



ΜΠΕΝΑΚΕΙΟ  
ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

# Γεωργία άνθρακα και εκτίμηση εκπομπών, τι μετράμε, τι εκτιμούμε και τι δεν γνωρίζουμε

Δρ Μαρία Ντούλα

Διευθύντρια Ερευνών

Προϊσταμένη Εργαστηρίου Μη Παρασιτικών Ασθενειών,  
Εδαφικών πόρων και Γεωπληροφορικής

# Τι είναι η “Περιβαλλοντική Πρόκληση”

Η ύπαρξη κρίσεων στο περιβάλλον, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον του. Μπορεί να είναι τοπικής, περιφερειακής ή εθνικής κλίμακας, καθώς και διασυνοριακή (π.χ. ρύπανση του Δούναβη, ατμοσφαιρική ρύπανση, βιομηχανικά ατυχήματα).

**Σχετικά αναφέρονται σχετικές στη διεθνή βιβλιογραφία:**

- Αποψίλωση των δασών
- Ερημοποίηση
- Ταχεία αύξηση του πληθυσμού
- Παραγωγή τροφίμων και δίκαιη κατανομή τους
- Παγκόσμια υπερθέρμανση
- Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος
- Όξινη κατακρήμνιση και ατμοσφαιρική ρύπανση
- Ρύπανση των ωκεανών
- .....

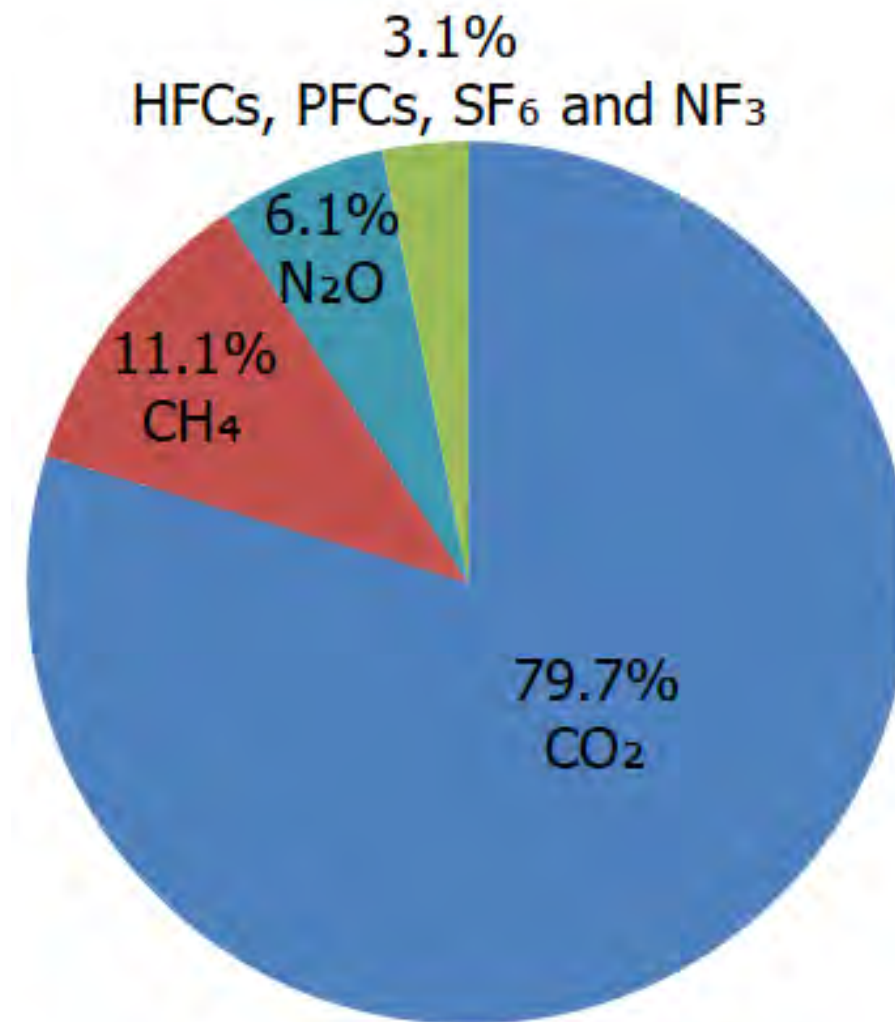
**Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος επισημαίνει, μεταξύ άλλων, τα ακόλουθα:**

- Κλιματική αλλαγή
- Βιοποικιλότητα – απώλεια βιοποικιλότητας
- Υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων
- Άνοδος της στάθμης της θάλασσας
- Οξίνιση των ωκεανών
- Απόβλητα
- Υγεία και ποιότητα ζωής
- Πληθυσμός

# Τα αέρια θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου, δηλαδή τα αέρια που παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα, περιλαμβάνουν τα εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )
- Μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ )
- Υποξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Φθοριούχα αέρια, όπως:
  - Υδροφθοράνθρακες (HFCs)
  - Περφθοράνθρακες (PFCs)
  - Εξαφθοριούχο θείο ( $\text{SF}_6$ )
  - Τριφθοριούχο άζωτο ( $\text{NF}_3$ )



## Η γεωργία αποτελεί σημαντική πηγή CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

Η γεωργία ευθύνεται για το 39% των εκπομπών CH<sub>4</sub> και το 78% των εκπομπών N<sub>2</sub>O.

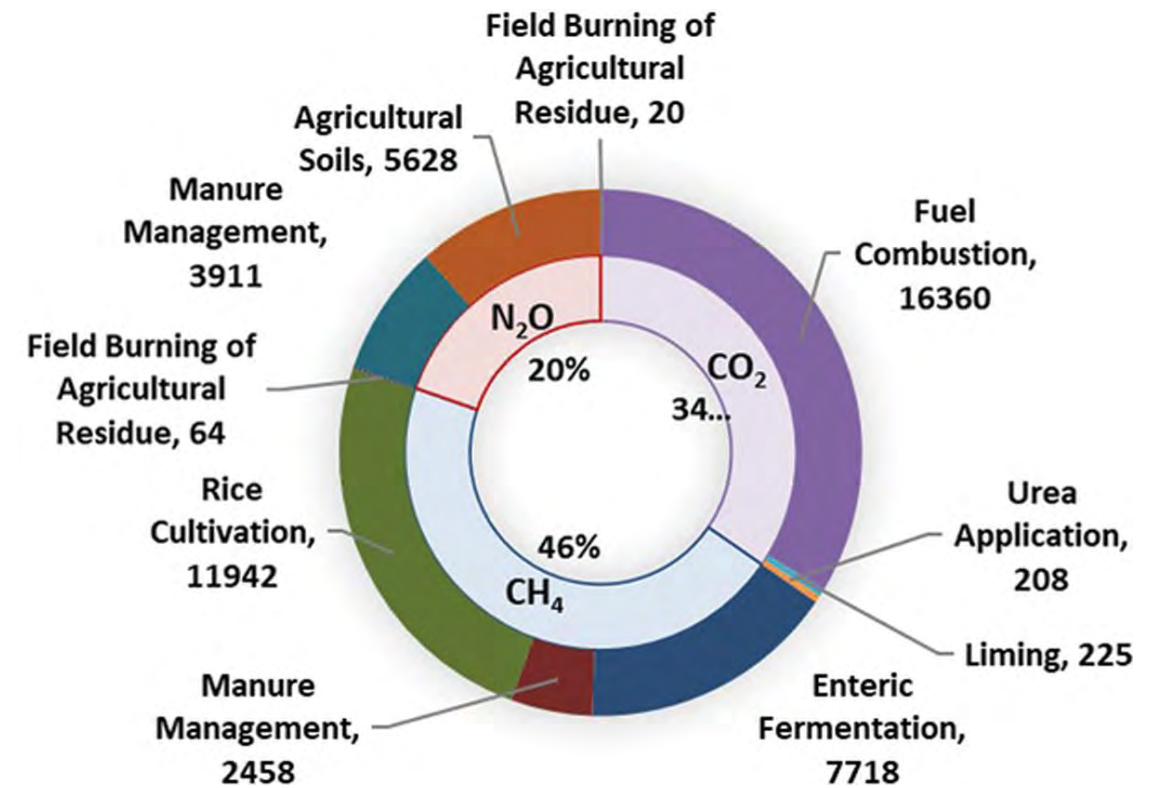
Το CH<sub>4</sub> είναι αέριο **βραχείας διάρκειας ζωής**, με χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα **11,8 έτη**.

Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε ορίζοντα 100 ετών είναι 27 φορές υψηλότερο από αυτό του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Οι ορυζώνες αποτελούν σημαντική πηγή CH<sub>4</sub>, συνεισφέροντας το 9% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών μεθανίου (Canadell et al., 2021).

Το N<sub>2</sub>O είναι **μεγάλης διάρκειας ζωής**, με χρόνο παραμονής **109 έτη**. Το δυναμικό υπερθέρμανσής του είναι 273 φορές υψηλότερο από εκείνο του CO<sub>2</sub>, ενώ συμβάλλει και στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος.

Η γεωργία αποτελεί τη σημαντικότερη ανθρωπογενή πηγή N<sub>2</sub>O, αντιπροσωπεύοντας το 51% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών του.



## Κλιματικός Νόμος της ΕΕ :

Δέσμευση για κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050.





Μείωση εκπομπών τουλάχιστον κατά 55% μέχρι το 2030  
και κατά 90% για το 2040.

# What is the European Green Deal?


December 2019  
#EUGreenDeal


The European Green Deal is about **improving the well-being of people**. Making Europe climate-neutral and protecting our natural habitat will be good for people, planet and economy. No one will be left behind.


**The EU will:**


-  Become climate-neutral by 2050
-  Protect human life, animals and plants, by cutting pollution
-  Help companies become world leaders in clean products and technologies
-  Help ensure a just and inclusive transition

*"The European Green Deal is our new growth strategy. It will help us cut emissions while creating jobs."*  
Ursula von der Leyen, President of the European Commission

 *"We propose a green and inclusive transition to help improve people's well-being and secure a healthy planet for generations to come."*  
Frans Timmermans, Executive Vice-President of the European Commission

 **93%** of Europeans see climate change as a serious problem

 **93%** of Europeans have taken at least one action to tackle climate change

 **79%** agree that taking action on climate change will lead to innovation

## Στρατηγική για το Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)



### > Why an EU Methane Strategy?



Methane (CH<sub>4</sub>) is the second biggest contributor to climate change after carbon dioxide (CO<sub>2</sub>).

Reducing worldwide methane emissions by **50% over the next 30 years** could mitigate global temperature change by 0.18°C by 2050. It is an important building block for the Paris Agreement.

Methane is also a **powerful local air pollutant**, causing serious health problems.

Accelerating action on methane is **essential to achieve climate neutrality by 2050**, and reduce greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030.

### > Where does it come from?

**Agriculture, waste** and **energy** account for up to 95% of human-made methane emissions worldwide. In Europe, this share is even higher:



**53%**  
agriculture

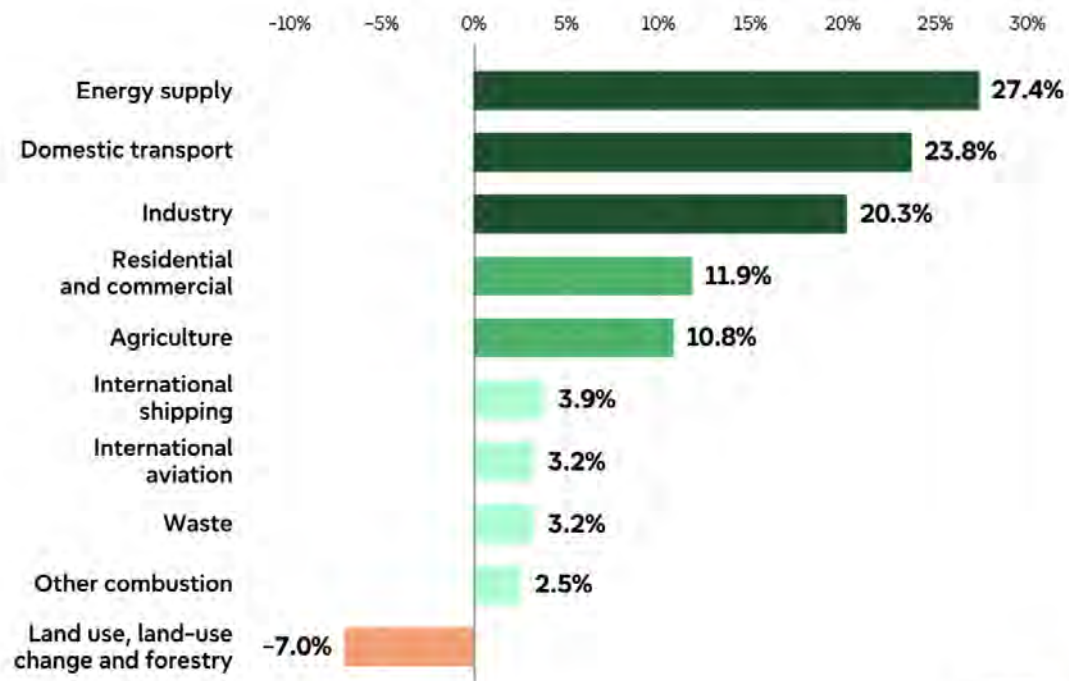


**26%**  
waste



**19%**  
energy

## share of total emissions estimated in CO2 equivalent (2022)

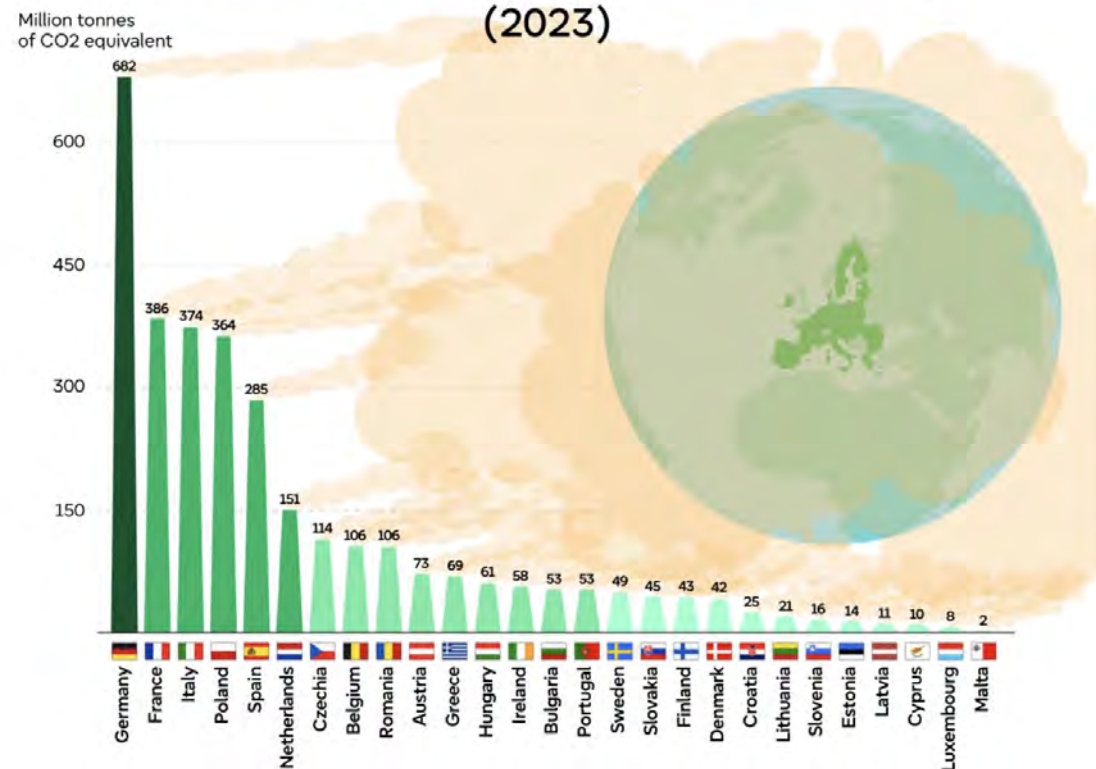


Source: European Environment Agency



Infographic showing the share of greenhouse gas emissions by sector in the EU in 2022

## Total greenhouse gas emissions per EU country (2023)

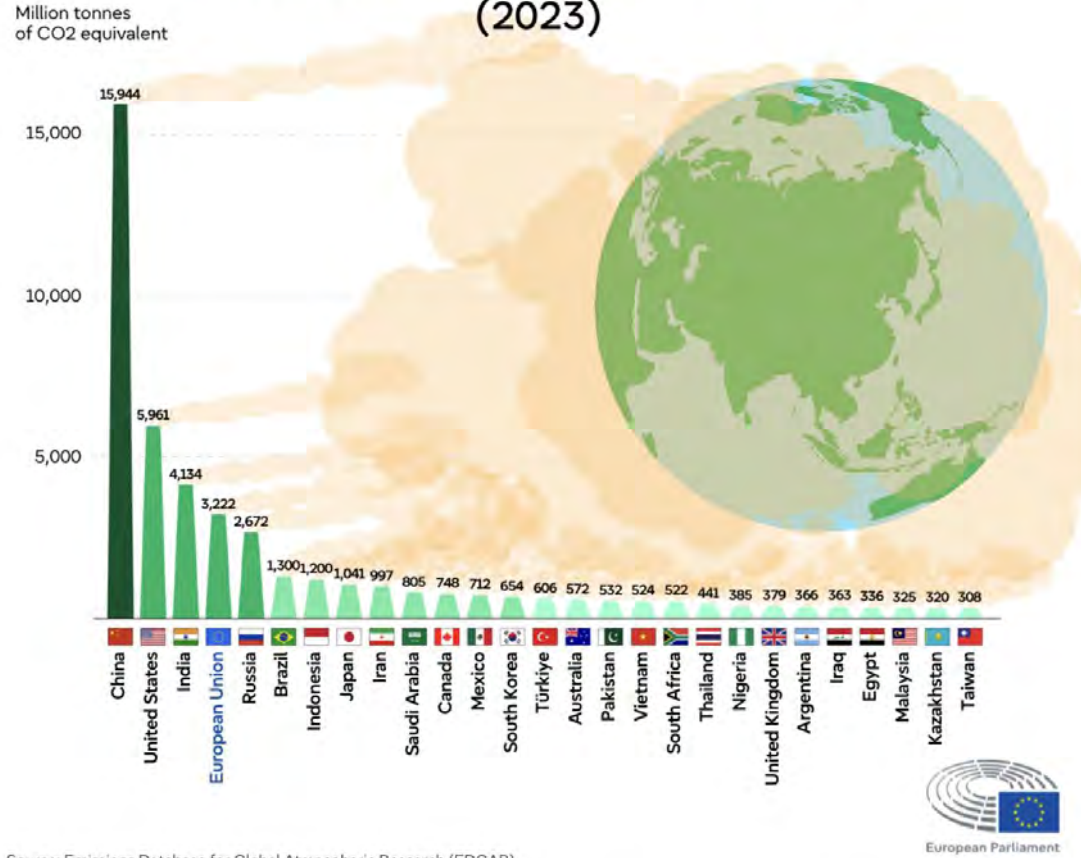


Data for France include Monaco; data for Spain include Andorra; and data for Italy include San Marino and the Holy See.  
Source: Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)



# Top greenhouse gas emitters in the world

(2023)



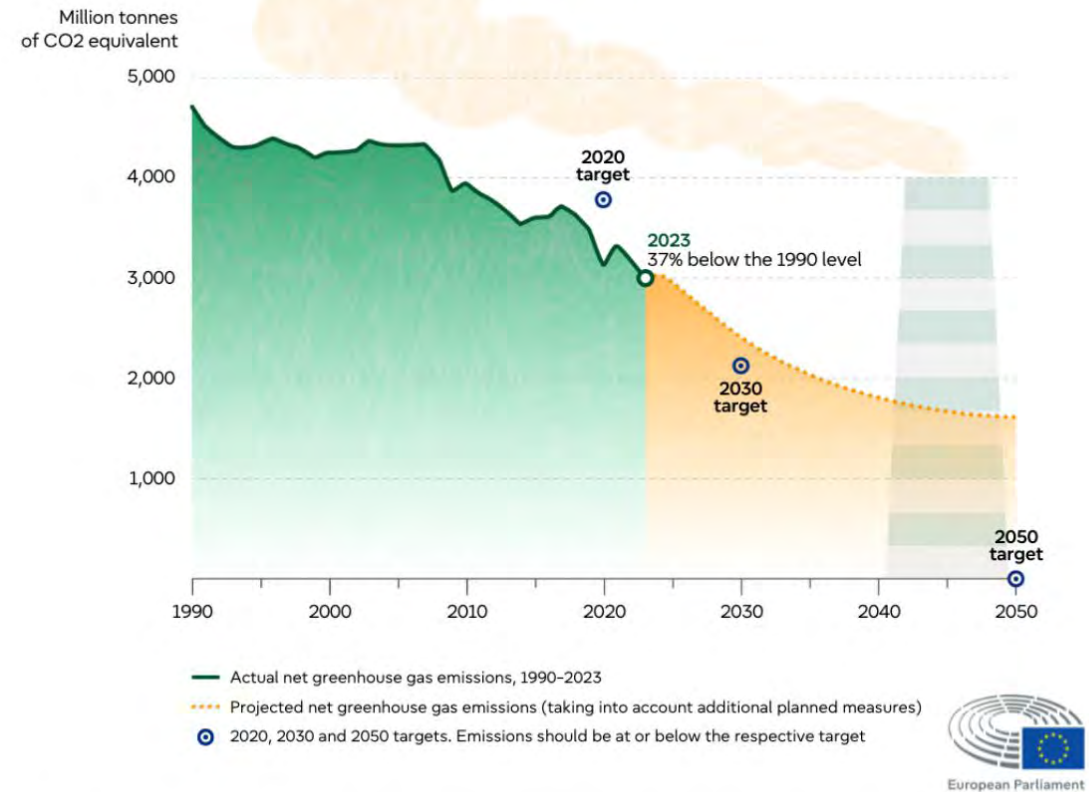
Source: Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)

Infographic comparing total greenhouse gas emissions by countries worldwide in 2023

# EU greenhouse gas emissions:

historical data, projections and targets

1990-2050



Source: European Environment Agency

---

**Κιλό φυστίκια Αιγίνης = 4,76 κιλά CO<sub>2</sub>**

**Μπουκάλι κρασί (0,75L) = 1,1 κιλά CO<sub>2</sub>**

**Ένα καινούργιο αυτοκίνητο 0,12 κιλά CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο**

**1κιλό φυστίκια = 39,66 χιλιόμετρα!**

## Ένα παράδειγμα βελτίωσης εκπομπών

2019- 9 στρεμματα		CO <sub>2</sub> , kg/γ	ΜΙΚΡΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	CO <sub>2</sub> , kg/γ
Αζωτούχα λιπάσματα	67,5 κιλα	420	Μείωση 20%	336
Συγκαλλιέργεια πατάτας	Απόδοση 900 κιλά	44,2	Ως έχει	44,2
Εφαρμογή ουρίας	80 κιλα	58	Ως έχει	58
Καύσιμα	50 λιτρα πετρέλαιο	260	Μείωση 10%	234
Καύση		24,7	Όχι καύση	0
			Κομποστοποίηση 2 τόνους αποβλήτων	-343
<b>Συνολο</b>		<b>806,9</b>		<b>329</b>
Ανά κιλό προϊόντος	Απόδοση 170 κιλά/εκτάριο	<b>4,76 κιλα CO<sub>2</sub>/κιλο</b>		<b>1,94 κιλα CO<sub>2</sub>/κιλο</b>

Σχεδόν 60% ελάττωση εκπομπών CO<sub>2</sub><sub>10</sub>


# Προσδιορισμός εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ενός προϊόντος

Όταν θέλουμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για ένα προϊόν, **το πρώτο και πιο βασικό βήμα** είναι να ορίσουμε τη λειτουργική μονάδα (FUNCTIONAL UNIT-FU).

Η λειτουργική μονάδα είναι η «μονάδα αναφοράς» μας. Είναι το συγκεκριμένο, μετρήσιμο μέγεθος πάνω στο οποίο θα βασιστούν όλοι οι υπολογισμοί και απαντά στο ερώτημα: **για πόσο προϊόν μιλάμε;**

Για παράδειγμα:

- 1 κιλό πατάτες
- 1 λίτρο ελαιόλαδο
- 1 φιάλη κρασί 0,75 L
- 1 τόνος σιτάρι

 Χωρίς σαφή ορισμό της λειτουργικής μονάδας, οι υπολογισμοί δεν μπορούν να συγκριθούν ούτε να έχουν νόημα.

Αν μια μελέτη υπολογίζει εκπομπές «ανά κιλό» και μια άλλη «ανά στρέμμα», τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα.

# Ένα παράδειγμα ορισμού Λειτουργικής Μονάδας



**Agricultural Product:** Red Wine – Ktima Kyr Yianni



## Ramnista: 0.75 L bottle

**Variety :** 100% Xinomavro (old vines)

**Market Value:** 14-17 euro

**Ageing:** 10-15 years

**Cellaring:** 218 months in 225-L and 500-L French and American oak casks plus further ageing in bottle for another 6 months

**Taste/Org. characteristics:** Rare aromatic complexity with intense tannin structure and robust acidity.

### Analytical Data

13%

Alcohol

3,42

pH

5,4  
g/L

Titratable  
Acidity

0,57  
g/L

Volatile  
Acidity

2,7  
g/L

Residual  
Sugar

n/a

Phenolic  
index



# Όρια συστήματος

Το επόμενο βασικό βήμα είναι να καθορίσουμε τα **όρια του συστήματος (System Boundaries)**.

Τα όρια του συστήματος ορίζουν ποια στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος θα συμπεριληφθούν στον υπολογισμό των εκπομπών και ποια θα εξαιρεθούν. Αποφασίζουμε **μέχρι ποιο σημείο θα γίνει η ανάλυση**.

**Οι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται είναι:**

## **Gate to Gate-Από πύλη σε πύλη**

Περιλαμβάνει μόνο ένα συγκεκριμένο στάδιο ή εγκατάσταση της παραγωγικής διαδικασίας.

Παράδειγμα: μόνο το οινοποιείο ή μόνο το συσκευαστήριο ή μόνο το χωράφι.

## **Cradle to Gate-Από την αρχή της παραγωγής έως την πύλη**

Περιλαμβάνει όλα τα στάδια από την παραγωγή **των πρώτων υλών** μέχρι το προϊόν να φύγει από την πύλη.

Παράδειγμα: προέλευση πρώτων υλών καλλιέργειας-καλλιέργεια αμπελιού, πρώτες ύλες εμφιάλωσης-εμφιάλωση, αλλά **όχι η διανομή**.

## **Gate to Grave-Από την πύλη έως το τέλος ζωής του προϊόντος**

Ξεκινά από τη στιγμή που το προϊόν φεύγει από την πύλη και περιλαμβάνει διανομή, χρήση και τελική διαχείριση (ανακύκλωση ή διάθεση).

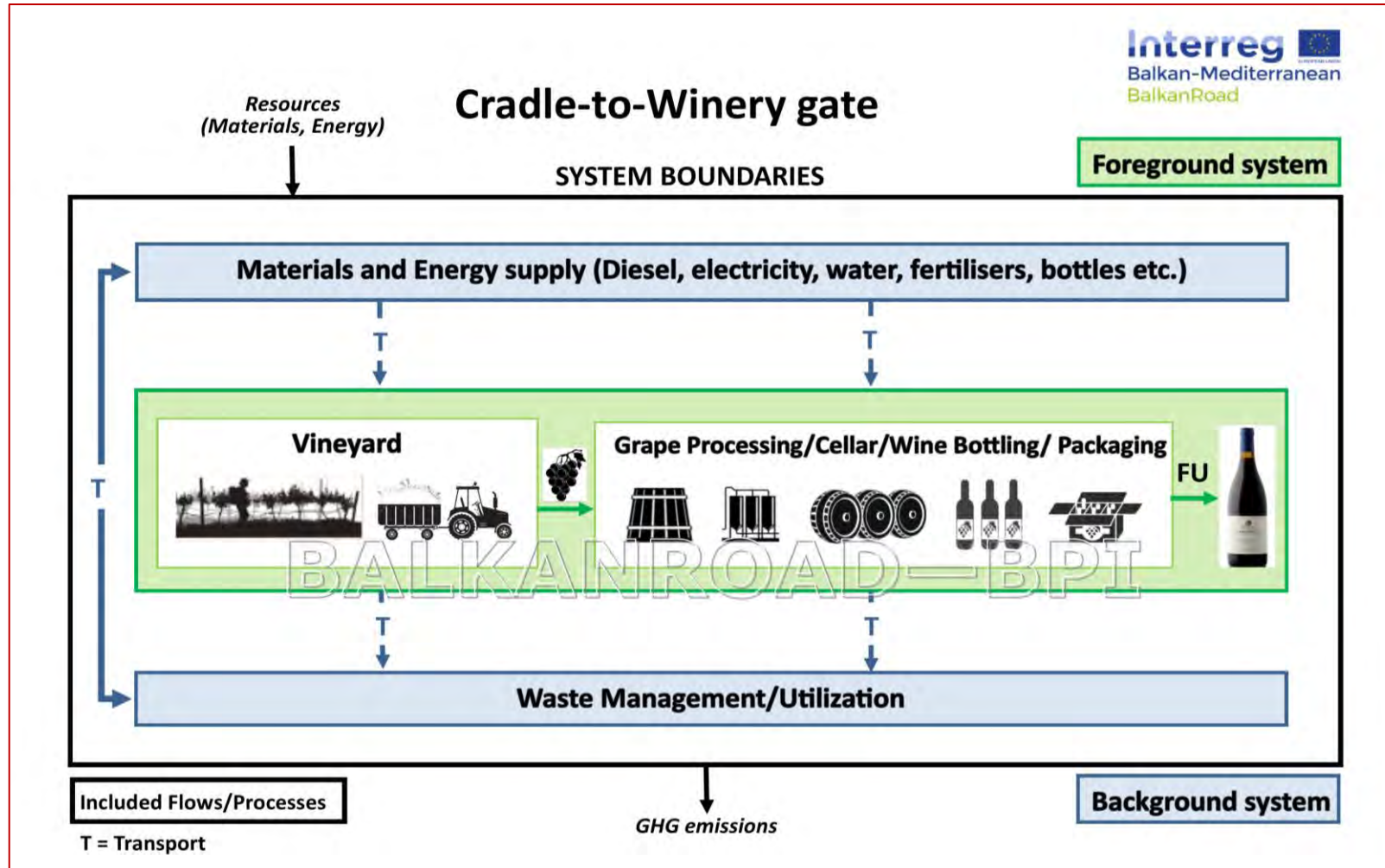
## **Cradle to Grave-Από την αρχή έως το τέλος ζωής του προϊόντος**

Περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής: πρώτες ύλες, παραγωγή, μεταφορά, χρήση και τελική διαχείριση.

## **Συμπέρασμα**

Η λειτουργική μονάδα μάς λέει **τι μετράμε**, ενώ τα όρια του συστήματος μάς λένε **από που έως που το μετράμε**.

# Ένα παράδειγμα παρουσίασης Ορίων Συστήματος





## Παραδοχές

Στους υπολογισμούς ανθρακικού αποτυπώματος γίνονται **παραδοχές (assumptions)**, οι οποίες πρέπει να δηλώνονται ξεκάθαρα, καθώς επηρεάζουν ουσιαστικά το τελικό αποτέλεσμα.

Παράδειγμα παραδοχών για κρασί :

- Χρησιμοποιήθηκε το **ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας του 2016** για την ηλεκτρική ενέργεια (άρδευση, οινοποίηση, εμφιάλωση). Αν αλλάξει το έτος ή το ποσοστό ΑΠΕ, αλλάζει και το αποτύπωμα.
- Υποτέθηκε συγκεκριμένος **χρόνος ζωής αντλίας (20 έτη)** και συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά γεώτρησης. Διαφορετικό βάθος ή απόδοση σημαίνει διαφορετική κατανάλωση ενέργειας.
- Επιλέχθηκε τυπικό **μέγεθος τρακτέρ (80 HP)** και συγκεκριμένη κατανάλωση diesel ανά εργασία. Άλλος εξοπλισμός δίνει διαφορετικό αποτέλεσμα.
- Ορίστηκαν συγκεκριμένες **αποστάσεις μεταφοράς** και τύποι φορτηγών. Αν η αγορά είναι πιο κοντά ή πιο μακριά, το αποτέλεσμα μεταβάλλεται.
- Ορισμένα στάδια, όπως η βραχυχρόνια αποθήκευση, **εξαιρέθηκαν** επειδή θεωρήθηκαν αμελητέα.

CO<sub>2</sub>

SF<sub>6</sub>

CH<sub>4</sub>

N<sub>2</sub>O

HFCs

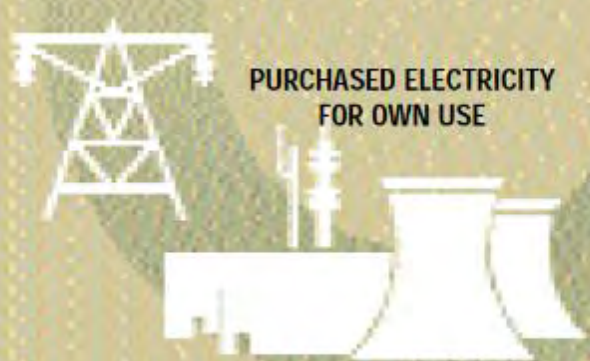
PFCs



SCOPE 1  
DIRECT

SCOPE 2  
INDIRECT

SCOPE 3  
INDIRECT



PURCHASED ELECTRICITY  
FOR OWN USE



FUEL COMBUSTION



COMPANY OWNED  
VEHICLES



PRODUCT  
USE

PRODUCTION OF  
PURCHASED MATERIALS

OUTSOURCED ACTIVITIES



EMPLOYEE BUSINESS TRAVEL

WASTE DISPOSAL

CONTRACTOR OWNED  
VEHICLES

# Εφαρμογή-Αγρός

## Score 1 – Άμεσες εκπομπές στο αγρόκτημα

Εκπομπές που παράγονται **μέσα στο χωράφι ή στη μονάδα:**

•Καύσιμα από τρακτέρ και αγροτικά μηχανήματα, πετρέλαιο για αντλίες άρδευσης ή γεννήτριες, εκπομπές από λίπανση, μεθάνιο από ζώα ή κοπριά, διαρροές ψυκτικών από ψυγεία/θαλάμους

👉 Ό,τι συμβαίνει «εντός του αγρού».

## Score 2 – Εκπομπές από αγοραζόμενη ενέργεια

Εκπομπές που προκύπτουν για να παραχθεί η **ηλεκτρική ενέργεια** που χρησιμοποιεί η εκμετάλλευση.

•Ρεύμα για άρδευση, ρεύμα για ψυκτικούς θαλάμους, ρεύμα για συσκευαστήριο

👉 Δεν καίγεται στο χωράφι, αλλά κάπου αλλού για λογαριασμό του χωραφιού.

## Score 3 – Εκπομπές από την αλυσίδα παραγωγής

Όλες οι υπόλοιπες εκπομπές που συνδέονται με το προϊόν.

•Παραγωγή και μεταφορά λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, μεταφορά προϊόντων στο συσκευαστήριο ή στο σούπερ μάρκετ, αποθήκευση και διάθεση προϊόντων

👉 Από το εργοστάσιο παραγωγής των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στον αγρό μέχρι το ράφι (cradle to gate? Ναι, αλλά όχι πάντα...Score 3 είναι και οι εκπομπές από ένα τρακτέρ που ενοικιάστηκε για να οργώσει τον αγρό)



<https://decode6.org/articles/what-are-scope-1-2-and-3-emissions/>

Το ανθρακικό αποτύπωμα μετρά τις εκπομπές άνθρακα που συνδέονται με μια συγκεκριμένη δραστηριότητα ή προϊόν.

## Ποσοτικοποίηση εκπομπών

$$\text{Εκπομπές GHG} = \text{Ποσότητα} \times \text{Συντελεστής εκπομπής (EF)}$$

Ο συντελεστής εκπομπών (Emission Factor – EF) είναι ένας συντελεστής που περιγράφει τον ρυθμό με τον οποίο μια συγκεκριμένη δραστηριότητα απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

$$\text{Βενζίνη : EF} = 2,2176 \text{ Kg CO}_2/\text{L}$$

$$\text{Βενζίνη: EF} = 0,00688 \text{ Kg CH}_4/\text{L}$$

$$\text{Βενζίνη: EF} = 0,00631 \text{ Kg N}_2\text{O}/\text{L}$$

# Συντελεστές εκπομπής καυσίμων

Type of fuel	EF, tCO <sub>2</sub> /TJ	MJ/Lit = GJ/m <sup>3</sup> Energy content	FOR CO <sub>2</sub>	FOR CH <sub>4</sub>	FOR N <sub>2</sub> O
			Multiply factor, KgCO <sub>2</sub> /l	Multiply factor, KgCO <sub>2</sub> /L	Multiply factor, KgCO <sub>2</sub> /l
LPG	63,1	24	1,5144	0,00101	0,00099
GASOLINE or petrol	69,3	32	2,2176	0,00688	0,00631
KEROSANE	71,9	37,68	2,709192	0,00942	0,006737
DIESEL OIL	74,1	36	2,6676	0,0003	0,03425
HEAVY FUEL OIL	77,4		3,17966	0,00411	0,00771
NATURAL GAS *	56,1	35,5	1,99155	0,00267	0,00107

Abbr.	Prefix name	Decimal size
K	kilo-	10 <sup>3</sup>
M	mega-	10 <sup>6</sup>
G	giga-	10 <sup>9</sup>
T	tera-	10 <sup>12</sup>
P	peta-	10 <sup>15</sup>
E	exa-	10 <sup>18</sup>

## Συντελεστές Εκπομπής-Ηλεκτρισμός

	Conventional electricity production- CoM EF based on LCA, tCO <sub>2</sub> /MWh
Greece	0,5722
Cyprus	0,817
EU-28	0,444

TABLE 1"RENEWABLE ENERGY

	Emission Factor. tCO <sub>2</sub> eq/MWh
WIND	0,01
Hydroelectric	0,006
Photovoltaics	0,03
Solar thermal	0,04
geothermal	0,05

# Γεωργία

Emission	Compartment	Value to be applied
N <sub>2</sub> O (synthetic fertiliser and manure; direct and indirect)	Air	<b>0.022 kg N<sub>2</sub>O/ kg N fertilizer applied</b>

Στη γεωργία λαμβάνουμε υπόψη τις εκπομπές που προέρχονται από:

- Υλικά που περιέχουν άζωτο, όπως τα ανόργανα και οργανικά λιπάσματα, τα οποία οδηγούν σε εκπομπές N<sub>2</sub>O από το έδαφος.
- Εκπομπές CO<sub>2</sub> που σχετίζονται με εδαφικές διεργασίες και διαχείριση εδάφους.
- Εδαφοβελτιωτικά υλικά, όπως ο ασβέστης (CaCO<sub>3</sub>), τα οποία κατά την εφαρμογή τους προκαλούν εκπομπές CO<sub>2</sub>.

Δηλαδή, δεν εξετάζουμε μόνο την καύση καυσίμων, αλλά και τις βιογεωχημικές διεργασίες που συμβαίνουν στο έδαφος μετά την εφαρμογή εισροών.

## Κομπόστ / Κοπριά (Composts / Manure):

Η συγκέντρωση αζώτου στο κομπόστ κυμαίνεται συνήθως μεταξύ **1% και 3%** (επί ξηράς ουσίας). Με την εφαρμογή του στο έδαφος εισάγεται άζωτο, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές N<sub>2</sub>O μέσω των διεργασιών νιτροποίησης και απονιτροποίησης.

Παράλληλα, σε συνθήκες μειωμένου οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά την αποθήκευση ή την εφαρμογή οργανικών υλικών, μπορεί να παραχθεί και CH<sub>4</sub>, κυρίως λόγω αναερόβιας αποδόμησης της οργανικής ουσίας.

**Δηλαδή, τα οργανικά εδαφοβελτιωτικά συνδέονται τόσο με εκπομπές N<sub>2</sub>O όσο και, υπό προϋποθέσεις, με εκπομπές CH<sub>4</sub>**

## Παράδειγμα 1: Προσθήκη αζωτούχου λιπάσματος (εκπομπές N<sub>2</sub>O)

Γενικός τύπος (general formula):

Εκπομπές N<sub>2</sub>O (kg) = Ποσότητα N που εφαρμόστηκε (kg N) × Συντελεστής εκπομπής (EF) (kg N<sub>2</sub>O / kg N)

Δεδομένα :

Εφαρμογή 2 kg λιπάσματος με 20% N.

EF = 0,022 kg N<sub>2</sub>O / kg N εφαρμοζόμενο

GWP\_N2O = 273

**Βήμα 1:** Υπολογισμός ποσότητας αζώτου (N) που εφαρμόστηκε

Ποσότητα N = 2 kg × 0,20 = 0,4 kg N

**Βήμα 2:** Υπολογισμός εκπομπών N<sub>2</sub>O

N<sub>2</sub>O = Ποσότητα N (kg N) × EF = 0,4 kg N × 0,022 = 0,0088 kg N<sub>2</sub>O

**Βήμα 3:** Μετατροπή σε CO<sub>2</sub>eq

CO<sub>2</sub>eq = 0,0088 × 273 = 2,402 kg CO<sub>2</sub>eq

## Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη Global Warming Potential (GWP)\*

Το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη είναι ένας δείκτης που εκφράζει πόση θερμότητα παγιδεύει στην ατμόσφαιρα μια συγκεκριμένη ποσότητα ενός αερίου του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με την ίδια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), για έναν καθορισμένο χρονικό ορίζοντα (συνήθως 20 ή 100 έτη).

Το CO<sub>2</sub> έχει τιμή αναφοράς GWP = 1, και τα υπόλοιπα αέρια συγκρίνονται με αυτό.

CO<sub>2</sub>: 1

CH<sub>4</sub>: 27

N<sub>2</sub>O: 273

SF<sub>6</sub>: 23.500

NF<sub>3</sub>: 16.100

## Παράδειγμα 2 - Εκπομπές από κομποστοποίηση (IPCC 2006, Tier 1 default EFs)

### Δεδομένα

- Κομποστοποίηση 2 τόνων αποβλήτων ελαιοποιίας = 2.000 kg (wet)
- IPCC default συντελεστές εκπομπής για κομποστοποίηση:
  - $EF(CH_4) = 4 \text{ g } CH_4 / \text{ kg αποβλήτου}$
  - $EF(N_2O) = 0.24 \text{ g } N_2O / \text{ kg αποβλήτου}$

### 1) $CH_4$ από κομποστοποίηση

$$CH_4 = 2.000 \text{ kg} \times 4 \text{ g/kg} = 8.000 \text{ g} = 8 \text{ kg } CH_4$$

$$CH_4 \text{ σε } CO_2eq = 8 \times 27.0 = 216 \text{ kg } CO_2eq$$

### 2) $N_2O$ από κομποστοποίηση

$$N_2O = 2.000 \text{ kg} \times 0.24 \text{ g/kg} = 480 \text{ g} = 0.48 \text{ kg } N_2O$$

$$N_2O \text{ σε } CO_2eq = 0.48 \times 273 = 131.04 \text{ kg } CO_2eq$$

### Σύνολο εκπομπών κομποστοποίησης

$$216 + 131.04 = 347.04 \text{ kg } CO_2eq$$

## Παράδειγμα 3 - Εφαρμογή ενός τόνου κόμποστ του παραδείγματος 1 στο έδαφος

### Παραδοχές:

- 1 τόνος κόμποστ = 1.000 kg (wet)
- Ξηρά ουσία (DM) = 55%
- Οργανικός άνθρακας στο DM (TOC) = 30%
- Συντελεστής αποθήκευσης άνθρακα στο έδαφος = 0,24 kg C / kg κόμποστ

### Βήμα 1: Προσδιορισμός άνθρακα που αποθηκεύεται στο έδαφος

$$C_{input} = 1.000 \times 0,55 \times 0,30 = 165 \text{ kg } C$$

### Βήμα 2: Μετατροπή σε $CO_2eq$ που “αποθηκεύεται” με συντελεστή 0,24

$$Gain = 165 \times 3,667 (44/12) \times 0,24$$

$$= 605 \times 0,24$$

$$= \approx 145 \text{ kg } CO_2eq \text{ (gain / avoided)}$$

Πάντα συγκρίνουμε με βάση σενάριο βάσης (baseline) δηλαδή απαντάμε στην ερώτηση «Σε σχέση με τι;»

Αν δεν κομποστοποιηθούν τα απόβλητα ελαιοποιίας συνήθως οδηγούνται σε: **ανοιχτή αποθήκευση, ανεξέλεγκτη διάθεση**, ή κάποια μορφή **διαχείρισης που επίσης παράγει CH<sub>4</sub>**. Σε πολλά τέτοια baselines, οι εκπομπές μπορεί να είναι **ίδιες ή μεγαλύτερες** από την κομποστοποίηση

Υπάρχουν κέρδη που συχνά μειώνουν εκπομπές αλλού:

- **μείωση ανάγκης για ανόργανα λιπάσματα** (μείωση εκπομπών N<sub>2</sub>O και εκπομπές από παραγωγή/μεταφορά λιπασμάτων στο Score 3),
- **βελτίωση εδαφικής δομής/νερού,**
- **μείωση καύσεων/μεταφορών/διαχείρισης αποβλήτου** σε άλλες λύσεις,
- **καλύτερη ανθεκτικότητα** (λιγότερες απώλειες παραγωγής)

Η κομποστοποίηση “μετατρέπει” τον **κίνδυνο** σε **έλεγχο**.

## Μεθοδολογικές προσεγγίσεις Tier 1, Tier 2 και Tier 3

Είναι επίπεδα μεθοδολογικής προσέγγισης για τον υπολογισμό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Δείχνουν πόσο απλή ή πόσο εξειδικευμένη είναι η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται.

### Tier 1 – Βασική προσέγγιση (Default approach)

- Χρησιμοποιεί **τυπικούς συντελεστές εκπομπών (default emission factors)** που δίνει το IPCC.
  - Απαιτεί περιορισμένα δεδομένα.
  - Είναι η πιο απλή και γενική μέθοδος.
  - Έχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα.
- 👉 Παράδειγμα: Χρησιμοποιώ τον IPCC default EF για κομποστοποίηση (4 g CH<sub>4</sub>/kg αποβλήτου) χωρίς τοπικά δεδομένα.

Emission	Compartment	Value to be applied
N <sub>2</sub> O (synthetic fertiliser and manure; direct and indirect)	Air	<b>0.022 kg N<sub>2</sub>O/ kg N fertilizer applied</b>

### Tier 1 – The BLACK BOXES

- Χρησιμοποιούμε **γενικούς παγκόσμιους συντελεστές** → δεν ξέρουμε αν αντιπροσωπεύουν τις δικές μας συνθήκες.
- Δεν γνωρίζουμε πώς επηρεάζουν τα αποτελέσματα:
  - το κλίμα (Μεσόγειος ≠ Βόρεια Ευρώπη),
  - ο τύπος εδάφους,
  - η διαχείριση (άρδευση, αναστροφές κομπόστ κ.λπ.).
- Υποθέτουμε “μέση συμπεριφορά” συστήματος.
- Η **αβεβαιότητα είναι υψηλή**, αλλά συχνά δεν φαίνεται στο τελικό νούμερο.

👉 Το αποτέλεσμα φαίνεται ακριβές, αλλά βασίζεται σε γενικεύσεις.

## Μεθοδολογικές προσεγγίσεις Tier 1, Tier 2 και Tier 3

### Tier 2 – Εθνικά/τοπικά προσαρμοσμένη προσέγγιση

- Χρησιμοποιεί **εθνικούς ή ειδικούς συντελεστές εκπομπών**.
- Λαμβάνει υπόψη κλιματικές, εδαφικές ή τεχνολογικές ιδιαιτερότητες.
- Έχει μικρότερη αβεβαιότητα από το Tier 1.

👉 Παράδειγμα: Χρησιμοποιώ συντελεστή εκπομπών που έχει μετρηθεί ειδικά για ελληνικά ελαιοτριβεία ή μεσογειακά εδάφη.

**TABLE A: Emission factors for animal enteric fermentation**

Animal	DEFAULT IPCC		Greece-	CYPRUS	BULGARIA	Repub North
	Western Europe	Eastern Europe	Average EF, kgCH4/hea d/y	Average EF, kgCH4/hea d/y	Average EF, kgCH4/hea d/y	Macedonia Average EF, kgCH4/head/y
dairy cattle	126	93	126,4	123,7	107,98	99
other cattle	52	58	63,18	57	76,85	58
sheep high productivity	9	9	9,5	8	7,4	5
sheep low productivity	5	5				
Buffalo	78	68	55	55	66	55
swine high productivity	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1
Swine low productivity	1	1				
horses	18	18	18	18	18	18
Mules and ashes	10	10	10	10	10	10
goats high productivity	9	9	5	5	5	5
goats low productivity	5	5				
poultry	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

$$EF = \frac{GE \times Ym \times 365}{55.65}$$

Όπου:

- **GE** = Ημερήσια ενεργειακή πρόσληψη (MJ/ζώο/ημέρα)
- **Ym** = % ενέργειας που μετατρέπεται σε μεθάνιο
- **55.65 MJ/kg CH<sub>4</sub>** = ενεργειακό περιεχόμενο CH<sub>4</sub>
- 👉 Το αποτέλεσμα δίνει **kg CH<sub>4</sub> / ζώο / έτος**

• Το **GE** συχνά υπολογίζεται από άλλες εξισώσεις που βασίζονται σε παραγωγή γάλακτος, ενεργειακές ανάγκες συντήρησης

• Το **Ym** είναι παραδοχή (π.χ. 6% ή 6.5%). Εξαρτάται από το Σιτηρέσιο (ίνα, συμπυκνώματα, λιπαρά), την παραγωγή γάλακτος, το βάρος του ζώου, στάδιο γαλουχίας.

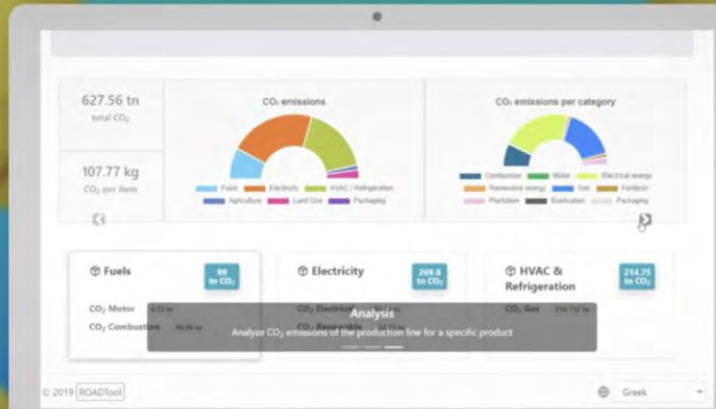
• Οι τιμές είναι “μέσοι όροι χώρας” -**Δεν αποτυπώνουν κάθε εκτροφή**

### Tier 2 – Μικρότερα, αλλά υπαρκτά “black boxes”

- Οι συντελεστές είναι **εθνικοί ή τοπικοί**, αλλά βασίζονται σε περιορισμένο αριθμό μελετών, μπορεί να μην καλύπτουν όλες τις καλλιέργειες ή τεχνολογίες.
- Υπάρχει ακόμη εξάρτηση από **μέσους όρους**.
- 👉 Πιο ρεαλιστικό από Tier 1, αλλά όχι πλήρως εξατομικευμένο.

# Ψηφιακά εργαλεία υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος

WEB  
GIS-BASED  
TOOL



# Ψηφιακά εργαλεία υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος



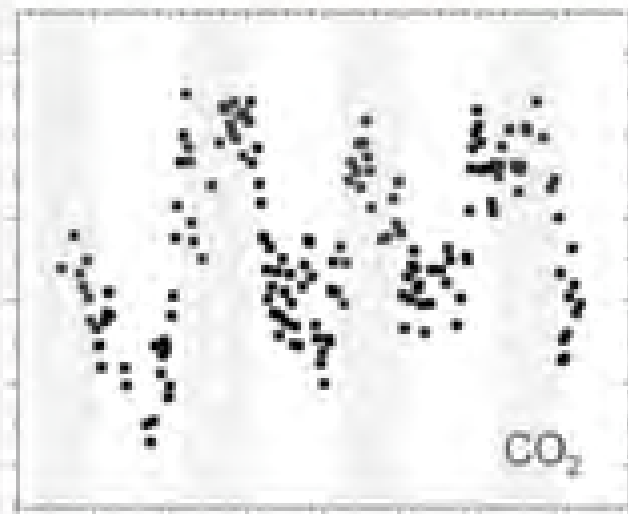
## Μεθοδολογικές προσεγγίσεις Tier 1, Tier 2 και Tier 3

### Tier 3 – Προηγμένη/μοντελοποιημένη προσέγγιση

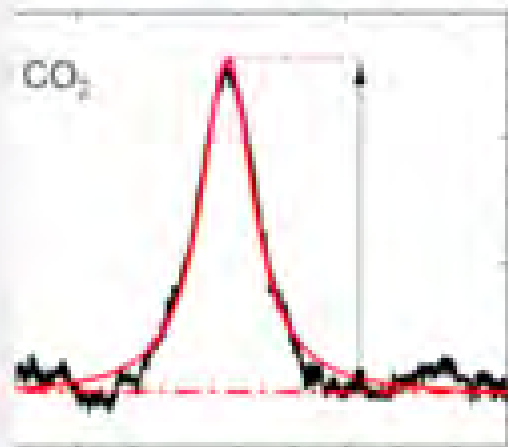
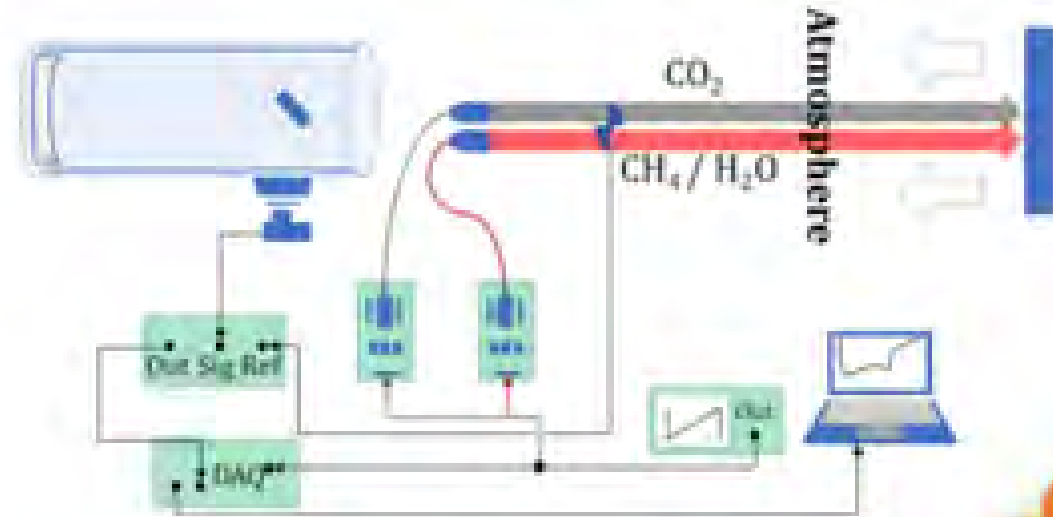
- Χρησιμοποιεί μοντέλα, μετρήσεις πεδίου ή δυναμικές προσομοιώσεις.
  - Είναι η πιο ακριβής αλλά και η πιο απαιτητική μέθοδος.
  - Έχει τη μικρότερη αβεβαιότητα.
- 👉 Παράδειγμα: Χρησιμοποιώ μετρήσεις αερίων θερμοκηπίου από συγκεκριμένο αγροτεμάχιο.



# Utilization of Laser-LIDAR technology for on-site measurement of greenhouse gases ( $\text{CO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$ , $\text{CH}_4$ ) and development of simulation models

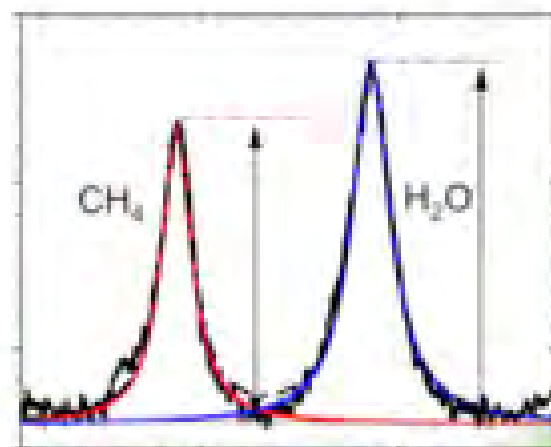


Date



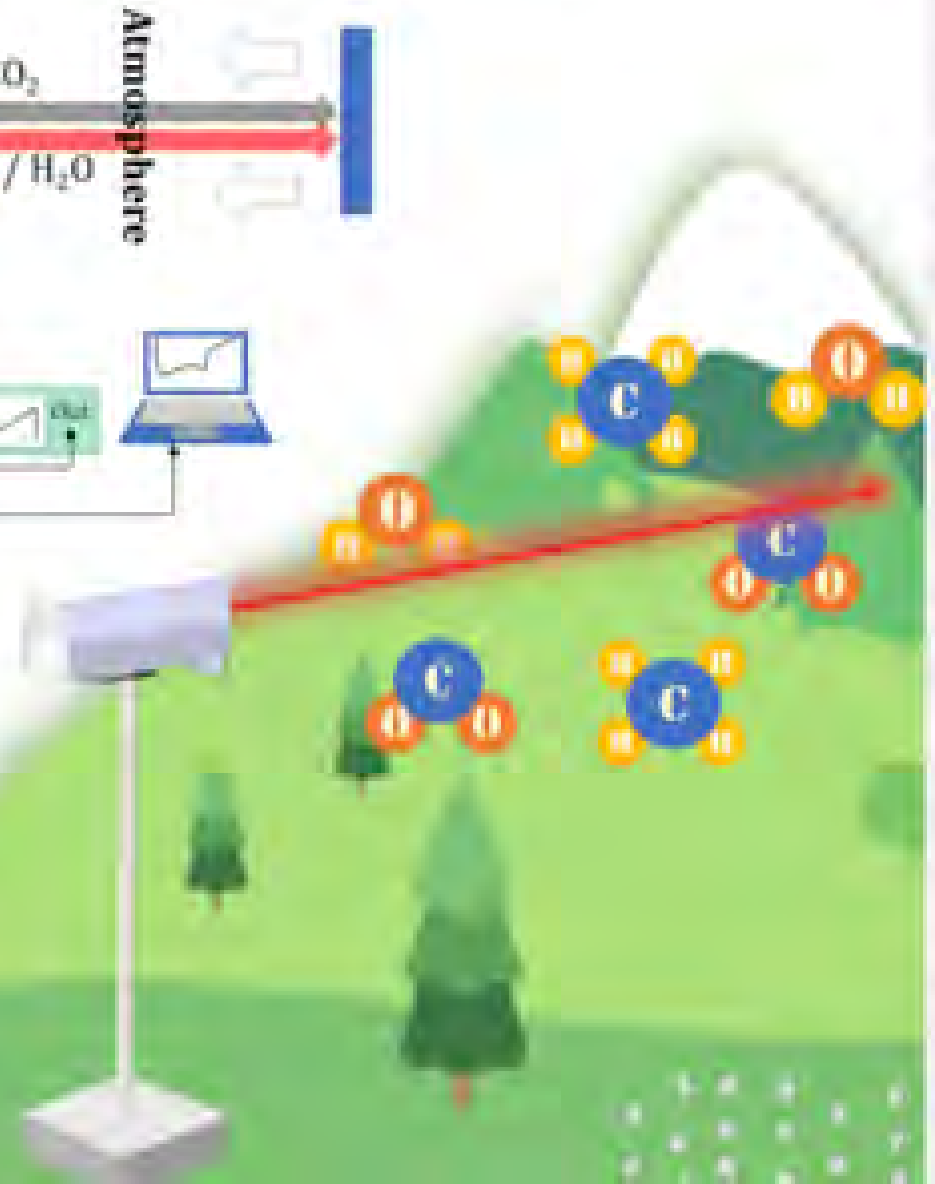
6367.0 6367.5

Wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ )



6047 6048

Wavenumbers ( $\text{cm}^{-1}$ )





# ClimaMED

Developing and delivering innovative, reliable, rapid and cost effective technologies of Tier 3 level for the on-site measurement of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and Soil Organic Matter (SOC) stock changes from agricultural fields at real time, in order to assist scientists, public authorities and policy makers in collecting, quantifying, evaluating, mapping and reporting spatial data for GHGs emissions and SOC stock changes from the Mediterranean agricultural sector



Weather Station	15	
CO2 Sensor	20	
LiDAR	14	
Gateway Weather Station	2	




[Dashboard](#)

[Nodes](#)

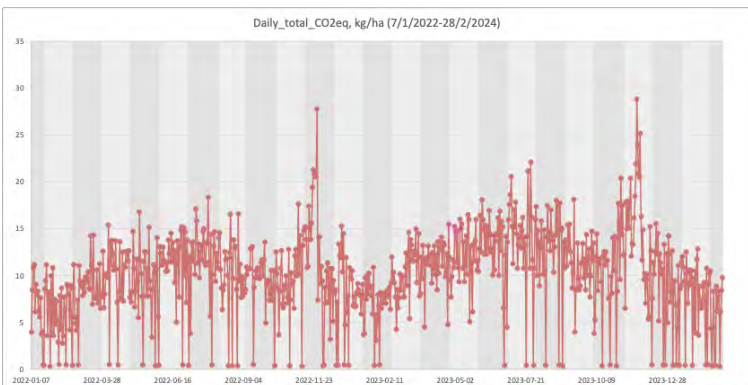
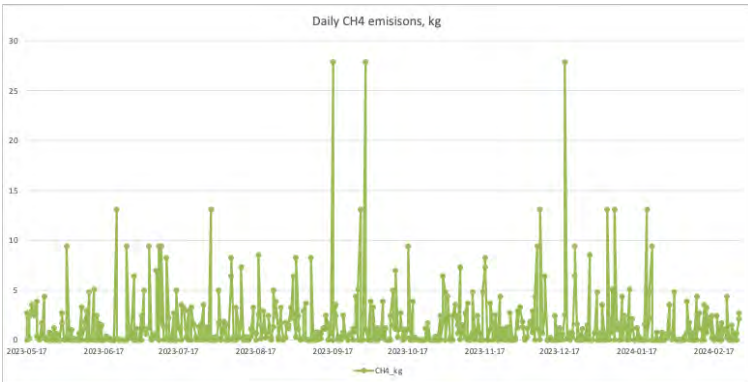
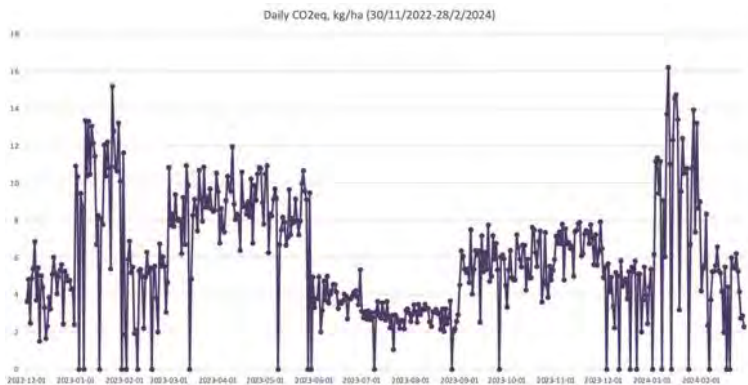
[LiDARs](#)

[Gateways](#)
[Home](#) / [gateways](#)


## Gateways

16

Title	Coordinates	Last Seen	Comments	Public IP	
GP00188 / Aigina	37.731042, 23.435703	48 minutes from now	GP00188	149.210.28.204	
CP00262 / Theoric	38.485711	45 minutes		140.210.0.80	



The gas concentration (N) along the laser path is calculated using the DIAL equation:

$$N = \frac{1}{2 \left( \sigma(\lambda_{on}) - \sigma(\lambda_{off}) \right) * z} \ln \left( \frac{P(\lambda_{off})}{P(\lambda_{on})} \right)$$

where:

- $\sigma(\lambda)$ : Absorption cross-section of the gas at a specific wavelength.
- $P(\lambda_{on}), P(\lambda_{off})$ : Signal power at on-line and off-line wavelengths.
- $z$ : Distance from the LiDAR device to the reflective surface.

2. **Horizontal (Crosswind) Correction Factor (HWF)**: This factor adjusts for crosswind dispersion, particularly if emissions from neighbouring fields affect the measurements. When no neighbouring emissions influence the field ( $y=0$ ),  $HWF=1$ . Otherwise:

$$HWF = \exp \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

where:

- $\sigma_y$ : Horizontal dispersion coefficient, dependent on stability class and distance..
- $y$ : Crosswind distance, typically set to zero unless lateral dispersion is significant.

The ground-level concentration  $C_{ground}$  is calculated by:

$$C_{ground} = C_{mean}(3) * HCF * HWF$$

### 2.7.3 Atmospheric stability and dispersion coefficients

The stability class represents the atmospheric conditions affecting the dispersion, which vary


### Tier 3 - Black Boxes πίσω από τα μοντέλα

- τα μοντέλα έχουν δικές τους παραδοχές,
- χρειάζονται βαθμονόμηση,
- είναι ευαίσθητα στα δεδομένα που τους βάζουμε.
- Αν τα δεδομένα εισόδου δεν είναι σωστά, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι παραπλανητικό.
- Συχνά υποτιμούμε την αβεβαιότητα του μοντέλου.

👉 Το Tier 3 μειώνει το black box των συντελεστών, αλλά δημιουργεί ένα νέο black box: **το μοντέλο.**

## Το ανθρακικό αποτύπωμα δεν είναι μία τιμή. Είναι μία κατασκευή που εξαρτάται από επιλογές

Η πιο συχνή παγίδα;

 **Να συγκρίνουμε αριθμούς χωρίς να συγκρίνουμε πλαίσιο.**

- «Το προϊόν Α έχει 1,1 kg CO<sub>2</sub>e και το Β έχει 0,9, άρα το Β είναι καλύτερο».
- «Μειώσαμε 20% τις εκπομπές».

Χωρίς να ξέρουμε:

- Ίδια functional unit;
- Ίδια όρια συστήματος;
- Ίδια Tier;
- Ίδιο baseline;



**Η δεύτερη μεγάλη παγίδα**

Να θεωρούμε ότι το νούμερο είναι “ακριβές”.

Όταν γράφουμε:

**347,04 kg CO<sub>2</sub>e**

Στην πραγματικότητα μπορεί να υπάρχει **±20–40% αβεβαιότητα**.



**Η τρίτη παγίδα**

Να μην ξεχωρίζουμε:

- Εκπομπές ανά μονάδα προϊόντος (intensity) από
- Συνολικές εκπομπές (absolute emissions)

Μπορεί:

- το αποτύπωμα ανά κιλό να μειώνεται,
- αλλά η συνολική παραγωγή να αυξάνεται, άρα οι συνολικές εκπομπές να μεγαλώνουν.

Άρα δεν μιλάμε για μαθηματικά μόνο. Μιλάμε για μεθοδολογία.

## Zero Emissions-Μηδενικές εκπομπές

- Μηδενικές **ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ** εκπομπές από τη δραστηριότητα (εκπομπές – απορροφήσεις = 0).
- Δίνει έμφαση στην **εξάλειψη των εκπομπών στην πηγή**.

## Carbon Neutral-Ουδέτερο ανθρακικά

- Τελικό ισοζύγιο CO<sub>2</sub>eq** είναι μηδέν.
- Επιτυγχάνεται με μείωση εκπομπών και/ή αντιστάθμιση (offset credits).
- Μπορεί να υπάρχουν ακόμη σημαντικές εκπομπές, αλλά “εξισορροποούνται”.

## Η ουσιαστική διαφορά

- Zero emissions** → Στόχος η εξάλειψη των εκπομπών.
- Carbon neutral** → Επιτρέπονται εκπομπές, αρκεί να αντισταθμίζονται.

### Πώς σκοπεύει η ΕΕ να πετύχει “net zero” το 2050

Η ΕΕ δεν μιλά για απόλυτο μηδέν εκπομπών σε κάθε δραστηριότητα. Μιλά για **κλιματική ουδετερότητα (net zero)**: οι εκπομπές που απομένουν θα ισοσταθμίζονται από αφαιρέσεις άνθρακα.

## Η λογική της μεθόδου

### 1 Μέγιστη μείωση στην πηγή

- Απεξάρτηση από ορυκτά καύσιμα
- Χρήση ΑΠΕ
- Αποδοτικότητα σε βιομηχανία και κτίρια
- Βελτιστοποίηση γεωργικών πρακτικών

Στόχος: οι εκπομπές να μειωθούν δραστικά πριν το 2050.

### 2 Διαχείριση των “υπολειμματικών” εκπομπών

Κάποιες εκπομπές δεν μπορούν να μηδενιστούν πλήρως:

- $N_2O$  από γεωργικά εδάφη
- $CH_4$  από κτηνοτροφία
- Βιομηχανικές διεργασίες (τσιμέντο, χημικά)

Αυτές θα παραμείνουν, αλλά σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα.

### 3 Ισοστάθμιση με αφαιρέσεις άνθρακα

Το υπόλοιπο θα καλυφθεί μέσω:

- Δασών και LULUCF
- Γεωργίας άνθρακα (SOC)
- Τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης  $CO_2$

## Μοντέλο του 2050

Η στρατηγική της ΕΕ δεν είναι “να μηδενίσουμε τα πάντα”.

Είναι:

**Μείωση όσο γίνεται + απορρόφηση για ό,τι απομένει = καθαρό μηδέν.**

# Γεωργία άνθρακα

## Τι είναι η Γεωργία Άνθρακα

- Διαχείριση εδάφους με στόχο την **αύξηση του οργανικού άνθρακα (SOC)**
- Μείωση εκπομπών N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> μέσω βελτιστοποίησης πρακτικών
- Συνδυασμός **παραγωγικότητας + κλιματικής δράσης**
- Μετατροπή του αγρού από “πηγή” σε **δεξαμενή άνθρακα**

## Πρακτικές που αυξάνουν τον άνθρακα στο εδαφος

- Κομπόστ και οργανικά υλικά
- Μειωμένη ή μηδενική άροση
- Κάλυψη εδάφους (cover crops)
- Αγροδασοπονία
- Μόνιμες καλλιέργειες και βιοποικιλότητα

## Τι πραγματικά κερδίζουμε

- Αύξηση οργανικού άνθρακα
- Βελτίωση δομής εδάφους
- Καλύτερη συγκράτηση νερού
- Μείωση ανάγκης για ανόργανα λιπάσματα
- Ανθεκτικότητα σε κλιματικά σοκ

## Τα όρια και οι προκλήσεις

- Η οργανική ουσία του εδάφους δεν αυξάνεται επ’ άπειρον.
- Υψηλή μεταβλητότητα ανά αγροτεμάχιο
- Δυσκολία ακριβούς μέτρησης (Tier 3 vs Tier 1)
- Ανάγκη για σαφές baseline

## Συμπέρασμα

- Δεν μηδενίζουμε τις εκπομπές.
- Μειώνουμε + αποθηκεύουμε = βελτιώνουμε το ισοζύγιο.
- Η Γεωργία Άνθρακα είναι εργαλείο μετάβασης, όχι μαγική λύση.

**Κιλό φυστίκια Αιγίνης = 4,76 κιλά CO<sub>2</sub>**

**Μπουκάλι κρασί (0,75L) = 1,1 κιλά CO<sub>2</sub>**

**Ένα καινούργιο αυτοκίνητο 0,12 κιλά CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο**

**1κιλό φυστίκια = 39,66 χιλιόμετρα!**





ΜΠΕΝΑΚΕΙΟ  
ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΚΟ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

# Ευχαριστώ

Δρ Μαρία Ντούλα

Διευθύντρια Ερευνών

[m.doula@bpi.gr](mailto:m.doula@bpi.gr), [mdoula@otenet.gr](mailto:mdoula@otenet.gr)

Προϊσταμένη Εργαστήριου Μη Παρασιτικών Ασθενειών,  
Εδαφικών πόρων και Γεωπληροφορικής