



## Energy Flow In Ecosystem



Co-funded by  
the European Union

# Οδηγός Εκπαιδευτικών για τη δραστηριότητα **Steam4Climate**

Από τις μετρήσεις στην ουσία: Μελετώντας τα οικοσυστήματα μέσα  
από μια προσέγγιση **STEAM**.

**Δημιουργός(οί):** Dariusz Aksamit (POLITECHNIKA WARSZAWSKA)

Συντελεστές & Κριτές: Thomas Jörg (KGP), Rene Alimisi (Edumotiva), George Fragkakis  
(23rd Gymnasium of Athens)

**Έκδοση:** v.2.2, 31.12.2025

**Κατάσταση:** τελική - βελτιωμένη μετά από πιλοτικές εφαρμογές, δημοσιευμένη στον  
ιστότοπο του έργου



## Energy Flow In Ecosystem



Co-funded by  
the European Union

### Κοινοπραξία Έργων της ΕΕ

Το έργο STEAM4Climate έλαβε χρηματοδότηση από το πρόγραμμα Erasmus+ της Ευρωπαϊκής Ένωσης βάσει της συμφωνίας επιχορήγησης αριθ. 2023-1-PL01-KA220-SCH-000158670. Οι συγγραφείς που αναφέρονται σε αυτό το εγχειρίδιο αποτελούν μέρος της κοινοπραξίας STEAM4Climate. Το έργο περιλαμβάνει 6 εταίρους και συντονίζεται από την POLITECHNIKA WARSZAWSKA. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το έργο μπορείτε να βρείτε στον ιστότοπο [του έργου](#).

**Αποποίηση ευθύνης (Disclaimer)** Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή αυτής της δημοσίευσης δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου, το οποίο αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις των συγγραφέων, και η Επιτροπή δεν φέρει ευθύνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν.

### Άδεια Creative Commons:

Αυτό το έγγραφο διατίθεται στο κοινό με άδεια Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](#))



# Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή .....	4
1. Επισκόπηση μάθησης .....	4
2. Μαθησιακοί Στόχοι & Μεθοδολογία .....	5
3. Μια προσέγγιση «χαμηλού δαπέδου, ψηλής οροφής, φαρδιών τοίχων» .....	7
υλικά .....	8
4. Υλικά που περιλαμβάνονται στην εργαλειοθήκη για τη βασική έκδοση .....	8
5. Άλλα εξαρτήματα για τη βασική έκδοση .....	11
6. Στοιχεία για την εκτεταμένη έκδοση .....	11
Οδηγίες Δραστηριότητας .....	12
7. Προετοιμασία πριν από τη δραστηριότητα .....	12
7.1 Εξοπλισμός σύνδεσης .....	12
7.2 Καταγραφή δεδομένων .....	13
8. Εκτέλεση δραστηριότητας .....	15
8.1 Κατανόηση των ppm .....	15
8.2 Χημική παραγωγή CO <sub>2</sub> .....	17
8.3 Βιολογική παραγωγή CO <sub>2</sub> – μαγιάς και ο ρόλος της θερμοκρασίας .....	19
8.4 Βιολογική παραγωγή CO <sub>2</sub> – έδαφος .....	23
8.5 Εισαγωγή στην Ευφυή Γεωργία .....	25
8.6 Χτίζοντας ένα αυτοσυντηρούμενο σφραγισμένο οικοσύστημα – Πρόκληση PBL .....	27
Παρακολούθηση και περίληψη μετά το μάθημα .....	29
9. Θέματα Συζήτησης .....	29
10. Εκτίμηση .....	30
11. Επεκτάσεις .....	32

# Εισαγωγή

## Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ



### 1. Επισκόπηση μάθησης

Αυτό το έργο προσκαλεί τους μαθητές να εξερευνήσουν τη βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα μέσω μιας πρακτικής, διεπιστημονικής προσέγγισης STEAM. Σχεδιάζοντας και παρακολουθώντας αυτόνομα «οικοσυστήματα σε ένα βάζο», οι συμμετέχοντες συνδυάζουν την επιστημονική έρευνα με τη δημιουργικότητα της μηχανικής, την ψηφιακή τεχνολογία και την ανάλυση δεδομένων για να κατανοήσουν καλύτερα πώς αλληλεπιδρά η ζωή με το περιβάλλον της.

Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αισθητήρων με μια διάταξη απόκτησης δεδομένων, οι μαθητές μετρούν βασικές περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως θερμοκρασία, υγρασία, επίπεδα CO<sub>2</sub>, ένταση φωτός ή υγρασία εδάφους. Χτίζουν τα θεμέλια στις επιστημονικές μεθόδους βαθμονομώντας αισθητήρες, σχηματίζοντας υποθέσεις και αναλύοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Το έργο διερευνά την άορατη δυναμική της ζωής, συμπεριλαμβανομένης της απόκρισης σε ανθρωπογενείς εισβολές.

Από σφραγισμένα κλειστά δοχεία και υδάτινα οικοσυστήματα μέχρι μυκητιακούς μικροβιότοπους και υδροπονικά συστήματα, κάθε βάζο που σχεδιάζεται από μαθητές γίνεται ένα ζωντανό εργαστήριο. Γεφυρώνοντας κλάδους, αυτό το έργο καλλιεργεί την περιέργεια, τη συστημική σκέψη και την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση.

**Βασική έννοια:** Εξοικείωση με τη συστηματική καταγραφή ενός συνόλου περιβαλλοντικών παραμέτρων και καλλιέργεια εμπιστοσύνης στην ορθή ερμηνεία των δεδομένων.

**Διάρκεια:** 2 ώρες για την εισαγωγή, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτώνται από την εκάστοτε υλοποίηση του κάθε έργου.

**Αριθμός συνεδριών/sessions:** τουλάχιστον δύο, για το στήσιμο του εξοπλισμού και την εκτέλεση μετρήσεων μεγαλύτερης διάρκειας (ανάλυση δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της εβδομάδας)

**Ηλικιακή ομάδα-στόχος:** Γυμνάσιο, Λύκειο, 15+

## 2. Μαθησιακοί Στόχοι & Μεθοδολογία

Οι μαθητές που συμμετέχουν σε αυτό το έργο θα:

- μάθουν πώς μετρώνται και καταγράφονται στην πράξη οι περιβαλλοντικές παράμετροι (π.χ. συγκέντρωση CO<sub>2</sub>, θερμοκρασία, υγρασία, φως).
- αποκτήσουν εμπειρία εργασίας με αισθητήρες και συστήματα απόκτησης δεδομένων (DAQ).
- κατανοούν τη διαφορά μεταξύ στιγμιαίων μετρήσεων και δεδομένων χρονοσειράς.
- αναγνωρίζουν πρακτικούς περιορισμούς των μετρήσεων, όπως ο χρόνος προθέρμανσης του αισθητήρα, η αδράνεια απόκρισης και τα σφάλματα.
- ερμηνεύουν δεδομένα χρησιμοποιώντας απλά διαγράμματα και συσχετίζουν τα αριθμητικά αποτελέσματα με παρατηρούμενες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες.
- εξηγούν πώς οι διεργασίες μικρής κλίμακας που παρατηρούνται σε πειράματα σχετίζονται με τη δυναμική του κλίματος και του οικοσυστήματος μεγάλης κλίμακας.

### Μεθοδολογία

Το έργο ακολουθεί μια προσέγγιση **μάθησης που βασίζεται στην έρευνα και βασίζεται σε έργα (PBL)**.

Η διδασκαλία οργανώνεται γύρω από τρία βασικά, επαναλαμβανόμενα στοιχεία:

1. **Πρακτική μέτρηση:** Οι μαθητές συλλέγουν πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιώντας αισθητήρες, εστιάζοντας στη σωστή ρύθμιση, βαθμονόμηση και παρατήρηση.
2. **Ερμηνεία δεδομένων:** Τα καταγεγραμμένα δεδομένα οπτικοποιούνται και συζητούνται σε σχέση με πειραματικά γεγονότα, βοηθώντας τους μαθητές να συνδέσουν τις μετρήσεις με τις σχέσεις αίτιου-αποτελέσματος.
3. **Ανοιχτή έρευνα:** Υπάρχουν δραστηριότητες όπου οι μαθητές σχεδιάζουν τα δικά τους πειράματα (π.χ. σφραγισμένα οικοσυστήματα, σενάρια έξυπνης γεωργίας), διατυπώνουν υποθέσεις και αξιολογούν τα αποτελέσματα.

Η έμφαση δίνεται στην **ερμηνεία των μετρήσεων**, όχι απλώς στη συλλογή τους, αντανακλώντας τον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται η περιβαλλοντική και κλιματική έρευνα σε πραγματικές συνθήκες.

### 3. Μια προσέγγιση «χαμηλού κατωφλίου, υψηλής οροφής και ευρέων οριζόντων»

Στο STEAM4Climate, δίνουμε τη δυνατότητα στους μαθητές να εξερευνήσουν τα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα με διάφορους αισθητήρες, ανεξάρτητα από τις τεχνικές τους ικανότητες.

- **Χαμηλό κατώφλι:** Οι αρχάριοι μπορούν εύκολα να ξεκινήσουν με βασικά εργαλεία όπως ένα προκατασκευασμένο κιτ αισθητήρων Arduino, απλά βάζα και καθημερινά υλικά (χώμα, βρύα, νερό). Δεν απαιτείται προηγούμενη εμπειρία κωδικοποίησης ή ηλεκτρονικών σε αυτό το σενάριο εάν *χρησιμοποιείται το STEAM4Climate Environmental Kit*. Οι ποσοτικές παρατηρήσεις θα δώσουν στους μαθητές πληροφορίες για τη δυναμική του οικοσυστήματος. Επίσης, για κάθε σενάριο, ο κώδικας είναι διαθέσιμος για αντιγραφή.
- **Υψηλή οροφή:** Οι προχωρημένοι μαθητές μπορούν να ενσωματώσουν πιο εξελιγμένους αισθητήρες (για παράδειγμα αισθητήρες NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και αιθανόλης, εκτός από το CO<sub>2</sub>) για κατάλληλα σενάρια και να αυτοπρογραμματίσουν τα έργα τους. Για μαθητές κορυφαίας βαθμίδας είναι δυνατή η ποιοτική ανάλυση. Μπορούν να ενθαρρυνθούν να εκτελέσουν πρόσθετα πειράματα, όπως η παρατήρηση της επίδρασης της υπερλίπανσης του εδάφους που οδηγεί σε εκπομπή αζωτούχων ενώσεων ή η μελέτη της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας των σφραγισμένων βιοσφαιρών.
- **Ευρείς ορίζοντες:** Οι δυνατότητες είναι ευρείες – οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν να μοντελοποιήσουν διαφορετικά οικοσυστήματα (οικοσυστήματα με βάση το έδαφος, υδροπονικά συστήματα, υδάτινα περιβάλλοντα), σφραγισμένα ή ανοιχτά, αερόβια ή αναερόβια. Κάθε βάζο γίνεται μια μοναδική επιστημονική και δημιουργική σύνθεση, ενθαρρύνοντας τον πειραματισμό με πολλαπλές επαναλήψεις. Τελικά, γιατί να επικεντρωθούν μόνο στο βάζο, εάν οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε εξωτερικούς χώρους, στο κομπόστ του κήπου ή σε κοντινούς υγροτόπους;

Είτε σε εσωτερικούς χώρους είτε στο χωράφι, η διαδρομή κάθε μαθητή είναι διαφορετική – και κάθε βάζο οικοσυστήματος λέει τη δική του ιστορία. Ελπίζουμε ότι η καθηλωτική

εμπειρία προάγει την περιέργεια και τη διαρκή εκτίμηση για την πολυπλοκότητα της ζωής και του περιβάλλοντος.

## Υλικά

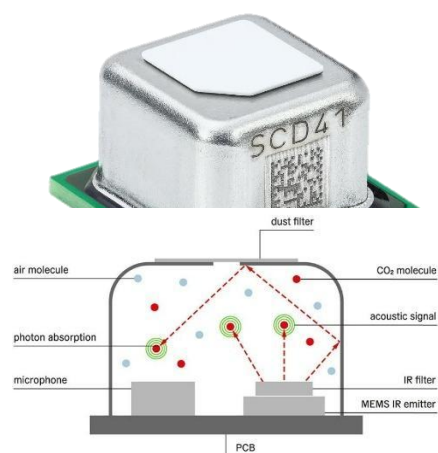
### 4. Υλικά που περιλαμβάνονται στην εργαλειοθήκη για τη βασική έκδοση

- Αισθητήρας CO<sub>2</sub> (Gravity: SEN0536)
- Μονάδα DAQ (Gravity: SCI DAQ Module)
- Ενισχυτής μπαταρίας
- Δύο μπαταρίες
- Καλώδια: Διπλή κεφαλή PH2.0-4P, είσοδος μπαταρίας (αυτο-κατασκευασμένη)

#### Βασικοί αισθητήρες – θερμοκρασία, υγρασία, συγκέντρωση CO<sub>2</sub>

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας είναι συνήθως ενσωματωμένες μονάδες (όπως DHT11 ή DHT22). Παρόλο που μπορούν να αγοραστούν και να συνδεθούν ξεχωριστά, η χρήση πλακέτας με ενσωματωμένους ανιχνευτές είναι πιο βολική, μειώνοντας την ανάγκη για διαχείριση καλωδίων. Ο βασικός αισθητήρας για τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> που προτείνουμε ως οικονομικά αποδοτικό είναι ο **SCD41**:

«Το SCD4x είναι η δεύτερη γενιά οπτικών αισθητήρων CO<sub>2</sub> της Sensirion. Η σειρά αισθητήρων βασίζεται στην αρχή της φωτοακουστικής ανίχνευσης NDIR<sup>1</sup> και στην πατενταρισμένη τεχνολογία PASens<sup>®</sup> και CMOSens<sup>®</sup> της Sensirion για να προσφέρει ακρίβεια σε ελκυστική τιμή και μικρό συντελεστή μορφής. Η συναρμολόγηση SMD επιτρέπει την οικονομική και διαστημική ενσωμάτωση του αισθητήρα σε συνδυασμό με τη μέγιστη ελευθερία σχεδιασμού. Η αντιστάθμιση σήματος στο τσιπ



<sup>1</sup> NDIR – Υπέρυθρες ακτίνες χωρίς διασπορά

πραγματοποιείται με τον ενσωματωμένο αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας SHT4x."<sup>2</sup>

«Ο αισθητήρας SCD41 ανιχνεύει την ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από τα μόρια CO<sub>2</sub>. Κατά τον παλμό του πομπού υπέρυθρων, τα μόρια CO<sub>2</sub> απορροφούν περιοδικά το υπέρυθρο φως. Αυτό προκαλεί πρόσθετη μοριακή δόνηση με αποτέλεσμα ένα κύμα πίεσης μέσα στο θάλαμο μέτρησης. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση CO<sub>2</sub>, τόσο περισσότερο φως απορροφάται και επομένως τόσο μεγαλύτερο γίνεται το πλάτος αυτού του ακουστικού κύματος. Ένα μικρόφωνο μέσα στο θάλαμο αερίων το μετρά αυτό, από το οποίο μπορεί στη συνέχεια να υπολογιστεί η συγκέντρωση CO<sub>2</sub>».<sup>3</sup>



Διάφοροι κατασκευαστές πωλούν αυτόν τον αισθητήρα χρησιμοποιώντας ελαφρώς διαφορετικά σχέδια πλακών PCB. Για να αποφύγουμε την ανάγκη συγκόλλησης και να χρησιμοποιήσουμε ένα σταθερό σύνολο αισθητήρων, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε **την πλατφόρμα Gravity που σχεδιάστηκε από την εταιρεία DFRobot**. Ως εκ τούτου, αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε το έργο χρησιμοποιώντας την **ενότητα DFRobot SEN0536**.

---

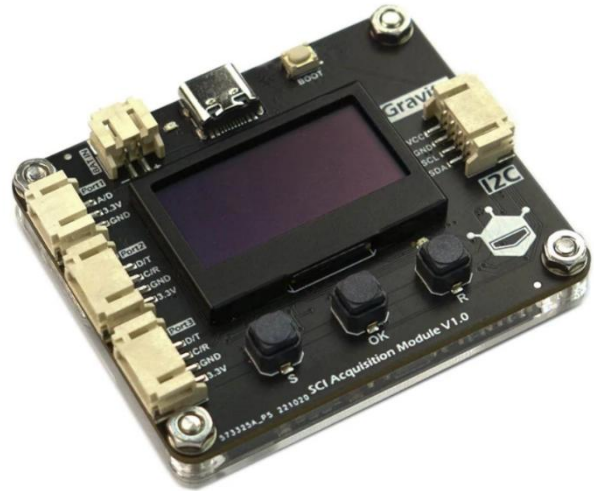
<sup>2</sup> <https://sensirion.com/products/catalog/SCD41>

<sup>3</sup> [https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_SEN0536\\_Gravity\\_SCD41\\_Infrared\\_CO2\\_Sensor](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0536_Gravity_SCD41_Infrared_CO2_Sensor)

## Gravity: Πλακέτα συγκέτρωσης Δεδομένων (SCI DAQ).

Χαρακτηριστικά<sup>4</sup>:

- Τάση λειτουργίας: 3.3-5.5V DC
- Ρεύμα λειτουργίας: 40mA
- Σήμα εξόδου: I2C (0x21-0x23)
- Διεπαφή εισόδου: 1 x Ψηφιακό/Αναλογικό, 2 x I2C/UART
- Ενσωματωμένος αποθηκευτικός χώρος: 16M
- Μπαταρία RTC: CR1220
- Πληροφορίες οθόνης: 1.3 ίντσες OLED
- Διάσταση προϊόντος: 62×52×13mm



<sup>4</sup> <https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

## 5. Άλλα εξαρτήματα για τη βασική έκδοση

- Σφραγισμένο δοχείο (βάζο 1 λίτρου ή πλαστικό μπουκάλι)
- Συσκευασμένη ξηρή μαγιά (5g)
- Πακέτο μαγειρική σόδα
- Συσκευασία κιτρικού οξέος ή ξιδιού
- Ζάχαρη
- Νερό βρύσης
- Λίγο χώμα

## 6. Στοιχεία για την εκτεταμένη έκδοση

Σύμφωνα με την προσέγγιση των «ευρέων οριζόντων», υπάρχουν πολλές επιλογές για την επέκταση του έργου με τη χρήση της παρεχόμενης μονάδας SCI DAQ, καθώς υποστηρίζει διάφορους αισθητήρες σχετικούς με περιβάλλοντα μελέτης:

- Αναλογικός αισθητήρας υγρασίας εδάφους, φωτισμού περιβάλλοντος
- Αισθητήρας θερμοκρασίας υπερύθρων χωρίς επαφή,
- ποιότητα νερού: pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, TDS, αδιάβροχο θερμόμετρο
- ανιχνευτές αερίων (ηλεκτροχημικοί)

Σε περίπτωση ταυτόχρονης χρήσης πολλών αισθητήρων, απαιτείται ένας πρόσθετος «διανομέας I2C», αλλά υπάρχουν ορισμένες τεχνικές δυσκολίες – συνιστούμε τη χρήση ξεχωριστού DAQ. Ο πλήρης κατάλογος του υποστηριζόμενου εξοπλισμού είναι διαθέσιμος στον ιστότοπο του κατασκευαστή:

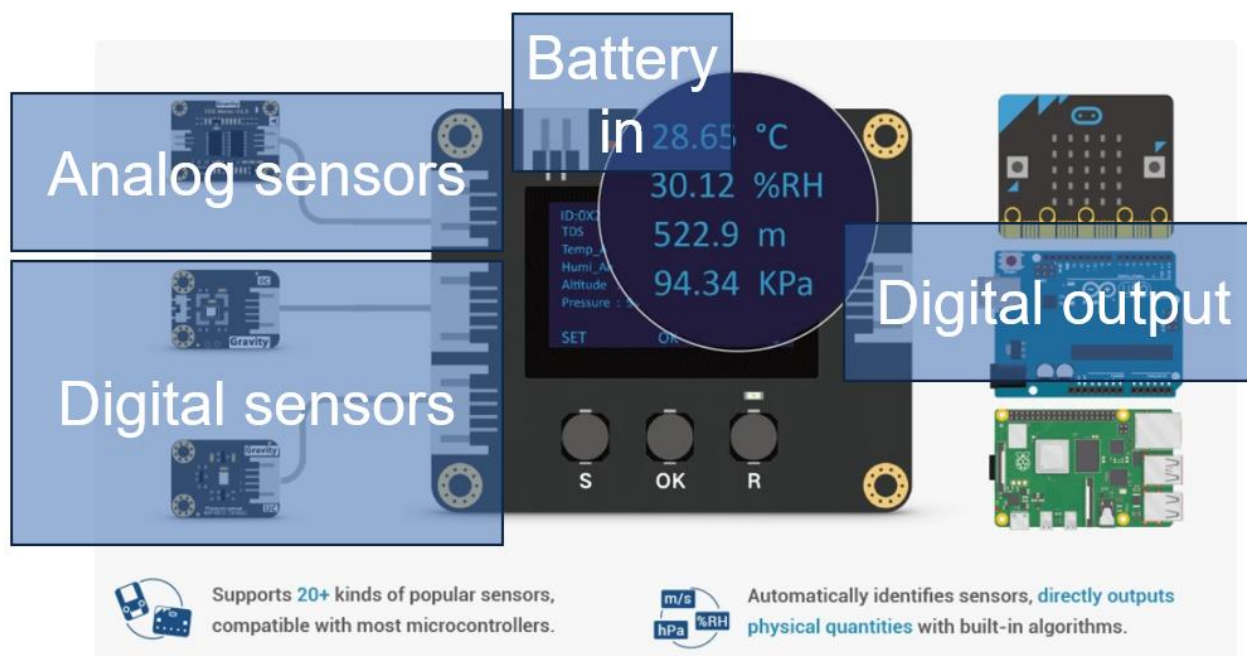
<https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

# Οδηγίες Δραστηριότητας

## 7. Προετοιμασία πριν από τη δραστηριότητα

### 7.1 Εξοπλισμός σύνδεσης

Η μονάδα SCI DAQ πρέπει να τροφοδοτηθεί. Στις ρυθμίσεις μας, χρησιμοποιούμε μπαταρία με ενισχυτή. Επομένως, δύο μπαταρίες AA είναι αρκετές για να τροφοδοτήσουν το DAQ. Η υποδοχή μπαταρίας 2 ακίδων βρίσκεται πάνω από την οθόνη, ενώ ο αισθητήρας μας θα πρέπει να συνδεθεί μέσω μιας υποδοχής 4 ακίδων στα αριστερά της οθόνης. Εναλλακτικά, μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω καλωδίου USB-C (συνδεδεμένο σε power bank – δεν περιλαμβάνεται):<sup>5</sup>



Δραστηριότητα για μαθητές:

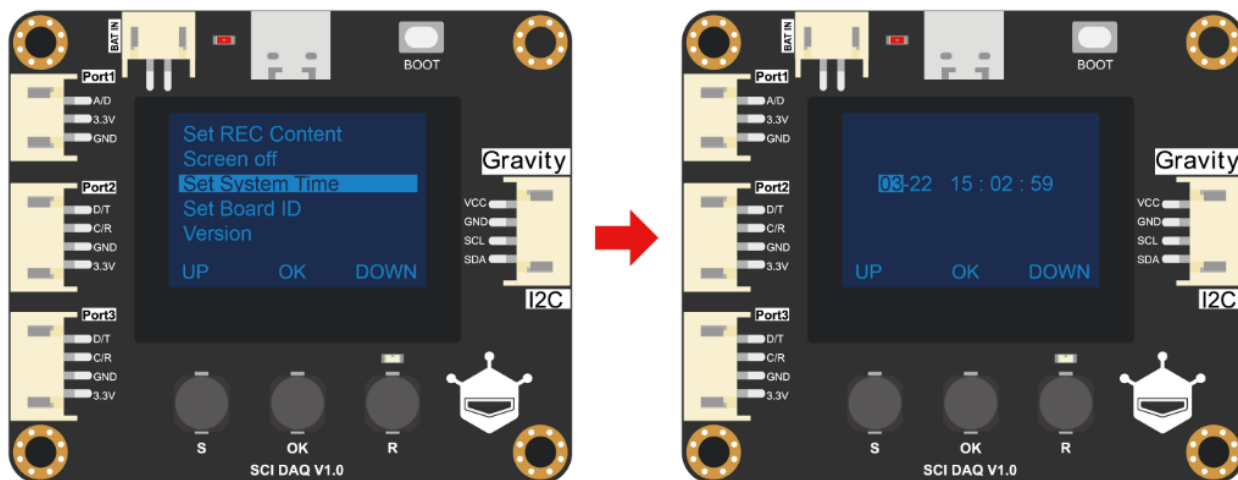
- Συνδέστε και διαβάστε τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (σε ppm, μέρη ανά εκατομμύριο)
- Σύγκριση τιμών που εμφανίζονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους
- Ελέγξτε πώς αντιδρά ο αισθητήρας στην αναπνοή σας

<sup>5</sup> Εικόνα στο πίσω μέρος – ιστοσελίδα κατασκευαστή: <https://www.dfrobot.com/product-2724.html>

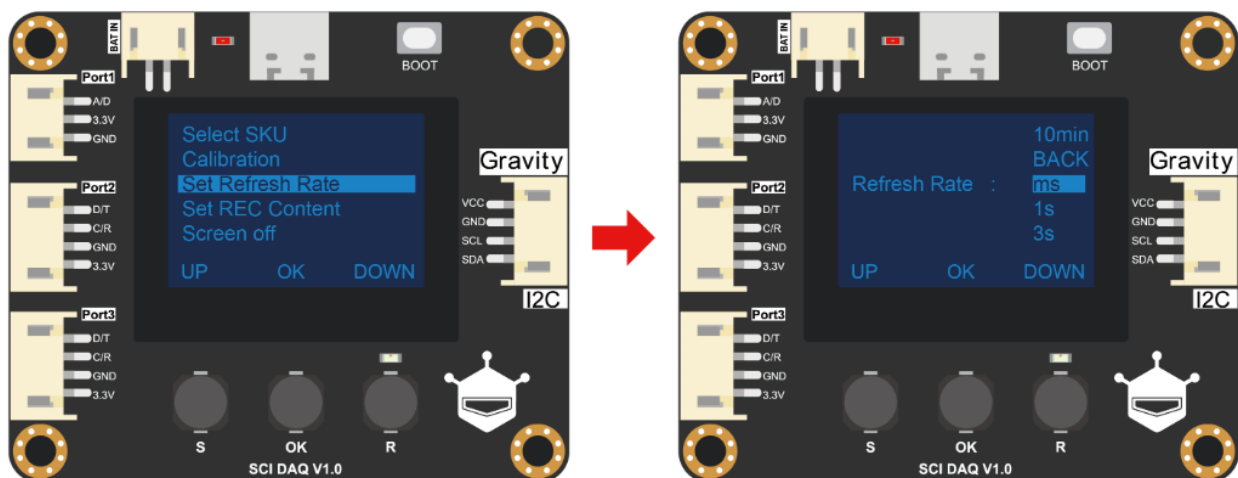
## 7.2 Καταγραφή δεδομένων

Για την καταγραφή των μετρήσεων, αναμένονται δύο ρυθμίσεις:

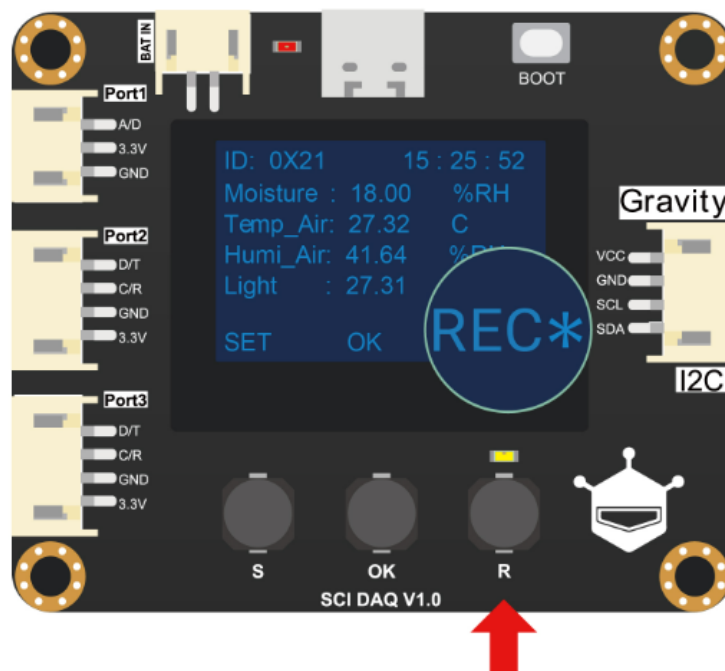
Ρύθμιση ώρας συστήματος:



Ρύθμιση του ρυθμού ανανέωσης:

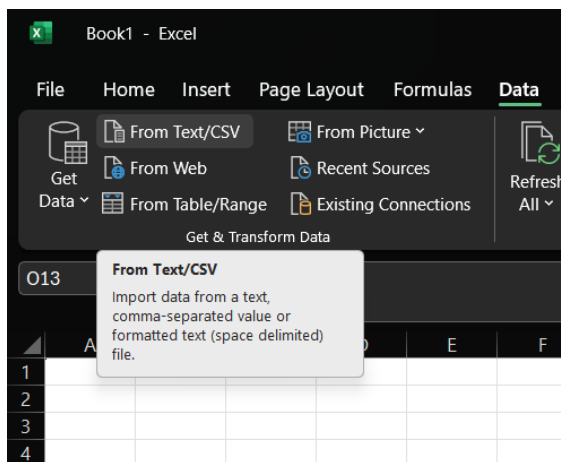


Με το δεξί κουμπί, μπορεί να ξεκινήσει η καταγραφή δεδομένων.



Όταν η κίτρινη λυχνία LED αναβοσβήνει, σημαίνει ότι η εγγραφή βρίσκεται σε εξέλιξη.

Μετά την καταγραφή των δεδομένων, το αρχείο CSV δημιουργείται με το "," ως διαχωριστικό. Για να διαβάσετε το αρχείο συνιστούμε τη χρήση του Excel (ή παρόμοιου λογισμικού), ακολουθώντας τα βήματα: Δεδομένα -> Ανάγνωση από CSV -> Φόρτωση.



## 8. Εκτέλεση δραστηριότητας

Παρακάτω είναι μια λίστα ασκήσεων σε διαφορετικό επίπεδο πολυπλοκότητας. Εναπόκειται στον εκπαιδευτικό να επιλέξει ποιες ασκήσεις θα εκτελέσει με μια συγκεκριμένη ομάδα μαθητών.

### 8.1 Κατανόηση των ppm

#### Στόχος:

Για να κατανοήσετε τι σημαίνει "ppm", μετρήστε τα επίπεδα CO<sub>2</sub> σε διαφορετικά περιβάλλοντα και αναλύστε πώς αλλάζει η συγκέντρωση με την πάροδο του χρόνου.

#### Διαδικασία:

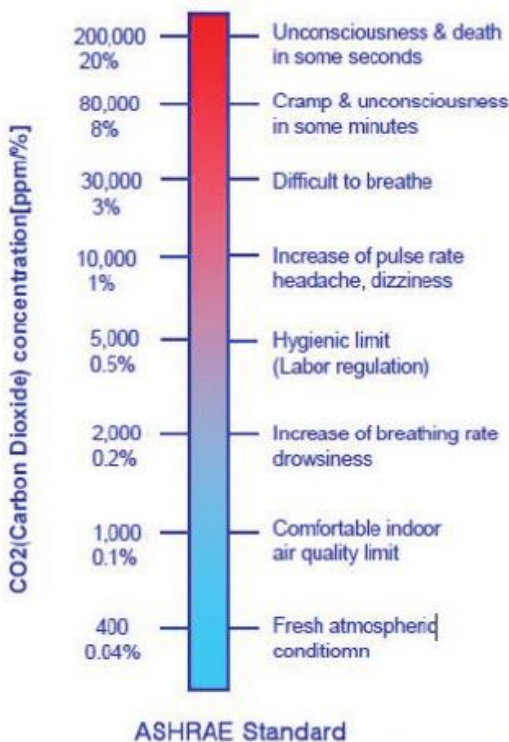
1. Ενεργοποιήστε τον αισθητήρα CO<sub>2</sub> και περιμένετε λίγα λεπτά μέχρι να σταθεροποιηθούν οι ενδείξεις (προθέρμανση).
2. Ξεκινήστε την εγγραφή δεδομένων με τον ανιχνευτή. Ενώ εκτελείται, παρατηρήστε τις τιμές ζωντανά στην οθόνη.
3. Πάρτε τον αισθητήρα και:
  - Μετρήστε στην τάξη.
  - Βγείτε έξω και συγκρίνετε τις τιμές σε εξωτερικούς χώρους.
  - Αναπνεύστε για λίγο στον αισθητήρα σε ανοιχτό αέρα (προσέξτε τη απότομη αύξηση).
  - Τοποθετήστε το σε ένα κλειστό βάζο/κουτί, εκπνεύστε μέσα και καλύψτε (σημειώστε πόση ώρα παραμένουν υψηλές οι τιμές).
4. Αφού ολοκληρώσετε τα πειράματα, σταματήστε την εγγραφή.
5. Συνδέστε τον αισθητήρα σε υπολογιστή μέσω USB-C. Εντοπίστε το πιο πρόσφατο αρχείο CSV (διαχωριστικό = ";"), αντιγράψτε το στη συσκευή σας και ελευθερώστε τη μνήμη.
6. Δημιουργήστε ένα διάγραμμα διασποράς: συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (ppm) έναντι χρόνου (s).
7. Συγκρίνετε το γράφημα με τις σημειώσεις παρατήρησής σας:

- Όταν μετακινηθήκατε σε εσωτερικό/εξωτερικό χώρο,
- Όταν αναπνέετε κοντά στον αισθητήρα,
- Πόσο γρήγορα ανέβηκαν και έπεσαν οι τιμές (αδράνεια ανιχνευτή).

### Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα;:

- Ο εξωτερικός αέρας περιέχει συνήθως ~400–450 ppm CO<sub>2</sub>, ενώ οι εσωτερικοί χώροι μπορούν να φτάσουν τα 1000–2000 ppm χωρίς αερισμό.
- Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα επίπεδα CO<sub>2</sub> πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση ήταν περίπου **280 ppm**. Σήμερα ξεπερνούν τα **420 ppm**, μια αύξηση ~50% σε μόλις 200 χρόνια – η ταχύτερη άνοδος στην πρόσφατη ιστορία της Γης. Αυτό το επιπλέον CO<sub>2</sub> παγιδεύει περισσότερη θερμότητα στην ατμόσφαιρα, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οδηγώντας στην κλιματική αλλαγή.
- Η ανθρώπινη αναπνοή περιέχει ~40.000 ppm CO<sub>2</sub>, δείχνοντας πώς συσσωρεύονται γρήγορα ακόμη και μικρές εκπομπές σε περιορισμένο χώρο.
- Καταγράφοντας, σχεδιάζοντας και συνδέοντας μετρήσεις με παρατηρήσεις, οι μαθητές εντοπίζουν αόρατα αέρια και αρχίζουν να αντιλαμβάνονται πώς οι επιστήμονες του κλίματος παρακολουθούν την μεταβαλλόμενη ατμόσφαιρα του πλανήτη.

## How does CO<sub>2</sub> affect the human body?



ASHRAE Standard

ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers

6

## 8.2 Χημική παραγωγή CO<sub>2</sub>

### Στόχος:

Να δείξει πώς οι χημικές αντιδράσεις μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> και να γίνουν μετρήσεις του χρησιμοποιώντας τόσο αλλαγές μάζας όσο και άμεσους αισθητήρες.

### Διαδικασία:

1. Αναμίξτε 5g μαγειρικής σόδας (NaHCO<sub>3</sub>) με 3,8g κιτρικού οξέος (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) διαλυμένα σε 30–50 ml νερό (εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξύδι).
2. Το δοχείο με το όξινο διάλυμα τοποθετείται σε ηλεκτρονική ζυγαριά η οποία ρυθμίζεται στο μηδέν.

<sup>6</sup> <https://gasalarm.com.au/importance-of-co2-measurement-inside-meeting-rooms-classrooms-offices-etc/>

3. Προσθέστε τη μαγειρική σόδα και παρατηρήστε: φυσαλίδες στο υγρό και μείωση της μάζας στην οθόνη. Καταγράψτε τις αλλαγές με την πάροδο του χρόνου.
4. Επαναλάβετε το πείραμα σε ένα βάζο με καπάκι:
  - Συνδέστε τον αισθητήρα CO<sub>2</sub> κάτω από το καπάκι (πάνω από το υγρό).
  - Ξεκινήστε την καταγραφή δεδομένων, προσθέστε τη μαγειρική σόδα και κλείστε το βάζο (αφήστε ένα μικρό κενό για ασφάλεια).
  - Καταγράψτε την ταχεία αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> για τουλάχιστον αρκετά δευτερόλεπτα.
5. Εξάγετε το αρχείο δεδομένων (CSV) και δημιουργήστε ένα διάγραμμα διασποράς της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> (ppm) έναντι του χρόνου (s). Συγκρίνετε με τις σημειώσεις σας από άμεσες παρατηρήσεις (φυσαλίδες, μαζική αλλαγή).

#### Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα;:

- Η αντίδραση δείχνει ξεκάθαρα την απελευθέρωση αερίου CO<sub>2</sub>. Η «εξαφανιζόμενη» μάζα στη ζυγαριά και οι αυξανόμενες ενδείξεις του αισθητήρα είναι δύο προοπτικές για την ίδια διαδικασία: αόρατο αέριο που αφήνει το υγρό στον αέρα.
- Σε παγκόσμια κλίμακα, οι βιομηχανικές χημικές διεργασίες αποτελούν σημαντικές πηγές CO<sub>2</sub>. Η καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) προσθέτει ~35–37 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub> ετησίως. Η παραγωγή τσιμέντου προσθέτει άλλους ~2,5–3 δισεκατομμύρια τόνους (≈7–8% των παγκόσμιων εκπομπών).
- Ακριβώς όπως στο βάζο, η ατμόσφαιρα της Γης είναι ένας κλειστός χώρος: το εκπεμπόμενο CO<sub>2</sub>, συσσωρεύεται.

#### Προαιρετικά – υπολογισμοί:

##### Βήμα 1: Μοριακές μάζες

Χημική ένωση	Μοριακός τύπος	Μοριακή μάζα (g/mol)
Μαγειρική σόδα	NaHCO <sub>3</sub>	84.01
Κιτρικό οξύ	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192.12

Διοξείδιο του άνθρακα	CO <sub>2</sub>	44.01
-----------------------	-----------------	-------

### Βήμα 2: Ποσότητα μαγειρικής σόδας (δεδομένα)

$$n_{\text{NaHCO}_3} = \frac{5 \text{ g}}{84.01 \text{ g/mol}} \approx 0.0595 \text{ mol}$$

### Βήμα 3: Στοιχειομετρία

Από την ισορροπημένη αντίδραση:

- 1 mol κιτρικού οξέος αντιδρά με **3 mol NaHCO<sub>3</sub>**, άρα:

$$n_{\text{citric acid}} = \frac{1}{3} \times 0.0595 \text{ mol} \approx 0.01983 \text{ mol}$$

### Βήμα 4: Απαιτείται μάζα κιτρικού οξέος

$$m_{\text{citric acid}} = n_{\text{citric acid}} \times M_{\text{citric acid}} = 0.01983 \text{ mol} \times 192.12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 3.81 \text{ g}$$

### Βήμα 5: Παράγεται CO<sub>2</sub>

Από την αντίδραση:

- Η αντίδραση παράγει **3 mol CO<sub>2</sub> ανά 3 mol NaHCO<sub>3</sub>**, άρα:

$$n_{\text{CO}_2} = 0.0595 \text{ mol}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 0.0595 \text{ mol} \times 44.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 2.62 \text{ g}$$

### Περίληψη:

- Χρειάζεται **κανείς 3,81 g κιτρικού οξέος** για να αντιδράσει με **5 g μαγειρικής σόδας**.
- Το ένα θα παράγει περίπου **2,62 g αερίου CO<sub>2</sub>** .

## 8.3 Βιολογική παραγωγή CO<sub>2</sub> – μαγιάς και ο ρόλος της θερμοκρασίας

### Στόχος:

Να παρατηρηθεί η παραγωγή CO<sub>2</sub> κατά τη ζύμωση από ζυμομύκητες και να συνδεθούν οι βιολογικές διεργασίες με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

## Διαδικασία:

### 1. Προετοιμασία:

- 1 πακέτο ξηρή μαγιά (~7 g),
- 1 κουταλάκι του γλυκού ζάχαρη,
- ζεστό νερό (30–40 °C), περίπου 100 ml
- ένα πλαστικό μπουκάλι ή βάζο,
- ένα μπαλόνι για μπουκάλι ή καπάκι για βάζο,
- έναν αισθητήρα CO<sub>2</sub> με DAQ,
- θερμόμετρο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού.

### 2. Προσθέστε μαγιά και ζάχαρη στο δοχείο, ρίξτε ζεστό νερό (μετρήστε την αρχική θερμοκρασία) και ανακατέψτε.

### 3. Κλείστε το δοχείο:

- Εάν χρησιμοποιείτε μπαλόνι, τοποθετήστε το πάνω από το λαιμό ώστε να μπορεί να φουσκώσει με αέριο (αυτή είναι μια ποιοτική επίδειξη παραγωγής αερίου για μικρότερους μαθητές)
- Εάν χρησιμοποιείτε καπάκι, συνδέστε τον αισθητήρα CO<sub>2</sub> κάτω από το καπάκι (πάνω από το υγρό) και ξεκινήστε την καταγραφή δεδομένων.

### 4. Παρατηρήστε για 15-30 λεπτά αν:

- εμφανίζεται αφρός στην επιφάνεια,
- το μπαλόνι φουσκώνει,
- ο αισθητήρας CO<sub>2</sub> παρουσιάζει σταδιακή άνοδο (συχνά αρκετές χιλιάδες ppm).

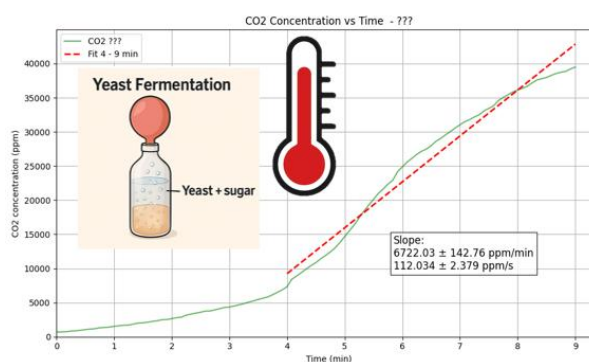
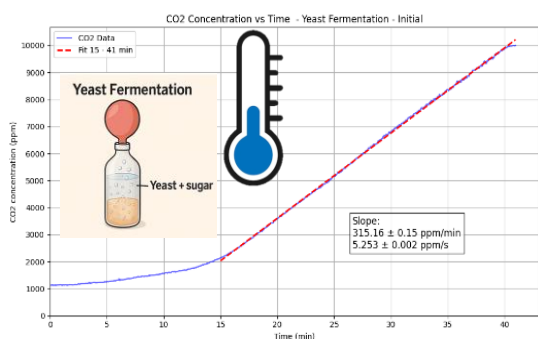
### 5. Εξάγετε τα δεδομένα (CSV) και δημιουργήστε ένα διάγραμμα διασποράς: συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (ppm) έναντι χρόνου (s). Συγκρίνετε το γράφημα με σημειώσεις για το τι είδατε να συμβαίνει (αφρός, φούσκωμα μπαλονιού).

## Επέκταση:

Ζητήστε από τους μαθητές να ετοιμάσουν πολλά δοχεία με νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες (π.χ. κρύο ~10 °C, θερμοκρασία δωματίου ~20 °C, ζεστό ~30–40 °C, ζεστό

~50 °C). Προσθέστε την ίδια ποσότητα μαγιάς και ζάχαρης στο καθένα. Καταγράψτε τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> με την πάροδο του χρόνου με τον αισθητήρα (ή συγκρίνετε το φούσκωμα του μπαλονιού). Αυτή η επέκταση επιτρέπει στους μαθητές να δοκιμάσουν πώς η θερμοκρασία επηρεάζει τον ρυθμό βιολογικής παραγωγής CO<sub>2</sub> και να προσδιορίσουν το «βέλτιστο εύρος» για τη δραστηριότητα της ζύμης. Συνδέεται άμεσα με την επιστήμη του κλίματος, καθώς η θερμοκρασία ρυθμίζει έντονα βιολογικές διεργασίες όπως η αναπνοή, η αποσύνθεση και η μικροβιακή δραστηριότητα στα εδάφη.

Στο παρακάτω παράδειγμα, ο ρυθμός απελευθέρωσης CO<sub>2</sub> αλλάζει πάνω από 20 φορές λόγω της αλλαγής της θερμοκρασίας του νερού:



### Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα;:

- Η ζύμωση είναι μια βιολογική διαδικασία κατά την οποία η μαγιά διασπά τη ζάχαρη σε αλκοόλη και CO<sub>2</sub>. Το πείραμα δείχνει ότι οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να είναι σημαντικές πηγές CO<sub>2</sub>.
- Σε παγκόσμια κλίμακα, παρόμοιες βιολογικές διεργασίες συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στη γεωργία και την παραγωγή τροφίμων. Οι αλλαγές στη γεωργία, την κτηνοτροφία και τη χρήση γης εκπέμπουν περίπου **6 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO<sub>2</sub> ετησίως** (~15–20% των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τον άνθρωπο). Η γεωργία είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς που επηρεάζουν την υπερθέρμανση του πλανήτη.
- Δραματικά οικολογικά γεγονότα μας υπενθυμίζουν την ευαισθησία των οικοσυστημάτων: για παράδειγμα, ο **μαζικός θάνατος των αντιλοπών σάιγκα**

**στο Καζακστάν το**<sup>7</sup> 2015, όπου οι κλιματικές συνθήκες επέτρεψαν βακτηριακή μόλυνση που σκότωσε πάνω από 200.000 ζώα. Τέτοιες περιπτώσεις δείχνουν πώς οι ανεπαίσθητες αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες βιολογικές αλλαγές (όπως ακριβώς μικρές μικροβιακές διεργασίες σε αυτό το πείραμα κλιμακώνονται) και να επηρεάσουν το παγκόσμιο κλίμα.

---

<sup>7</sup><https://www.theguardian.com/science/animal-magic/2016/apr/14/mass-death-saiga-antelope-kazakhstan-bacterial-infection>

## 8.4 Βιολογική παραγωγή CO<sub>2</sub> – έδαφος

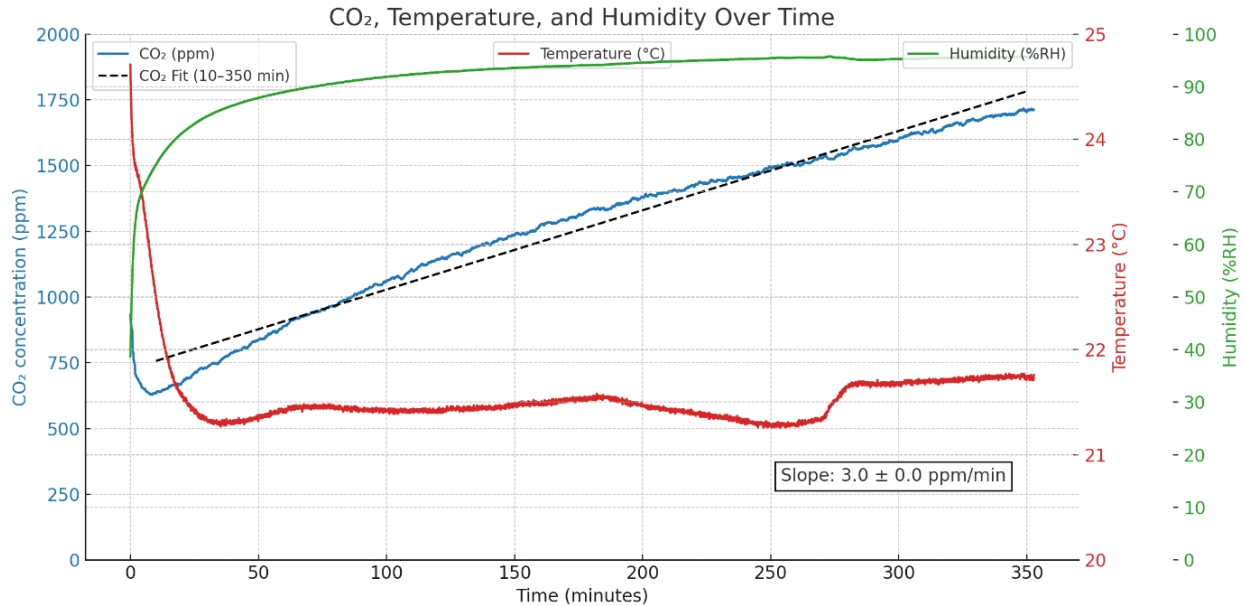
### Στόχος:

Να αποδειχθεί ότι το έδαφος είναι ένα ενεργό βιολογικό σύστημα και μπορεί να αποτελέσει πηγή CO<sub>2</sub> λόγω της μικροβιακής αναπνοής και της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης.

### Διαδικασία:

1. Ετοιμάστε ένα καθαρό βάζο και τοποθετήστε μέσα ένα μέρος υγρού χώματος (μην το συμπιέζετε).
2. Συνδέστε τον αισθητήρα CO<sub>2</sub> κάτω από το καπάκι έτσι ώστε να μην αγγίζει την επιφάνεια του εδάφους.
3. Κλείστε το βάζο και ξεκινήστε την εγγραφή δεδομένων.
4. Αφήστε τη ρύθμιση ανενόχλητη για 10–20 λεπτά.
5. Παρατηρήστε πώς αλλάζει η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> με την πάροδο του χρόνου.
6. Επαναλάβετε τη μέτρηση με ένα άδειο βάζο (ελέγχου) και συγκρίνετε τα αποτελέσματα.
7. Σχεδιάστε τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> (ppm) σε σχέση με το χρόνο (s) και συσχετίστε την καμπύλη με το τι συμβαίνει μέσα στο έδαφος.

Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει τις αλλαγές στις περιβαλλοντικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια λίγων ωρών



### Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα:

- Το έδαφος περιέχει μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών που αναπνέουν και αποσυνθέτουν την οργανική ύλη, απελευθερώνοντας CO<sub>2</sub> ως φυσικό μέρος του κύκλου του άνθρακα.
- Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα εδάφη αποθηκεύουν περισσότερο άνθρακα από ό,τι η ατμόσφαιρα και η βλάστηση μαζί. Μικρές αλλαγές στις συνθήκες του εδάφους (υγρασία, θερμοκρασία, οργανική ύλη) μπορούν επομένως να επηρεάσουν έντονα τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Οι γεωργικές πρακτικές όπως το όργωμα, η άρδευση και η λίπανση επηρεάζουν τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους και μπορούν να αυξήσουν τις εκπομπές όχι μόνο CO<sub>2</sub>, αλλά και άλλων αερίων του θερμοκηπίου όπως το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και η αμμωνία (NH<sub>3</sub>).
- Αυτό το πείραμα δείχνει ότι τα εδάφη δεν είναι παθητικές επιφάνειες αλλά δυναμικά οικοσυστήματα των οποίων η διαχείριση παίζει βασικό ρόλο στον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

## 8.5 Εισαγωγή στην Ευφυή Γεωργία

### Στόχος:

Να εισαχθεί η έννοια της έξυπνης γεωργίας χρησιμοποιώντας δεδομένα αισθητήρων για την υποστήριξη αποφάσεων σχετικά με το πότισμα των φυτών, αντί να βασίζεται σε σταθερά χρονοδιαγράμματα ή διαίσθηση.

### Διαδικασία:

1. Ετοιμάστε ένα φυτό σε γλάστρα ή ένα δοχείο με χώμα και ένα αναπτυσσόμενο φυτό.
2. Τοποθετήστε έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους στο έδαφος κοντά στις ρίζες των φυτών.
3. Συνδέστε τον αισθητήρα στη μονάδα DAQ και ξεκινήστε την εγγραφή δεδομένων.
4. Παρατηρήστε τις τιμές υγρασίας του εδάφους με την πάροδο του χρόνου υπό κανονικές συνθήκες (χωρίς πότισμα).
5. Ποτίστε το φυτό και παρατηρήστε πώς αλλάζει η ένδειξη υγρασίας του εδάφους.
6. Συνεχίστε την παρακολούθηση για αρκετές ώρες ή ημέρες για να δείτε πόσο γρήγορα στεγνώνει το έδαφος.
7. Συζητήστε ή ορίστε μια **τιμή κατωφλίου** κάτω από την οποία είναι απαραίτητο το πότισμα.

### Επέκταση:

Η δραστηριότητα έξυπνης γεωργίας μπορεί να επεκταθεί με την εισαγωγή **αυτοματοποιημένης άρδευσης**, όπου τα δεδομένα υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιούνται για την αυτόματη ενεργοποίηση του ποτίσματος (π.χ. μέσω αντλίας ή βαλβίδας ελεγχόμενης με ρελέ). Οι μαθητές μπορούν να ορίσουν τιμές κατωφλίου και να δοκιμάσουν πώς διαφορετικές στρατηγικές επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και τη χρήση του νερού.

Μια περαιτέρω επέκταση είναι η διεξαγωγή του πειράματος μέσα σε ένα **κουτί καλλιέργειας** ή ένα μίνι θερμοκήπιο, όπου ελέγχονται ή παρακολουθούνται πρόσθετες παράμετροι όπως η ένταση του φωτός, η θερμοκρασία και η υγρασία. Αυτό επιτρέπει στους μαθητές να συγκρίνουν ανοιχτά και ελεγχόμενα περιβάλλοντα, να διερευνήσουν βρόχους ανατροφοδότησης μεταξύ των κλιματικών συνθηκών και των αναγκών των φυτών και να συζητήσουν πώς η ελεγχόμενη γεωργία (π.χ. θερμοκήπια, κάθετη γεωργία) μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή της παραγωγής τροφίμων στην κλιματική αλλαγή, μειώνοντας παράλληλα τη χρήση πόρων.

### **Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα:**

- Η γεωργία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή, ειδικά στην αυξανόμενη συχνότητα ξηρασίας, τα κύματα καύσωνα και τις ακανόνιστες βροχοπτώσεις.
- Η παραδοσιακή άρδευση συχνά σπαταλά νερό ποτίζοντας πολύ νωρίς ή πολύ αργά, ενώ η έξυπνη γεωργία χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων.
- Η άρδευση με βάση αισθητήρες μειώνει την κατανάλωση νερού, τη χρήση ενέργειας και την απορροή λιπασμάτων, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη γεωργία.
- Αυτή η δραστηριότητα εισάγει τους μαθητές σε **στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή**, δείχνοντας πώς η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει τα οικοσυστήματα και τα συστήματα παραγωγής τροφίμων να αντιμετωπίσουν τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η ίδια λογική που βασίζεται σε δεδομένα χρησιμοποιείται στη γεωργία μεγάλης κλίμακας, όπου αισθητήρες, δορυφόροι και μοντέλα καθοδηγούν αποφάσεις που επηρεάζουν την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και την ανθεκτικότητα στο κλίμα.

## 8.6 Χτίζοντας ένα αυτοσυντηρούμενο σφραγισμένο οικοσύστημα – Πρόκληση PBL

### Στόχος:

Να σχεδιαστεί, να κατασκευαστεί και να παρακολουθηθεί ένα μικρό, κλειστό οικοσύστημα που μπορεί να λειτουργεί για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς εξωτερικές παρεμβάσεις, ώστε να γίνει κατανοητό πώς λειτουργούν οι αλληλεπιδράσεις, τα όρια και οι ισορροπίες σε τέτοια συστήματα.

### Διαδικασία:

1. Χωρίστε τους μαθητές σε μικρές ομάδες και παρουσιάστε την πρόκληση: *Δημιουργήστε ένα σφραγισμένο οικοσύστημα που μπορεί να διατηρηθεί για όσο το δυνατόν περισσότερο.*
2. Ζητήστε από τους μαθητές να φέρουν υλικά όπως ένα διαφανές βάζο ή δοχείο, χώμα, μικρά φυτά ή βρύα, νερό και προαιρετικά φυσικά στοιχεία (πέτρες, απορρίμματα φύλλων).
3. Ζητήστε από τους μαθητές να σχεδιάσουν το οικοσύστημά τους πριν το κατασκευάσουν, λαμβάνοντας υπόψη:
  - ο ποσότητα νερού,
  - ο τύπος και αριθμός φυτών,
  - ο παρουσία εδάφους και οργανικής ύλης,
  - ο διαθέσιμο φως.
4. Τοποθετήστε τους αισθητήρες CO<sub>2</sub>, θερμοκρασίας και υγρασίας που είναι συνδεδεμένοι στο DAQ μέσα στο βάζο (προσαρτημένοι στο καπάκι).
5. Ξεκινήστε την καταγραφή δεδομένων και σφραγίστε το δοχείο.
6. Παρακολουθήστε τις αλλαγές με την πάροδο του χρόνου (ώρες, ημέρες ή εβδομάδες) – συγκρίνετε τις μετρήσεις δεδομένων με ορατές αλλαγές στην κατάσταση των φυτών (ανάπτυξη, μαρασμός, συμπύκνωση).

### Τι σχέση έχει αυτό με το κλίμα:

- Ένα σφραγισμένο οικοσύστημα είναι ένα μοντέλο του συστήματος της Γης: η ενέργεια εισέρχεται κυρίως ως ηλιακό φως, ενώ η ύλη κυκλοφορεί εσωτερικά.
- Μικρές ανισορροπίες στον άνθρακα, το νερό ή την ενέργεια μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, όπως και στο πραγματικό κλιματικό σύστημα.
- Τα αυξανόμενα επίπεδα CO<sub>2</sub>, η υπερθέρμανση ή η ανισορροπία του νερού μέσα στο βάζο αντικατοπτρίζουν παγκόσμιες προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή, η ξηρασία ή η κατάρρευση του οικοσυστήματος.
- Αυτή η δραστηριότητα υπογραμμίζει βρόχους ανάδρασης (π.χ. φωτοσύνθεση φυτών έναντι αναπνοής), καθυστερήσεις και σημεία καμπής — βασικές έννοιες στην επιστήμη του κλίματος.
- Σχεδιάζοντας και δοκιμάζοντας τα δικά τους οικοσυστήματα, οι μαθητές βιώνουν πώς οι ανθρώπινες αποφάσεις επηρεάζουν την περιβαλλοντική σταθερότητα, ενισχύοντας την ιδέα ότι το κλίμα της Γης δεν είναι απείρως ανθεκτικό.

### Προαιρετικές ερωτήσεις προβληματισμού:

- Τι έκανε ορισμένα οικοσυστήματα πιο σταθερά από άλλα;
- Το σύστημα έφτασε σε ισορροπία ή οδηγήθηκε προς την αποτυχία;
- Ποιες διαδικασίες ήταν γρήγορες και ποιες αργές;
- Με ποιους τρόπους η Γη μοιάζει και *διαφέρει από* ένα οικοσύστημα βάζων;

# Παρακολούθηση και περίληψη μετά το μάθημα

## 9. Θέματα Συζήτησης

Τα ακόλουθα θέματα συζήτησης βοηθούν τους μαθητές να προβληματιστούν σχετικά με τις μετρήσεις τους και να συνδέσουν τα πειραματικά αποτελέσματα με ευρύτερες οικοσυστημικές και κλιματικές διαδικασίες:

- **Διαφορετικές πηγές CO<sub>2</sub>:** Πώς διέφερε η παραγωγή CO<sub>2</sub> μεταξύ χημικών αντιδράσεων, βιολογικών διεργασιών (μαγιά, έδαφος) και αναπνοής μέσα σε σφραγισμένα οικοσυστήματα; Ποιες πηγές ήταν γρήγορες και ποιες σταδιακές;
- **Κλειστά έναντι ανοιχτών συστημάτων:** Πώς συμπεριφέρθηκε το CO<sub>2</sub> σε υπαίθριους χώρους, αεριζόμενους χώρους, βάζα και σφραγισμένα οικοσυστήματα; Πώς μας βοηθά αυτό να κατανοήσουμε την ατμόσφαιρα της Γης ως σύστημα; Είναι η Γη ανοιχτό ή κλειστό σύστημα;
- **Από τα ppm στην κλιματική αλλαγή:** Πώς συγκρίνεται μια βραχυπρόθεσμη αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> με τη μακροπρόθεσμη αύξηση που παρατηρείται από την προβιομηχανική εποχή; Γιατί είναι σημαντική μια φαινομενικά μικρή αλλαγή στα ppm σε παγκόσμια κλίμακα;
- **Βρόχοι ανάδρασης και σημεία καμπής:** Ποια πειράματα έδειξαν σταθεροποιητικές ανατροφοδοτήσεις (π.χ. ανάπτυξη φυτών); Ποιο έδειξε ανεξέλεγκτα αποτελέσματα ή αποτυχία συστήματος; Πώς σχετίζονται αυτά με τα πραγματικά σημεία καμπής του κλίματος;
- **Μέτρηση και αβεβαιότητα:** Ποιους περιορισμούς παρατηρήσατε στους αισθητήρες και την καταγραφή δεδομένων (χρόνος προθέρμανσης, αδράνεια, θόρυβος); Πώς εξηγούν οι επιστήμονες παρόμοια ζητήματα στην έρευνα για το κλίμα;
- **Λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων:** Πώς οι μετρήσεις καθοδήγησαν τις δράσεις στην ευφυή γεωργία και τον σχεδιασμό οικοσυστημάτων; Γιατί είναι

απαραίτητη η λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή σε αυτήν;

- **Ανθρώπινη ευθύνη:** Ποιες πειραματικές παρεμβάσεις μοιάζουν με ανθρώπινες ενέργειες σε πραγματικά οικοσυστήματα; Ποια μαθήματα προσφέρουν αυτά τα πειράματα για τη βιώσιμη διαχείριση της γης, της γεωργίας και των εκπομπών;

## 10. Εκτίμηση

Η αξιολόγηση επικεντρώνεται στη **διαδικασία, την κατανόηση και τον προβληματισμό**, παρά στα σωστά αριθμητικά αποτελέσματα. Ο στόχος είναι να αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι μαθητές χρησιμοποιούν τις μετρήσεις για να συλλογιστούν σχετικά με τα οικοσυστήματα και το κλίμα.

### **Διαμορφωτική αξιολόγηση (κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων)**

Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να παρατηρήσουν και να αξιολογήσουν την ικανότητα των μαθητών να:

- ρυθμίζουν σωστά τους αισθητήρες και να καταγράφουν δεδομένα.
- καταγράφουν παρατηρήσεις μαζί με αριθμητικά δεδομένα.
- αναγνωρίζουν τους περιορισμούς μέτρησης (προθέρμανση αισθητήρα, αδράνεια, θόρυβος).
- συσχετίζουν τις αλλαγές στα γραφήματα με πειραματικές ενέργειες και περιβαλλοντικές διεργασίες.
- συνεργάζονται αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια ομαδικών εργασιών.

### **Αξιολόγηση βάσει προβληματισμού**

Για να δοθεί έμφαση στην κατανόηση έναντι της απομνημόνευσης, οι μαθητές μπορούν να απαντήσουν σε ανοιχτές ερωτήσεις όπως:

- Τι έδειξαν οι μετρήσεις που δεν ήταν εμφανείς με την πρώτη ματιά;

- Ποιο πείραμα άλλαξε περισσότερο την κατανόησή σας για το CO<sub>2</sub> και τα οικοσυστήματα και γιατί;
- Πώς η μέτρηση ενός μικρού συστήματος μας βοηθά να κατανοήσουμε τις παγκόσμιες κλιματικές διαδικασίες;

## 11. ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Οι εκπαιδευτικοί και οι μαθητές ενθαρρύνονται να σχεδιάσουν τις δικές τους επεκτάσεις χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό που παρέχεται στην εργαλειοθήκη ή επεκτείνοντας τις δυνατότητές της. Η μονάδα DAQ υποστηρίζει πολλαπλούς τύπους αισθητήρων, ενώ πλατφόρμες όπως το micro:bit επιτρέπουν πρόσθετο προγραμματισμό και προσαρμογή.

### 1. Παρακολούθηση κομπόστ και οργανικών αποβλήτων

Μετρήστε το CO<sub>2</sub> (και προαιρετικά άλλα αέρια) που απελευθερώνεται κατά την κομποστοποίηση ή την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων, καθώς και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σωρού. Αυτή η δραστηριότητα συνδέει τη διαχείριση απορριμμάτων, τη βιολογική δραστηριότητα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

### 2. Πραγματικές μετρήσεις οικοσυστήματος

Κάνετε μετρήσεις έξω από την τάξη, όπως σε σχολικό κήπο, πάρκο, την άκρη του δάσους ή υγρότοπο – πάρτε το DAQ σε ταξίδια και διακοπές, δημιουργήστε «κουλτούρα έρευνας».

### 3. Έργα μακροπρόθεσμης παρακολούθησης

Επαναλάβετε τις μετρήσεις για εβδομάδες ή μήνες για να παρατηρήσετε αργές αλλαγές στα οικοσυστήματα. Αυτό βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τις μακροπρόθεσμες τάσεις, τις εποχιακές επιπτώσεις και τη διαφορά μεταξύ βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων και διαρκούς αλλαγής.

### 4. Σύγκριση διαφορετικών τύπων οικοσυστημάτων

Σχεδιασμός και παρακολούθηση πολλαπλών οικοσυστημάτων (π.χ. εδάφους, υδρόβια, βρύα, υδροπονικά) και σύγκριση της ανταλλαγής αερίων, της σταθερότητας και της ανθεκτικότητάς τους.

### 5. Σύνδεση μετρήσεων εδάφους με εξωτερικά δεδομένα

Συνδυάστε δεδομένα αισθητήρων με τοπικά αρχεία καιρού, δεδομένα ποιότητας αέρα ή δορυφορικές παρατηρήσεις. Αυτό εισάγει τους μαθητές στην

περιβαλλοντική ανάλυση πολλαπλών πηγών που χρησιμοποιείται στην πραγματική έρευνα για το κλίμα.

**6. Κατασκευή συστημάτων IoT για περιβαλλοντική παρακολούθηση**

Επεκτείνετε το έργο συνδέοντας αισθητήρες και μονάδες DAQ στο διαδίκτυο, επιτρέποντας την απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα, πίνακες εργαλείων ή ειδοποιήσεις.