου	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ	100%
Ανακάλυψη, βιοχημικός χαρακτηρισμός και βελτιστοποίηση ενζύμων ΚΑ	ΕΙΕ	100%
Σχεδιασμός πιλοτικού αντιδραστήρα και εργαστηριακές δοκιμές δέσμευσης για την παραγωγή πρωτεϊνών	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ	100%
Ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε μεγάλης κλίμακας μονάδες	GM	100%
Τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση των αποτελεσμάτων	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ	100%

Εν συντομία, το περιεχόμενο και η πρόοδος της κάθε ΕΕ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Σύνοψη του περιεχομένου και της πρόοδου κάθε ενότητας εργασίας

<b>ΕΕ1</b>	<b>Ανάλυση προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών για τη δέσμευση και αξιοποίηση του CO<sub>2</sub> από μονάδες, παραγωγής μαγνησίας, CaO και τσιμέντου (μήνες 1-18)</b>
	<u>Στόχοι</u> . Ανάλυση των προδιαγραφών των μονάδων παραγωγής κάθε βιομηχανικού εταίρου και των ιδιοτήτων των καυσαερίων από κάθε παραγωγική διαδικασία. Περιγραφή των διαφόρων δυνατοτήτων αξιοποίησης του CO <sub>2</sub> στην Ελλάδα και των προδιαγραφών που πρέπει να πληροί το καθαρό ρεύμα CO <sub>2</sub> για τις διάφορες χρήσεις του.
	<u>Κατάσταση</u> : Ολοκληρώθηκε τον μήνα 18, όπως αναμενόταν.
<b>ΕΕ2</b>	<b>Ανακάλυψη, βιοχημικός χαρακτηρισμός και βελτιστοποίηση ενζύμων ΚΑ (μήνες 1-24)</b>
	<u>Στόχοι</u> . Ανακάλυψη και βιοχημικός χαρακτηρισμός νέων ενζύμων ΚΑ. Καθορισμός των κριτηρίων βιοπληροφορικής σάρωσης των μεταγονιδωματικών δεδομένων, ώστε να γίνει εντοπισμός των γονιδίων που κωδικοποιούν πρωτεΐνες με δράση ΚΑ. Καθορισμός της απόδοσής τους σε αντιδράσεις δέσμευσης CO <sub>2</sub> και σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες χρήσης.
	<u>Κατάσταση</u> : Ολοκληρώθηκε τον μήνα 24, όπως αναμενόταν.
<b>ΕΕ3</b>	<b>Σχεδιασμός πιλοτικού αντιδραστήρα και εργαστηριακές δοκιμές δέσμευσης για την παραγωγή πρωτεϊνών (μήνες 4-26)</b>
	<u>Στόχοι</u> . Σχεδιασμός και κατασκευή αντιδραστήρα για τη δοκιμή των ενζύμων που θα παραχθούν από την ΕΕ2. Διερεύνηση των παραμέτρων της διεργασίας και δοκιμές δέσμευσης CO <sub>2</sub> σε ρεαλιστικές συνθήκες ώστε να αξιολογηθεί η απόδοση των ενζύμων στη δέσμευση CO <sub>2</sub> και η αντοχή τους σε μηχανική και θερμική καταπόνηση. Σχεδιασμός και κατασκευή βιοαντιδραστήρα για καλλιέργεια και παραγωγή του οργανικού μακρομορίου “Hansenula polymorpha (DL-1)”. <u>Κατάσταση</u> : Ολοκληρώθηκε τον μήνα 26, όπως αναμενόταν.
	<b>ΕΕ4</b>
	<b>Ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε μεγάλης κλίμακας μονάδες (μήνες 15-26)</b>

	<p><u>Στόχοι</u>. Δημιουργία μοντέλου, με σκοπό τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας για τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στους δύο αντιδραστήρες και τη βέλτιστη τεχνο-οικονομικά κατανάλωση ενζύμου. Το μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση και ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης CO<sub>2</sub> σε εργοστάσια παραγωγής ασβέστου, μαγνησίας και τσιμέντου.</p>
	<p><u>Κατάσταση</u>: Ολοκληρώθηκε τον μήνα 26, όπως αναμενόταν.</p>
<b>ΕΕ5</b>	<p><b>Τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση των αποτελεσμάτων (μήνες 7-26)</b></p>
	<p><u>Στόχοι</u>. Ανάλυση της πραγματικής εφοδιαστικής αλυσίδας του CO<sub>2</sub>, το οποίο με κατάλληλες διεργασίες δέσμευσης θα οδηγήσει στην παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Αξιολόγηση του πιλοτικού εργαστηριακού συστήματος μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Εκπόνηση επιχειρηματικού σχεδίου για τη βέλτιστη και πλέον οικονομικά συμφέρουσα εφαρμογή της τεχνολογίας σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής μαγνησίας, ασβέστου και τσιμέντου.</p>
	<p><u>Κατάσταση</u>: Ολοκληρώθηκε τον μήνα 26, όπως αναμενόταν.</p>

## 1.2 Αναλυτική Περιγραφή των Ενοτήτων Εργασιών (Ε.Ε.) που υλοποιήθηκαν

α/α ΕΕ	1	Μήνας Έναρξης	1	Μήνας Λήξης	18
Τίτλος Ενότητας Εργασίας	<b>Ανάλυση προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών για τη δέσμευση και αξιοποίηση του CO<sub>2</sub> από μονάδες, παραγωγής μαγνησίας, CaO και τσιμέντου</b>				
Κατηγορία Δραστηριότητας	ΒΙΕ: Βιομηχανική Έρευνα (Άρθρο 25)				
Υπεύθυνος Ε.Ε. (Φορέας)	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ				
Φορείς Εκτέλεσης	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ, ΑΓΕΤ, GM, INVENTORS				
Περιγραφή Ενότητας Εργασίας	<p>Στην ΕΕ1 πραγματοποιείται ανάλυση των προδιαγραφών και των απαιτήσεων/προσαρμογών για τη δέσμευση του CO<sub>2</sub>. Ο κάθε βιομηχανικός εταίρος του έργου, αναλύει και παρουσιάζει τις προδιαγραφές των μονάδων παραγωγής και τις ιδιότητες των καυσαερίων από την κάθε παραγωγική διαδικασία στην οποία θα γίνουν οι υπολογισμοί για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας. Το ΕΚΕΤΑ μελετά τον αναγκαίο καθαρισμό των καυσαερίων στη μονάδα δέσμευσης CO<sub>2</sub>, καθώς και τις λειτουργικές παραμέτρους καύσης για την προσαρμογή των καυσαερίων με σκοπό τον τεχνο-οικονομικά βέλτιστο σχεδιασμό της δέσμευσης (Π1.1-Inventors, Π1.2-GM, Π1.3-ΑΓΕΤ). Τέλος, αναλύονται οι διάφορες δυνατότητες για την αξιοποίηση του CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα. Επίσης, ορίζονται οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί το καθαρό ρεύμα του CO<sub>2</sub> έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες χρήσεις δίνοντας έμφαση στην παραγωγή μεθανόλης που μπορεί με περεταίρω επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πρωτεϊνών (Π1.4-ΕΚΕΤΑ).</p>				
Παραδοτέα	<p>Π1.1 Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής ασβέστου – Inventors            Π1.2 Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής μαγνησίας – GM            Π1.3 Ανάλυση των προδιαγραφών και απαιτήσεων/προσαρμογών των μονάδων παραγωγής τσιμέντου – ΑΓΕΤ            Π1.4 Ανάλυση της οικονομίας διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ</p>				
Ανάλυση της Πορείας Υλοποίησης της ΕΕ Αναμενόμενα Αποτελέσματα – Οφέλη Κάθε Φορέα	<p>Πραγματοποιήθηκε ανάλυση και παρουσίαση προδιαγραφών και απαιτήσεων των μονάδων παραγωγής μαγνησίας (GM), τσιμέντου (ΑΓΕΤ) και ασβέστου (Inventors). Η οικονομία του διοξειδίου του άνθρακα αναλύθηκε από το ΕΚΕΤΑ στα πλαίσια της προηγούμενης πιστοποίησης.</p>				
Παρεκκλίσεις	<p>Οι εργασίες των παραδοτέων της ΕΕ1 ολοκληρώθηκαν και τα παραδοτέα Π1.1, Π1.2 και Π1.3 έχουν κατατεθεί. Το Π1.4 είχε κατατεθεί στα πλαίσια της προηγούμενης πιστοποίησης.</p>				

α/α ΕΕ	2	Μήνας Έναρξης	1	Μήνας Λήξης	24
Τίτλος Ενότητας Εργασίας	<b>Ανακάλυψη, βιοχημικός χαρακτηρισμός και βελτιστοποίηση ενζύμων ΚΑ</b>				
Κατηγορία Δραστηριότητας	ΒΙΕ: Βιομηχανική Έρευνα (Άρθρο 25)				
Υπεύθυνος Ε.Ε. (Φορέας)	ΕΙΕ				
Φορείς Εκτέλεσης	ΕΙΕ				
Περιγραφή Ενότητας Εργασίας	<p>Στην ΕΕ2 τίθενται τα κριτήρια βιοπληροφορικής σάρωσης των μεταγονιδιωματικών δεδομένων με τα οποία γίνεται εντοπισμός γονιδίων με πιθανότητα να κωδικοποιούν θερμοσταθερές πρωτεΐνες με δράση ΚΑ μέσω της βιοπληροφορικής σάρωσης δειγμάτων μικροβιακών μεταγονιδιωμάτων της «Integrated Microbial Genomes and Microbiomes» του Joint Genome Institute όπου περιέχονται δεδομένα πάνω από 13 τρισεκατομμυρίων βάσεων. Οι γονιδιακές αλληλουχίες με πιθανή δράση ΚΑ υπερεκφράζονται στη συνέχεια ετερόλογα σε κύτταρα E. coli και οι υπό μελέτη πρωτεΐνες που κωδικοποιούνται από αυτές απομονώνονται με χρωματογραφία συγγένειας. Ακολούθως αποτιμάται η δράση τους ως ΚΑ. Για τις πλέον αποτελεσματικές ΚΑ, προσδιορίζονται και άλλα βιοχημικά χαρακτηριστικά που είναι κρίσιμης σημασίας για την συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως η θερμοσταθερότητα τους, το βέλτιστο pH δράσης.</p>				
Παραδοτέα	<p>Π2.1 Ανακάλυψη, βιοχημικός χαρακτηρισμός και βελτιστοποίηση των νέων ενζύμων ΚΑ Π2.2 Δοκιμασία ενζύμων σε ρεαλιστικές συνθήκες θερμοκρασίας και σύστασης καυσαερίων για τον προσδιορισμό της απόδοσης των νέων ενζύμων ΚΑ</p>				
Ανάλυση της Πορείας Υλοποίησης της ΕΕ Αναμενόμενα Αποτελέσματα – Οφέλη Κάθε Φορέα	<p>Ακολουθώντας τις τεχνικές βιοπληροφορικής σάρωσης μεταγονιδιωματικών δεδομένων που περιγράφονται παραπάνω, εντοπίστηκαν 10 γονίδια με την πιθανότητα να κωδικοποιούν θερμοσταθερά ένζυμα με δράση ΚΑ. Τα γονίδια αυτά εισήχθησαν σε κατάλληλους πλασμιδιακούς φορείς και οι πρωτεΐνες που κωδικοποιούν παράχθηκαν ετερόλογα σε κύτταρα E.coli. Στη συνέχεια αξιολογήθηκε η ικανότητα τους να παράγονται σε ικανοποιητικό βαθμό καθώς και η θερμοστάθερότητα τους. Με βάση αυτά τα κριτήρια επιλέχθηκε μια πρωτεΐνη, η CA-KR1 η οποία παράγεται σε ικανοποιητικό βαθμό, είναι θερμοσταθερή και έχει δράση ΚΑ. Η CA-KR1 επιλέχθηκε για περαιτέρω μελέτη έτσι ώστε να γίνει ο πλήρης βιοχημικός χαρακτηρισμός της. Παράλληλα παράχθηκε βιομάζα που περιείχε 0.1% (w/w) σε CA-KR1 για χρήση στον αντιδραστήρα δέσμευσης CO<sub>2</sub>. Επίσης παράχθηκε και υδατοδιαλυτό πρωτεϊνικό κλάσμα που περιείχε 600mg ενζύμου ώστε να δοκιμαστεί και αυτό στη μονάδα δέσμευσης.</p>				
Παρεκκλίσεις	<p>Οι εργασίες των παραδοτέων της ΕΕ2 ολοκληρώθηκαν και τα παραδοτέα Π2.1 και Π2.2 κατατέθηκαν σύμφωνα με το ΤΠ.</p>				



α/α ΕΕ	3	Μήνας Έναρξης	4	Μήνας Λήξης	26
Τίτλος Ενότητας Εργασίας	<b>Σχεδιασμός πιλοτικού αντιδραστήρα και εργαστηριακές δοκιμές δέσμησης για την παραγωγή πρωτεϊνών</b>				
Κατηγορία Δραστηριότητας	BIE: Βιομηχανική Έρευνα (Άρθρο 25)				
Υπεύθυνος Ε.Ε. (Φορέας)	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ				
Φορείς Εκτέλεσης	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ, SOLM				
Περιγραφή Ενότητας Εργασίας	Στην ΕΕ3 γίνεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή batch αντιδραστήρα για την δοκιμή των ενζύμων που παράγονται. Σε αυτόν τον αντιδραστήρα γίνεται διερεύνηση με παραμέτρους, την θερμοκρασία λειτουργίας, την σύσταση των καυσαερίων και τη σύσταση του διαλύματος (συγκέντρωση $K_2CO_3$ και ενζύμου) (Π3.1- ΕΚΕΤΑ). Στην συνέχεια ακολουθούν οι δοκιμές δέσμησης σε ρεαλιστικές συνθήκες θερμοκρασίας και σύστασης καυσαερίων για να αξιολογηθεί η αντοχή των ενζύμων όσο αφορά την απόδοση τους στη δέσμηση $CO_2$ , αλλά και της αντοχής τους σε μηχανική και θερμική καταπόνηση(Π3.2-ΕΚΕΤΑ). Τέλος, γίνεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή συγκεκριμένου βιοαντιδραστήρα για την καλλιέργεια και παραγωγή του οργανικού μακρομορίου (μαγιάς) "Hansenula polymorpha (DL-1)"(Π3.3-SOLM).				
Παραδοτέα	Π3.1 Σχεδιασμός και κατασκευή πιλοτικού αντιδραστήρα – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ Π3.2 Δοκιμές μέσω εργαστηριακών πειραμάτων κύκλων δέσμησης / απελευθέρωσης του $CO_2$ – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ Π3.3 Παραγωγή πρωτεϊνών από μεθανόλη				
Ανάλυση της Πορείας Υλοποίησης της ΕΕ Αναμενόμενα Αποτελέσματα – Οφέλη Κάθε Φορέα	Το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ σχεδίασε και εγκατέστησε στην Πτολεμαΐδα μία πιλοτική μονάδα δέσμησης του $CO_2$ . Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από μία στήλη απορρόφησης και μία στήλη εκρόφησης. Ως υγρό απορροφητικό υλικό χρησιμοποιήθηκε υδατικό διάλυμα ανθρακικού καλίου ( $K_2CO_3$ ) και ως καταλύτης το ειδικά τροποποιημένο ένζυμο CA που ανέπτυξε το ΕΙΕ. Οι στήλες απορρόφησης και εκρόφησης λειτουργούν σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση (20-40 οC, 1 bar και 75-85οC, 0,33 bar, αντίστοιχα). Για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων της μονάδας σχεδιάστηκε και τοποθετήθηκε ένας πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας. Ένας βραστήρας-reboiler χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού που συμβάλλει στην αναγέννηση του υγρού απορροφητή ( $K_2CO_3$ ) χωρίς να καταστρέφεται το ένζυμο. Από τη στήλη απορρόφησης εξέρχονται καυσαέρια με πολύ μικρή ποσότητα $CO_2$ , ενώ υψηλής καθαρότητας $CO_2$ εξέρχεται από τη στήλη εκρόφησης. Ο βαθμός απόδοσης δέσμησης που επιτεύχθηκε ήταν 47%, ενώ ο βαθμός ανάκτησης του δεσμευμένου $CO_2$ ήταν 88%. Πραγματοποιήθηκε συμπληρωματικά "δοκιμή αναφοράς" με υδατικό διάλυμα αμίνης, μονοεθανολαμίνη (MEA) 30 wt%, όπου επιτεύχθηκε βαθμός απόδοσης δέσμησης 99 wt.%, επιβεβαιώνοντας τον επιτυχή σχεδιασμό της μονάδας. Εντοπίστηκαν, ωστόσο, τα προβλήματα που σημειώνονται και στην εμπορική χρήση του συγκεκριμένου διαλύτη, καθώς παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της απόδοσης, λόγω της υψηλής πηχτικότητας του και της σταδιακής αποσύνθεσης του στις υψηλές θερμοκρασίες που σημειώνονται στη στήλη αναγέννησης, καταδεικνύοντας την ανάγκη διερεύνησης χρήσης εναλλακτικών διαλυτών, όπως το $K_2CO_3$ . Υψηλής καθαρότητας $CO_2$ χρησιμοποιήθηκε από τη SOLM για την παραγωγή μεθανόλης και την μετατροπή της σε πρωτεΐνες χρήσιμες για την παραγωγή τροφίμων.				
Παραεκκλίσεις	Οι εργασίες των παραδοτέων της ΕΕ3 ολοκληρώθηκαν και τα Π3.2 και Π3.3 κατατέθηκαν σύμφωνα με το ΤΠ. Το παραδοτέο Π3.1 της ΕΕ3 κατατέθηκε στα πλαίσια της προηγούμενης πιστοποίησης. Όγκος υψηλής καθαρότητας $CO_2$ επιτυχώς μετατράπηκε σε μεθανόλη μέσω του μηχανισμού Fischer- Tropsch. Η μεθανόλη αυτή χρησιμοποιήθηκε σε πρώτες καλλιέργειες της μαγιάς μέσα από ζυμώσεις. Οι ζυμώσεις πραγματοποιήθηκαν με τον βιοαντιδραστήρα συνολικής χωρητικότητας 7.5l, ο οποίος βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της SOLM.				

α/α ΕΕ	4	Μήνας Έναρξης	4	Μήνας Λήξης	26
Τίτλος Ενότητας Εργασίας	<b>Ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε μεγάλης κλίμακας μονάδες</b>				
Κατηγορία Δραστηριότητας	BIE: Βιομηχανική Έρευνα (Άρθρο 25)				
Υπεύθυνος Ε.Ε. (Φορέας)	GM				
Φορείς Εκτέλεσης	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ, ΑΓΕΤ, GM, INVENTORS				
Περιγραφή Ενότητας Εργασίας	Στην ΕΕ4 γίνονται υπολογισμοί για την δημιουργία μοντέλου, το οποίο βοηθά στη βελτιστοποίηση της διεργασίας μέσω κατάλληλης παραμετρικής ανάλυσης για τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στους δύο αντιδραστήρες και τη βέλτιστη τεchnο-οικονομικά κατανάλωση του ενζύμου (Π4.1-ΕΚΕΤΑ). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο γίνεται η διερεύνηση για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης στα εργοστάσια παραγωγής ασβέστου, μαγνησίας και τσιμέντου (Π4.2-GM, Π4.3-Inventors, Π4.4-ΑΓΕΤ).				
Παραδοτέα	Π4.1 Ανάλυση με χρήση υπολογιστικών εργαλείων της τεχνολογίας δέσμευσης του CO <sub>2</sub> – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ Π4.2 Ανάλυση για την βέλτιστη ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής μαγνησίας – GM Π4.3 Ανάλυση για την βέλτιστη ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής ασβέστου - Inventors Π4.4 Ανάλυση για την βέλτιστη ενσωμάτωση της τεχνολογίας δέσμευσης σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου - ΑΓΕΤ				
Ανάλυση της Πορείας Υλοποίησης της ΕΕ Αναμενόμενα Αποτελέσματα – Οφέλη Κάθε Φορέα	Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της εργαστηριακής πιλοτικής μονάδας στο λογισμικό προσομοίωσης χημικών διεργασιών ASPEN PLUS. Μέσω παραμετρικής ανάλυσης βρέθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας της μονάδας ώστε να μειωθούν οι ενεργειακές καταναλώσεις και να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση του ενζύμου. Στη μοντελοποίηση, το ποσοστό δέσμευσης CO <sub>2</sub> ήταν ίσο με 90% ενώ ο βαθμός ανάκτησης και η καθαρότητα του CO <sub>2</sub> ήταν 90% και 99% αντίστοιχα. Πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση του εναλλάκτη πρόσδωσης θερμότητας με τη χρήση ASPEN PLUS και εργαλείου CFD, με σκοπό τη βελτιστοποίησή του. Το μοντέλο για τη δέσμηση CO <sub>2</sub> χρησιμοποιήθηκε και σε μεγαλύτερη κλίμακα για την ενσωμάτωσή του σε εργοστάσια παραγωγής μαγνησίας, ασβέστου και τσιμέντου, ενώ αναπτύχθηκε μοντέλο και για τη χρήση του CO <sub>2</sub> που δεσμεύεται και οδηγείται σε παραγωγή μεθανόλης και πρωτεΐνης. Χρησιμοποιήθηκαν ρεύματα απορριπτόμενης θερμότητας από τις τρεις βιομηχανίες και μειώθηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις του αναβραστήρα.				
Παραεκκλίσεις	Οι εργασίες των παραδοτέων της ΕΕ4 ολοκληρώθηκαν και τα παραδοτέα Π4.1, Π4.2, Π4.3 και Π4.4 κατατέθηκαν σύμφωνα με το ΤΠ.				

α/α ΕΕ	5	Μήνας Έναρξης	7	Μήνας Λήξης	26
Τίτλος Ενότητας Εργασίας	<b>Τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση των αποτελεσμάτων</b>				
Κατηγορία Δραστηριότητας	ΒΙΕ: Βιομηχανική Έρευνα (Άρθρο 25)				
Υπεύθυνος Ε.Ε. (Φορέας)	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ				
Φορείς Εκτέλεσης	ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ, ΑΓΕΤ, GM, INVENTORS				
Περιγραφή Ενότητας Εργασίας	Στην ΕΕ5 αναλύεται η πραγματική εφοδιαστική αλυσίδα του CO <sub>2</sub> , όπου στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας, το αέριο του θερμοκηπίου CO <sub>2</sub> , με τις κατάλληλες διεργασίες δέσμευσης και κατάλληλων διεργασιών παράγει προϊόντα προστιθέμενης αξίας για τη βιομηχανία και τον τελικό χρήστη. Πραγματοποιείται αξιολόγηση του πιλοτικού εργαστηριακού συστήματος μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Life Cycle Assessment - LCA) (Π5.1-ΕΚΕΤΑ). Το σύνολο των ευρημάτων συνδράμουν στην εκπόνηση ενός ολοκληρωμένου επιχειρηματικού σχεδίου για την βέλτιστη περιβαλλοντικά και πλέον οικονομικά συμφέρουσα εφαρμογή της τεχνολογίας σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις ασβεστοποιίας, παραγωγής μαγνησίας και τσιμέντου (Π5.2-ΕΚΕΤΑ).				
Παραδοτέα	Π5.1 Τεχνο-οικονομική ανάλυση αποτελεσμάτων έρευνας και ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εφαρμογής – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ Π5.2 Επιχειρηματικό Σχέδιο για εφαρμογή σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής μαγνησίας, CaO και τσιμέντου – ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ				
Ανάλυση της Πορείας Υλοποίησης της ΕΕ Αναμενόμενα Αποτελέσματα – Οφέλη Κάθε Φορέα	Η ΕΕ5 τροφοδοτείται από τα στοιχεία της ΕΕ4 που προκύπτουν από την προσομοίωση της μονάδας μεγάλης κλίμακας στο λογισμικό ASPEN PLUS για τις τρεις υπό μελέτη βιομηχανίες και συλλέγονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Οι βιομηχανικοί φορείς (ΑΓΕΤ, GM, INVENTORS) τροφοδοτούν το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να υλοποιηθεί το επιχειρηματικό σχέδιο για την εφαρμογή της τεχνολογίας σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής μαγνησίας, CaO και τσιμέντου.				
Παραεκκλίσεις	Οι εργασίες των παραδοτέων της ΕΕ5 ολοκληρώθηκαν και τα παραδοτέα Π5.1 και Π5.2 κατατέθηκαν σύμφωνα με το ΤΠ.				

## 2. Σχόλια - Προβλήματα - Παρατηρήσεις

### 2.1 Αιτιολόγηση αποκλίσεων

Η ΕΕ4 με βάση το ΤΠ ήταν προγραμματισμένο να ξεκινήσει το μήνα 15, αλλά ξεκίνησε το μήνα 4. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιήθηκε καθώς δεδομένα της ΕΕ4 έπρεπε να τροφοδοτήσουν την ΕΕ5, η οποία ξεκίνησε το μήνα 7. Εργαστηριακά επιτεύχθηκε βαθμός απόδοσης δέσμευσης CO<sub>2</sub> 47% στον πιλοτικό αντιδραστήρα και όχι >90% όπως είχε αρχικά προδιαγραφεί (ΕΕ3). Στη μοντελοποίηση όμως ο βαθμός απόδοσης δέσμευσης ήταν 90%, κάτι που σημαίνει ότι με αλλαγή των παραμέτρων της διεργασίας στην πιλοτική κλίμακα και με κατάλληλη ποσότητα ενζύμου μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος της δέσμευσης CO<sub>2</sub>.

### 2.2 Λοιπές παρατηρήσεις

Δεν υπάρχουν λοιπές παρατηρήσεις

### 3. Δραστηριότητες Διάχυσης και Δημοσιότητας

Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων διάχυσης και δημοσιότητας του έργου έχουν επιτευχθεί όλα όσα είχαν προδιαγραφεί στο ΤΠ. Συγκεκριμένα, η δράση του CoCCUS συνεχίζεται να προβάλλεται μέσα από τη δική του ιστοσελίδα (<https://co2coccus.gr/>), το δικό του λογότυπο (**Εικόνα 3**) και τη δική του σελίδα στα κοινωνικά δίκτυα (<https://www.facebook.com/profile.php?id=100082918552953>). Υπεύθυνος για την ανάπτυξη και διαχείριση της ιστοσελίδας και των κοινωνικών δικτύων είναι το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ. Η ιστοσελίδα χρησιμοποιείται για την πλήρη ενημέρωση του κοινού σχετικά με τις δραστηριότητες του έργου, τους συμμετέχοντες φορείς, με τη διάχυση αποτελεσμάτων, τις δραστηριότητες δημοσιότητας, νέα για το έργο κλπ. Επίσης πανό (banner) του έργου υπάρχει στις εγκαταστάσεις του ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ στην Πτολεμαΐδα, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4**.

Στα πλαίσια της προηγούμενης πιστοποίησης είχε πραγματοποιηθεί προβολή του έργου στην ελληνική ιστοσελίδα για startup νέα (<https://startupper.gr/focus/76766/to-coccus-erchetai-na-meiosesei-to-perivallontiko-apotyroma-energovoron-viomichanion/>).



Εικόνα 3: Λογότυπο έργου

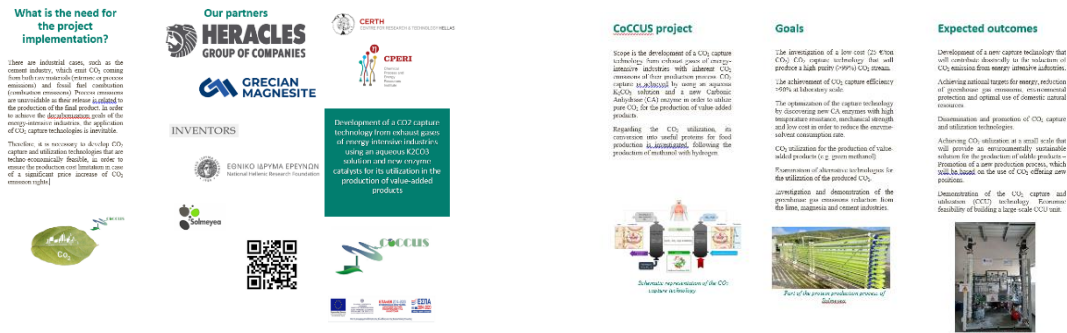


Εικόνα 4. Πανό έργου

Στα πλαίσια της παρούσας πιστοποίησης ετοιμάστηκαν και διαμοιράστηκαν 1000 φυλλάδια του έργου, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5 και 6**.



Εικόνα 5: Φυλλάδιο έργου στα ελληνικά



Εικόνα 6: Φυλλάδιο έργου στα αγγλικά

Στο πλαίσιο των δράσεων διάχυσης, στην επίσημη ιστοσελίδα του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών, έχει αναρτηθεί η περιγραφή του Έργου ([http://www.eie.gr/EIE\\_edkprojects\\_gr.html](http://www.eie.gr/EIE_edkprojects_gr.html)) ([http://www.eie.gr/nhrf/institutes/icb/projects/ICB\\_CoCCUS\\_project.pdf](http://www.eie.gr/nhrf/institutes/icb/projects/ICB_CoCCUS_project.pdf))

#### 4. Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά – συνέδρια με κριτές

Σχετικά με τη συμμετοχή σε συνέδρια, ημερίδες και σεμινάρια, είχαν προδιαγραφεί στο ΤΠ τρεις (3) τέτοιου είδους δραστηριότητες. Ο στόχος αυτός έχει επιτευχθεί και μάλιστα συντελεστές του έργου CoCCUS έχουν συμμετάσχει σε δέκα (10) συνέδρια/ημερίδες, ενώ έχει κατατεθεί περίληψη για συμμετοχή σε 11<sup>ο</sup> συνέδριο, μετά τη λήξη του έργου:

1. Karali D., Peloriadi K., Margaritis N. Grammelis P., "CO2 Absorption Using potassium carbonate as solvent", ASEC2022 3rd International Electronic Conference on Applied Sciences, online, 01-15 December 2022.
2. Kontodimos I., Papadelis C.E., Margaritis N., Grammelis P., "Valorization of medical plants residues through anaerobic digestion", 10th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Chania, Greece, 21-24 June 2023.
3. Karali D., Kalaitzi A., Grammelis P., Stenos V., "Production of Edible Proteins from Captured CO<sub>2</sub>", 47<sup>th</sup> International Technical Conference on Clean Energy, 23-27 July 2023, Florida, USA.
4. Καλαϊτζή Α., Καραλή Δ., Κούτσιανος Α., Μαργαρίτης Ν., Γραμμέλης Π., "Ανάπτυξη τεχνολογίας δέσμευσης CO<sub>2</sub> από καυσαέρια ενεργοβόρων βιομηχανιών", ημερίδα της Περιφερειακής Αριστείας ExcelWMac: "Παρουσίαση ερευνητικών αποτελεσμάτων του έργου «Ανάπτυξη Νέων Καινοτόμων Ενεργειακών Τεχνολογιών Χαμηλού Ανθρακικού Αποτυπώματος για την Ενίσχυση της Αριστείας στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας", 7 Ιουνίου 2023, Κοζάνη, Ελλάδα.
5. Konstantinos Rigkos, Georgios Filis, Pavlos Saridis, Dimitra Zarafeta\*, Georgios Skretas\*. "Discovery of a novel ultra thermostable Carbonic Anhydrase for enzymatic CO<sub>2</sub> sequestration using high throughput metagenomic analysis". Poster presented at the 16th International Symposium on Biocatalysis & Biotransformations (BIOTRANS 2023), France, June 2023. – Αναρτημένη Εργασία
6. Konstantinos Rigkos, Georgios Filis, Pavlos Saridis, Dimitra Zarafeta\*, Georgios Skretas\*. "Discovery of a novel ultra thermostable Carbonic Anhydrase for enzymatic CO<sub>2</sub> sequestration using high throughput metagenomic analysis", 1st Biomedicine, Bioinformatics & Biotechnology Forum: Fostering Collaboration in Industry & Academia conference (Bio3), Greece, September 2023. – Αναρτημένη εργασία (**Awarded with Honorable Mention**)
7. Ioanna Gerogianni, Konstantinos Rigkos, Dimitra Zarafeta, Georgios Skretas, Evangelia D. Chrysinas\*, "Structural studies of a novel ultra-thermostable Carbonic Anhydrase", 11th

International Conference of the Hellenic Crystallographic Association (HeCrA), Greece, October 2023 – Αναρτημένη εργασία

8. Konstantinos Rigkos, Georgios Filis, Pavlos Saridis, Dimitra Zarafeta\*, Georgios Skretas\*. "CA-KR1: A Novel Ultra-Thermostable and Alkalistable Carbonic Anhydrase for Efficient CO<sub>2</sub> Sequestration discovered through High-Throughput Metagenomic Analysis", ICB Workshop on Chemical Biology: Drug and Biomarker Discovery, Greece, November 2023 – Αναρτημένη εργασία
9. Konstantinos Rigkos, Georgios Filis, Pavlos Saridis, Dimitra Zarafeta\*, Georgios Skretas\*. "A Novel Ultrastable Carbonic Anhydrase for Efficient CO<sub>2</sub> Sequestration discovered through Large-Scale Metagenomic Analysis", European Society of Applied Biocatalysis Digital Congress. Online, November 2023. – Αναρτημένη εργασία/Παρουσίαση
10. Konstantinos Rigkos, Georgios Filis, Pavlos Saridis, Dimitra Zarafeta\*, Georgios Skretas\*. "A Novel Ultrastable Carbonic Anhydrase for Efficient CO<sub>2</sub> Sequestration discovered through Large-Scale Metagenomic Analysis". 73rd National Conference of the Hellenic Society of Biochemistry and Molecular Biology (HSBMB), Greece, December 2023. – Αναρτημένη εργασία
11. Atsonios K., Papaioannou C., Plakia A., Grammelis P., "CO<sub>2</sub> capture technologies using renewable electricity: Process analysis and comparison", 37<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Rhodes, Greece, 30 June – 4 July 2024 – abstract submitted

Σχετικά με τις δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, είχαν προδιαγραφεί στο ΤΠ πέντε (5) δημοσιεύσεις. Μέχρι στιγμής υπάρχουν τέσσερις (4) δημοσιεύσεις, από τις οποίες έχουν ολοκληρωθεί δύο (2), μία (1) έχει ήδη κατατεθεί και άλλη μία (1) θα κατατεθεί μετά τη λήξη του έργου. Επίσης έχει πραγματοποιηθεί μία υποβολή πατέντας, η οποία δεν είχε προδιαγραφεί στο ΤΠ. Μετά τη δημοσίευση της πατέντας, θα ακολουθήσουν και άλλες δημοσιεύσεις.

1. Karali D., Peloriadi K., Margaritis N., Grammelis P., "CO<sub>2</sub> Absorption Using Potassium Carbonate as Solvent", *Eng. Proc.* (2023), 31, 39.
2. Kontodimos I., Papadelis C.E., Margaritis N., Grammelis P. "Valorization of medical plants residues through anaerobic digestion" *Waste and Biomass Valorization* (2023) (under review).
3. CA-KR1: A Novel Ultra-Thermostable and Alkalistable Carbonic Anhydrase for Efficient CO<sub>2</sub> Sequestration discovered through High-Throughput Metagenomic Analysis (submitted)
4. Plakia A., Papaioannou C., Grammelis P., "Modeling of CO<sub>2</sub> capture using aqueous monoethanolamine solution and aqueous enzyme-boosted K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solvents" (2024) (to be submitted)

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρότι δεν είχε προβλεφθεί στο ΤΠ, έχει κατατεθεί η παρακάτω πατέντα:

1. Skretas G., Zarafeta D., Filis G., Rigkos K., "Heat- and halo-stable carbonic anhydrase for CO<sub>2</sub> sequestration"

	Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου	Συντονιστής Έργου
<b>Υπογραφή:</b>		
<b>Όνοματεπώνυμο :</b>	Γραμμέλης Παναγιώτης	
<b>Ημ/νία :</b>		