



Σχολή Επιστημών Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

MSc Thesis

***ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ***

Διευθυντής

**Καθ. Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων (Π.Α.Δ.Α) Ιωάννης Τσάκνης**

Μπουγιούκος Αλέξιος

Bougioukos Alexios

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

ΜΠΑΤΡΙΝΟΥ ΑΝΘΙΜΙΑ/BATRINOU ANTHIMIA

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021





Faculty of Food Sciences

Department of Food Science and Technology

Master of Science

FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

## ***CARBON FOOTPRINT OF FOOD***

**BOUGIOUKOS ALEXIOS**

19018

alexisbougioukakis@gmail.com

NAME OF THE SUPERVISOR

BATRINOY ANTHIMIA

AIGALEO 2021

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ:

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο ‘ **ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**’ που παρουσιάστηκε από τον ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟ ΑΛΕΞΙΟ, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Όνομα επιβλέποντος

Μπατρίνου Ανθιμία, Επίκουρος Καθηγήτρια,  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων,  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Κανέλου Αναστασία, Καθηγήτρια,  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων,  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Στρατή Ειρήνη, Επίκουρος Καθηγήτρια,  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων,  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Α. Μπουγιούκος' (Alexios Bougioukos), written over a horizontal line.



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πριν την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Μπατρίνου Ανθιμία, για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον πρόεδρο του τμήματος και καθηγητή μου κύριο Τσάκνη Ιωάννη καθώς δέχτηκε το αίτημα μου και μπόρεσα να ολοκληρώσω με επιτυχία το μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου Χρήστο και Ιωάννα, καθώς και τον αδερφό μου Γιώργο, οι οποίοι με υπομονή και κουράγιο μου πρόσφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωσή της.





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που αναμένεται να επηρεάσει έντονα τις ερχόμενες γενεές. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη εξαιτίας τόσο φυσικών παραγόντων όσο και ανθρωπογενών δράσεων. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σύνδεση των κύριων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όπως CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub>, που εκπέμπονται από τομείς των τροφίμων φυτικής και ζωικής προέλευσης, με την επίδρασή τους στην κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η ζωική παραγωγή και πιο συγκεκριμένα η παραγωγή βόειου κρέατος προκαλεί τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με το μεθάνιο που παράγεται κατά την εντερική ζύμωση των ζώων να αποτελεί την κυρίαρχη πηγή τόσο στις εκτροφές γαλακτοπαραγωγικών φυλών όσο και στις κρεοπαραγωγικές. Ωστόσο, τα οξείδια του αζώτου από την παραγωγή της ζωοτροφής αλλά και από τη διαχείριση της κοπριάς συνεισφέρουν εξίσου σημαντικά περίπου 30% ενώ τα υπόλοιπα τρόφιμα ζωικής παραγωγής είναι λιγότερο επιβλαβή. Η φυτική παραγωγή από την άλλη παρουσιάζει γενικά χαμηλότερες εκπομπές επιβλαβών αερίων, με εξαίρεση τις καλλιέργειες του ρυζιού και των ψυχανθών. Τον σημαντικότερο ρόλο και στις δυο καλλιέργειες παίζουν τα εδαφογενή βακτήρια που εμπλέκονται στους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης του αζώτου με αποτέλεσμα να εμπλέκονται στον βιογεωχημικό κύκλο του αζώτου και έτσι να αυξάνονται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και έπειτα στην κλιματική αλλαγή ιδιαίτερα αν πρόκειται για μεγάλες εκτάσεις. Τέλος, στόχος είναι η έμφαση στο ανθρακικό αποτύπωμα των τροφίμων, δηλαδή σε, *‘Μια συγκεκριμένη ποσότητα αερίων που αφορούν την κλιματική αλλαγή (π.χ διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κ.α) και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη κατανάλωση ή δραστηριότητα’* αλλά και την σημαντικότητα υπολογισμού του. Έχοντας ποσοτικοποιήσει τις εκπομπές με τη χρήση συγκεκριμένων πρωτοκόλλων, μπορούν να προσδιοριστούν οι σημαντικές πηγές αλλά και να εντοπιστούν τομείς όπου απαιτείται μείωση αυτών παρέχοντας έτσι την ευκαιρία περιορισμού της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αλλά και μείωση του κόστους.

**Λέξεις κλειδιά:** κλιματική αλλαγή, φαινόμενο θερμοκηπίου, τρόφιμα, αποτύπωμα άνθρακα, Ανάλυση κύκλου ζωής (LCA)

## **ABSTRACT**

Climate change is a global problem that is expected to strongly affect future generations. However, it is a fact that it is directly related to the greenhouse effect and global warming due to both natural and anthropogenic factors. The purpose of this work is to link the main greenhouse gas emissions such as CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>, emitted by animal and plant production sectors, with their impact on climate change. According to the literature review, animal production and more specifically beef production causes the greatest environmental impact with methane produced during the intestinal fermentation of animals being the dominant source in both dairy and meat farms. However, nitrogen oxides from feed production and manure management contribute just as much, about 30%. Crop production, on the other hand, generally has lower emissions of harmful gases, with the exception of rice and legumes. The most important role in both crops is played by the soil bacteria involved in the nitrification and denitrification mechanisms of nitrogen, and thus increase nitrogen oxide emissions, contributing to the greenhouse effect. Finally, the aim is to emphasize the carbon footprint of food, ie, '*A certain amount of gases related to climate change (eg carbon dioxide, methane, etc.) and is directly related to human consumption or activity*' and the importance of its calculation. Having quantified emissions using specific protocols, important sources can be identified but also areas where reduction is required, thus providing the opportunity to reduce the environmental burden and reduce costs.

**Keywords:** climate change, greenhouse effect, food, carbon footprint, Life Cycle Analysis (LCA)

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 . Εισαγωγή.....	2
1.1 Σκοπός εργασίας.....	2
1.2 Γενικά.....	2
Κεφάλαιο 2. Βιογεωχημικοί κύκλοι.....	4
2.1 Βιογεωχημικός κύκλος αζώτου (N) .....	4
2.2 Βιογεωχημικός κύκλος του άνθρακα (C) .....	7
Κεφάλαιο 3. Φαινόμενο του θερμοκηπίου και κλιματική αλλαγή.....	11
3.1 Αέρια θερμοκηπίου και πηγές προέλευσης .....	13
3.2 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη .....	18
Κεφάλαιο 4. Τρόφιμα και εκπομπή αερίων θερμοκηπίου .....	20
4.1 Ζωική Παραγωγή .....	21
4.1.2 Γαλακτοκομικά.....	25
4.1.3 Χοιρινό κρέας .....	26
4.1.4 Πουλερικά .....	27
4.1.5 Θαλασσινά .....	28
4.1.6 Υδατοκαλλιέργεια .....	30
4.2 Φυτική παραγωγή.....	30
4.2.1 Ορυζώνες .....	33
4.2.2 Ψυχανθή .....	37
4.3 Μεταφορά και διάθεση τροφίμων στον καταναλωτή .....	40
4.4 Απώλεια και σπατάλη τροφίμων .....	42
Κεφάλαιο 5. Ανθρακικό αποτύπωμα .....	45
5.1 Σημαντικότητα υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος .....	46
5.2 Πρότυπα υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος .....	48
5.3 Ανάλυση κύκλου ζωής – Life Cycle Assessment (LCA) .....	52
Κεφάλαιο 6 . Συμπεράσματα και συζήτηση .....	55
Βιβλιογραφία .....	57

# Κεφάλαιο 1 . Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η σύνδεση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όπως CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub>, που εκπέμπονται από τομείς των τροφίμων φυτικής και ζωικής προέλευσης, με την επίδρασή τους στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, έγινε αναφορά στις μεθόδους υπολογισμού των εκπομπών αυτών δηλαδή στον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος διάφορων τροφίμων αλλά και στην ανάλυση του κύκλου ζωής αυτών. Ωστόσο, στόχος της συγκεκριμένης διατριβής είναι εντοπισμός και ανάδειξη των τροφίμων που συνεισφέρουν σε μεγάλο ποσοστό στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου οξύνοντας έτσι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση την κλιματική αλλαγή.

## 1.2 Γενικά

Σε έρευνα του WWF αναφέρεται ότι η μέση θερμοκρασία σε 16 ευρωπαϊκές πρωτεύουσες έχει αυξηθεί κατά 2°C σε σύγκριση με τη δεκαετία 1970 (WWF, 2005), ενώ σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή IPCC, τα τελευταία εκατό χρόνια η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 0,74°C (IPCC, 2007). Όπως έχει παρουσιάσει σε σχετική της έκθεση η επιτροπή, «υπάρχουν πλέον επαρκή στοιχεία που δείχνουν ότι η παρατηρούμενη θέρμανση του πλανήτη τα τελευταία 50 χρόνια οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες». Επιπλέον, σύμφωνα με μελέτες της WWF έχει αποδειχθεί ότι το 33% των οικοσυστημάτων του πλανήτη βρίσκονται σε κίνδυνο, ενώ εκτιμάται ότι πάνω από ένα εκατομμύριο είδη χλωρίδας και πανίδας απειλούνται με εξαφάνιση ως το 2050.

Όσον αφορά τη χώρα μας, σύμφωνα με την έκθεση του Αστεροσκοπίου Αθηνών η Ελλάδα θα υφίσταται συχνότερα κύματα καύσωνα και ξηρασίας, περισσότερες πυρκαγιές, προβλήματα στην επάρκεια πόσιμου νερού και στις γεωργικές δραστηριότητες (WWF, 2005). Επιπλέον, έχει υπογράψει το Πρωτόκολλο του Κιότο και δεσμεύτηκε για αύξηση εκπομπών που δε θα υπερβεί το 25% έως το 2010, σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης (<http://unfccc>.

int/resource/docs/convkp/krpeng.htm). Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία που κατέθεσε η χώρα μας στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το 2005 οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου είχαν ήδη ξεπεράσει το στόχο του Κιότο σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 25,4% (European Environment Agency (EEA), 2006a). Συνεπώς, αν η Ελλάδα δεν λάβει επειγόντως τα κατάλληλα μέτρα, δεν πρόκειται να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις της στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Οι κυριότερες αιτίες στη χώρα μας που συμβάλλουν ανασταλτικά στην τήρηση του ορίου που θεσπίστηκε είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού από πηγές καυσίμων που συμβάλλουν σε μεγάλο ποσοστό στην κλιματική αλλαγή (λιγνίτης και πετρέλαιο). Επίσης, η χώρα μας χρησιμοποιεί ενέργεια που παράγεται στις λιγότερο αποδοτικές από πλευράς εκπομπών CO<sub>2</sub> μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της Ευρώπης ([http://globalis.gvu.unu.edu/indicator\\_detail.cfm?IndicatorID=199&Country=GR](http://globalis.gvu.unu.edu/indicator_detail.cfm?IndicatorID=199&Country=GR)).

Την πρώτη θέση κατέχει το εργοστάσιο της ΔΕΗ στον Άγιο Δημήτριο Κοζάνης, το οποίο καίει λιγνίτη και σε ένα χρόνο εκπέμπει σχεδόν 12,4 εκατομμύρια τόνους διοξείδιο του άνθρακα (1350gr CO<sub>2</sub>/KWh). Αυτό αντιστοιχεί περίπου σε εκπομπές 2,9 εκατομμυρίων αυτοκινήτων. Η Καρδιά επίσης καίει λιγνίτη και σε ένα χρόνο εκπέμπει σχεδόν 8,8 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (1250gr CO<sub>2</sub>/KWh), το οποίο αντιστοιχεί στις εκπομπές 2 εκατομμυρίων αυτοκινήτων.

Επιπρόσθετα, ο τομέας της ζωικής αλλά και της φυτικής παραγωγής φαίνεται να παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Περίπου το 12% των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως και περίπου το 10% σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης προέρχεται από τη γεωργία και οφείλεται τόσο σε καλλιεργητικές πρακτικές όσο και στην κτηνοτροφία (άμεσες εκπομπές) (United Nations, 2008; FAO, 2013; European Commission, 2015). Βέβαια εκτιμάται, ότι αυτό το ποσοστό είναι μεγαλύτερο, καθώς συχνά δε συμπεριλαμβάνονται οι έμμεσες εκπομπές από δραστηριότητες που συνδέονται με τη γεωργία, όπως η παραγωγή ενεργοβόρων προϊόντων (π.χ. λιπάσματα και φυτοφάρμακα) και ηλεκτρισμού που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές δραστηριότητες, τα καύσιμα για τα αγροτικά μηχανήματα και τη μεταφορά προϊόντων ή η αποψίλωση των δασών λόγω της γεωργίας (FAO, 2013; Blandford & Hassapoyannes, 2018). Επιπλέον, η αποδάσωση θεωρείται μια από τις κύριες πηγές έμμεσων εκπομπών από τη γεωργία, ενώ ακολουθούν η καύση (χορτολιβαδικών και δασικών εκτάσεων) και η αποστράγγιση εδαφών πλούσιων σε οργανική ουσία, για χρήση τους στη γεωργία (Blandford & Hassapoyannes, 2018).

## Κεφάλαιο 2. Βιογεωχημικοί κύκλοι

Οι βιογεωχημικοί κύκλοι των χημικών στοιχείων είναι οι επαναλαμβανόμενες κυκλικές ροές των διάφορων στοιχείων στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα κατά οποίες συμβαίνουν βιολογικές, γεωλογικές και χημικές διαδικασίες.

### 2.1 Βιογεωχημικός κύκλος αζώτου (N)

Η ατμόσφαιρα αποτελεί την μεγαλύτερη αποθήκη αζώτου, αφού το 78% των συστατικών της καταλαμβάνεται από το διατομικό άζωτο. Η μορφή αυτή του αζώτου όμως δεν είναι βιοδιαθέσιμη για τους περισσότερους οργανισμούς, εκτός από ένα πολύ μικρό αριθμό βακτηριδίων που έχουν την ικανότητα να το μεταβολίζουν. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μεγάλη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται προκειμένου να διασπαστεί ο τριπλός δεσμός που συνδέει τα δυο άτομα αζώτου και να μετατραπεί έτσι σε πιο ενεργή μορφή (Galloway *et al.*, 2004).

Επιπλέον, το άζωτο απαντάται και σε άλλες μορφές οι οποίες ανήκουν σε δυο μεγάλες κατηγορίες τις ανόργανες και οργανικές. Όσον αφορά το ανόργανο N, το συναντάμε κυρίως ως νιτρικά, νιτρώδη και αμμωνιακά ιόντα, όπως επίσης και ως οξειδία (NO<sub>x</sub>), σε αντίθεση με το οργανικό N το οποίο απαντάται σε πλήθος οργανικών αζωτούχων ενώσεων. Η μεταφορά του αζώτου με διαφορετικές χημικές μορφές μεταξύ της ατμόσφαιρας, της βιόσφαιρας και της υδρόσφαιρας αποτελεί τον κύκλο του αζώτου. Η σημαντικότητα του κύκλου αυτού σχετίζεται με το γεγονός ότι το N αποτελεί δομικό συστατικό τόσο των αμινοξέων όσο και των πρωτεϊνών (Βιολάκη, 2009).

Τα κύρια στάδια του βιογεωχημικού κύκλου του αζώτου είναι τα εξής (Εικόνα 1):

#### α) Μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου (N<sub>2</sub>) σε βιοδιαθέσιμη μορφή.

Στο στάδιο αυτό το N<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μετατρέπεται σε βιοδιαθέσιμη μορφή. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει στην ατμόσφαιρα μέσω φυσικών διεργασιών όπως είναι η δημιουργία κεραυνών, οι οποίες απελευθερώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας ικανά να διασπάσουν τον τριπλό δεσμό του αζώτου και να το μετατρέψουν σε πιο ενεργή

μορφή (NO<sub>x</sub>). Κατόπιν τα παραγόμενα οξείδια διαλύονται στο νερό της βροχής και με την μορφή νιτρικών ιόντων εναποτίθενται στο έδαφος και στους ωκεανούς. Επίσης η μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε αμμωνιακά ιόντα μπορεί να γίνει μέσω βιολογικών διεργασιών υπό αναερόβιες συνθήκες είτε στο έδαφος με τη βοήθεια βακτηρίων του γένους *Azotobacter* είτε σε υδατικά οικοσυστήματα με τη βοήθεια κυανοβακτηρίων.

### **β) Μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικό.**

Το ανόργανο άζωτο που παράγεται χρησιμοποιείται από τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς για την παραγωγή αμινοξέων και πρωτεϊνών.

### **γ) Αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου**

Η οργανική ύλη φυτικής ή ζωικής προέλευσης (πρωτεΐνες, νουκλεϊνικά οξέα, ουρία), που υπάρχει ή εναποτίθεται στο έδαφος ή στους ωκεανούς, αποσυντίθεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών (μύκητες και βακτήρια) και μετατρέπεται σε αμμωνία και αμμωνιακά ιόντα. Μέρος της αμμωνίας είναι δυνατόν να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα όταν οι συνθήκες στο εκάστοτε οικοσύστημα είναι ευνοϊκές (π.χ. υψηλή θερμοκρασία). Επίσης αμμωνιακά ιόντα είναι δυνατόν να εναποτεθούν απευθείας από την ατμόσφαιρα μέσω της υγρής εναπόθεσης.

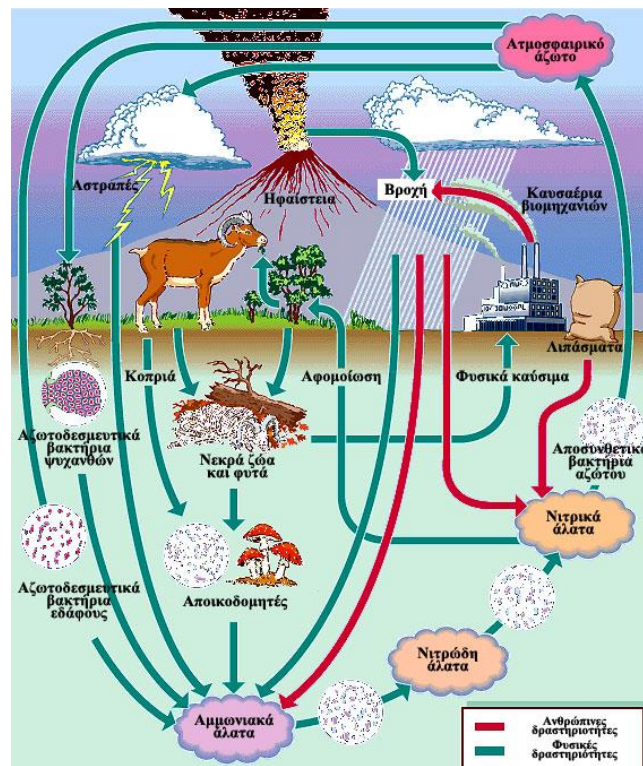
### **δ) Νιτροποίηση**

Το άζωτο του NH<sub>4</sub><sup>+</sup> που παράγεται κατά την αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τα φυτά ή να μετατραπεί σε νιτρικά ιόντα (Νιτροποίηση). Η νιτροποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία που γίνεται παρουσία μικροοργανισμών τόσο στο έδαφος (*Nitrosomonas*) όσο και σε υδατικά συστήματα (*Nitrospira*). Η νιτροποίηση πραγματοποιείται όταν ο λόγος C:N παίρνει τιμή μικρότερη του 20, όταν δηλαδή το άζωτο βρίσκεται σε επάρκεια. Στο θαλάσσιο περιβάλλον η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα στην άφωτη ζώνη (σε βάθος μεγαλύτερο των 100-200m) γιατί το φως δρα ανασταλτικά στην λειτουργία των νιτροποιητών. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα νιτρικά να απαντώνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα βαθύτερα νερά.

Μέρος των νιτρικών ιόντων που σχηματίζονται κατά το στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται απευθείας ως θρεπτικά συστατικά από τους ζωντανούς μικροοργανισμούς, ενώ το υπόλοιπο μεταβαίνει στο επόμενο στάδιο του κύκλου του αζώτου (απονιτροποίηση).

### ε) Απονιτροποίηση

Ο κύκλος του αζώτου κλείνει με το στάδιο της απονιτροποίησης, όπου οι οξειδωμένες μορφές του αζώτου όπως τα νιτρικά και τα νιτρώδη μετατρέπονται αναερόβια με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε αέριο άζωτο ( $N_2$ ) και σε υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ), τα οποία και απελευθερώνονται πίσω στην ατμόσφαιρα. Στην ατμόσφαιρα το άζωτο ακολουθεί ένα διαφορετικό κύκλο αφού παρεμβαίνουν και άλλοι παράγοντες, όπως η φωτοχημεία. Έτσι το  $N_2O$  λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής του φτάνει στην στρατόσφαιρα όπου μετατρέπεται είτε σε διατομικό άζωτο είτε σε άλλα οξείδια του αζώτου. Επίσης μέρος της αμμωνίας που εκλύεται από το έδαφος είναι δυνατόν να οξειδωθεί από τα οξειδωτικά της ατμόσφαιρας και να μετατραπεί επίσης σε οξείδια του αζώτου. Τα οξείδια του αζώτου εναποτίθενται ξανά στην βιόσφαιρα και την υδρόσφαιρα με την μορφή νιτρικών ιόντων.



Εικόνα 1. Ο βιογεωχημικός κύκλος του N.



Επιπλέον στον κύκλο του αζώτου παρεμβαίνουν και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, οι οποίες μετέβαλλαν σημαντικά την ισορροπία του κύκλου, ειδικά τον τελευταίο αιώνα, δεδομένο ότι αυξήθηκε κατά δέκα φορές το άζωτο που παράγεται οφειλόμενο στον άνθρωπο (Galloway *et al.*, 2004). Δύο κύριες που αυξάνουν την συγκέντρωση του αζώτου που εκλύεται στο περιβάλλον είναι η καλλιέργεια της γης με και πιο συγκεκριμένα αυτή των ψυχανθών και των ορυζώνων, οι οποίες συμβιώνουν με βακτήρια που έχουν την ικανότητα να μεταβολίζουν το ατμοσφαιρικό άζωτο. Είναι χαρακτηριστικό ότι η καλλιέργεια ρυζιού μπορεί να μετατρέψει σε βιοδιαθέσιμη μορφή  $2-3 \times 10^3 \text{ N/ m}^2$  ατμοσφαιρικού διατομικού αζώτου. Επιπλέον σημαντική ανθρωπογενή πηγή αζώτου αποτελεί η εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Τέλος, η καύση τεράστιων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα κυρίως με αζωτούχες ενώσεις. Σύμφωνα με τους Galloway *et al.* (2004) οι καύσεις ορυκτών καυσίμων οδήγησαν στην αύξηση της ποσότητας του αζώτου στην ατμόσφαιρα τη δεκαετία του '90 κατά 90% συγκριτικά με το 1860.

## 2.2 Βιογεωχικός κύκλος του άνθρακα (C)

Ο κύκλος του άνθρακα οφείλεται στο μετασχηματισμό του άνθρακα από τη μια ουσία στην άλλη. Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο κύκλος του άνθρακα εντοπίζονται οι πηγές παραγωγής του, οι «διαδρομές» που ακολουθεί και οι παράμετροι που ελέγχουν τη ροή του κατά τις διαδρομές αυτές. Πολλά δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα ανταλλάσσονται με φυσικό τρόπο κάθε χρόνο μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της χλωρίδας. Ο κύκλος του άνθρακα συνδέεται άμεσα με την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, που θεωρείται ως το κυριότερο αίτιο για την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια (Παπασιδέρη, 1994).

Ο άνθρακας στη γη εντοπίζεται σε πετρώματα, στους ωκεάνιους, στο έδαφος, στην ατμόσφαιρα και στα φυτά. Οι μορφές του άνθρακα που συμμετέχουν στον βιογεωχημικό του κύκλο είναι:

- Ο **ανόργανος άνθρακας** ο οποίος εντοπίζεται σε πετρώματα κυρίως με τη μορφή ανθρακικού ασβεστίου (ασβεστόλιθοι) ή διασκορπισμένου οργανικού άνθρακα

σε ιζηματογενή πετρώματα (π.χ. σχιστόλιθοι) ή ως διτανθρακικό άλας και ανθρακικό άλας.

- Ο **οργανικός άνθρακας** που βρίσκεται στους οργανικούς φυτικούς ιστούς. • Ο άνθρακας σε αέρια φάση όπως το CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα), το CH<sub>4</sub> (μεθάνιο) και το CO (μονοξείδιο άνθρακα).

- Ο άνθρακας σε επιφανειακά και υπόγεια νερά και ωκεανούς με τη μορφή CO<sub>2</sub>

Οι βασικές διεργασίες που συμμετέχουν στον βιογεωχημικό κύκλο του άνθρακα είναι η φωτοσύνθεση από τους αυτότροφους οργανισμούς και η αναπνοή από τους αυτότροφους οργανισμούς, τους καταναλωτές και τους αποικοδομητές.

Οι κύριες διαδρομές στον κύκλο του άνθρακα είναι η διάλυση του CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα στον ωκεανό και αντίστροφα, η φωτοσύνθεση κατά την οποία καταναλώνεται CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα (παρατηρείται εκροή CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα), η αναπνοή κατά την οποία παράγεται CO<sub>2</sub> (παρατηρείται εισροή CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα) και η καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας κατά την οποία επίσης παράγεται CO<sub>2</sub> (έχουμε δηλαδή ακόμα μία εισροή CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα).

Στα χερσαία οικοσυστήματα η κυριότερη «ροή» άνθρακα είναι αυτή κατά την οποία το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μετακινείται από το ατμοσφαιρικό του απόθεμα όπου βρίσκεται προς τους παραγωγούς οργανισμούς μέσω της φωτοσύνθεσης όπου χρησιμοποιείται για την κυτταρική σύνθεση τους και την παραγωγή ιστών. Με τη φωτοσύνθεση τα φυτά συνθέτουν απλούς υδατάνθρακες από νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Οι υδατάνθρακες αυτοί μετατρέπονται σε άλλες μορφές οργανικών μορίων (π.χ. πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κ.α.) από τα κύτταρα των φυτών. Στη συνέχεια μέσω της τροφικής αλυσίδας οι φυτικοί ιστοί μεταφέρονται στους καταναλωτές. Οι αλυσίδες που σχηματίζονται από τα άτομα του άνθρακα φτιάχνουν τα οργανικά μόρια από τα οποία αποτελούνται οι ζωικοί οργανισμοί (Παπασιδέρη, 1994).

Η διαδικασία της αναπνοής, η οποία διεξάγεται τόσο στους παραγωγούς (κυρίως φυτικοί οργανισμοί) όσο και στους καταναλωτές (κυρίως ζωικοί οργανισμοί), υποβαθμίζει μόρια όπως απλά σάκχαρα και τα μετατρέπει σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ή στο νερό. Με αυτόν τον τρόπο το διοξείδιο του άνθρακα ανακυκλώνεται συνεχώς (Παπασιδέρη, 1994).

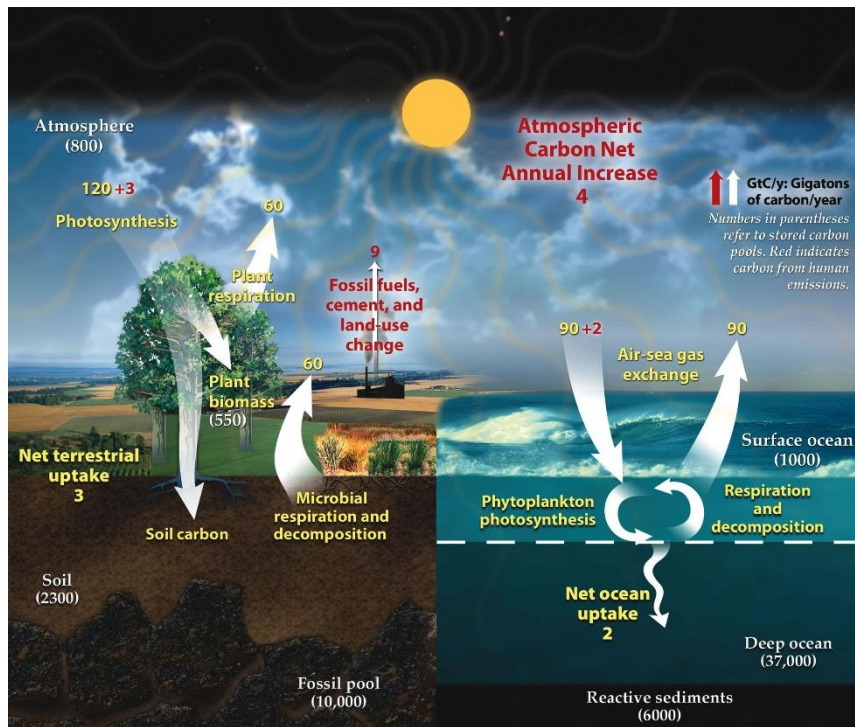
Στη συνέχεια, οι δύο αυτές κατηγορίες οργανισμών (παραγωγοί και καταναλωτές) τροφοδοτούν τους αποικοδομητές<sup>1</sup> οι οποίοι μετά το πέρας του βιολογικού κύκλου των παραπάνω οργανισμών, αποδομούν τις μεγαλομοριακές

ανθρακικές ενώσεις σε απλούστερες και στη συνέχεια αυτές σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και με αυτόν τον τρόπο στέλνουν τον άνθρακα πίσω στο ατμοσφαιρικό του απόθεμα με τη μορφή CO<sub>2</sub>. Οι ίδιοι οργανισμοί με την αναπνοή τους απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα αλλά και μετά το πέρας του βιολογικού του κύκλου τροφοδοτούν τους αποικοδομητές με την σειρά τους.

Στα υδατικά οικοσυστήματα το φυτοπλαγκτόν είναι εκείνο που προσλαμβάνει το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) το οποίο βρίσκεται διαλυμένο στο νερό και συνθέτει μέσω της φωτοσύνθεσης υδατάνθρακες. Το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο παράγεται μέσω της αναπνοής επαναχρησιμοποιείται από τους υδρόβιους παραγωγούς οργανισμούς (οργανισμοί οι οποίοι ζουν σε θάλασσες, ποτάμια ή λίμνες π.χ. φυτοπλαγκτόν ή υδροχαρή φυτά) με τον ίδιο τρόπο όπως και στην ξηρά.

Από την παραπάνω περιγραφή του κύκλου του άνθρακα είναι εμφανές ότι υπάρχουν «οδοί» μέσα από τις οποίες ο άνθρακας χρησιμοποιείται και κάποιες άλλες μέσω των οποίων ξαναγυρίζει στα ατμοσφαιρικά ή υδροσφαιρικά του αποθέματα. Οι «οδοί» αυτοί αποτελούν αυτορυθμιζόμενους μηχανισμούς μέσω των οποίων το σύστημα διατηρείται σε ισορροπία. Η ισορροπία αυτή μπορεί να διαταραχθεί αν π.χ. αυξηθεί υπέρμετρα η ποσότητα του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Παπασιδέρη, 1994).

Τεράστιες ποσότητες άνθρακα παγιδεύονται για μεγάλες χρονικές περιόδους σε φυσικά υλικά όπως οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο και τα ανθρακούχα βράχια. Οι γαιάνθρακες όπως και το πετρέλαιο αντιπροσωπεύουν συσσωρευμένα, συμπιεσμένα και τροποποιημένα σώματα νεκρών φυτών και ζώων που δεν αποσυντέθηκαν. Τα ανθρακούχα βράχια και ο ασβεστόλιθος προέρχονται κυρίως από συμπιεσμένα σκελετικά υπολείμματα. Όταν οι απολιθωμένες μορφές καυσίμων (γαιάνθρακες και πετρέλαιο) καίγονται, ο εγκλωβισμένος άνθρακας απελευθερώνεται με την μορφή διοξειδίου του άνθρακα και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα (Παπασιδέρη, 1994). Η συνεχώς εντεινόμενη χρήση ορυκτών καυσίμων λόγω των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών τα τελευταία 50 χρόνια έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εκπομπών και συνεπώς και των συγκεντρώσεων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Οι άνθρωποι επηρεάζουν τον κύκλο του CO<sub>2</sub> με την εντατική εξόρυξη και καύση ορυκτών καυσίμων, αλλά και με την καταστροφή των δασών λόγω της υλοτόμησης ή των εκχερσώσεων. Επίσης, η αλλαγή των χρήσεων της γης όπως η μετατροπή δασικών εκτάσεων σε γεωργικές, η ακόμα και σε αστικές, περιορίζει την «οδό» μεταφοράς του διοξειδίου του άνθρακα προς τους φυτικούς ιστούς με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Βιογεωχημικός κύκλος άνθρακα (Riebeek, 2011).

### **Κεφάλαιο 3. Φαινόμενο του θερμοκηπίου και κλιματική αλλαγή**

Οι διαταραχές που προκαλούνται στη βιόσφαιρα της γης και γενικά στο φυσικό περιβάλλον ονομάζονται οικολογικά ή περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία συνηθίζεται να αποδίδονται σε ανθρώπινη δραστηριότητα. Όταν ένας πληθυσμός φαίνεται να απειλείται από τα οικολογικά αυτά προβλήματα κάνουμε λόγο για μία οικολογική κρίση η οποία όμως μπορεί να οφείλεται τόσο σε ανθρωπογενή όσο και σε φυσικά αίτια. Είναι γεγονός ότι, μερικά από τα οικολογικά προβλήματα που κυριαρχούν στον πλανήτη μας ξεκίνησαν να εμφανίζονται κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση και σε αυτά συγκαταλέγονται κυρίως η περιβαλλοντική ρύπανση, η τρύπα του όζοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η υπερθέρμανση του πλανήτη, η αποψίλωση των δασών, η ερημοποίηση, η εξαφάνιση βιολογικών ειδών, η όξινη βροχή αλλά και η κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη-Πλαίσιο για την Αλλαγή του Κλίματος (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), ορίζεται ότι *«Η Κλιματική Αλλαγή αναφέρεται σε αλλαγές του κλίματος που αποδίδονται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες μεταβάλλουν τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και παρατηρούνται, όπως και οι φυσικές διακυμάνσεις, σε συγκρίσιμα χρονικά διαστήματα»*. Πιο συγκεκριμένα, η κλιματική αλλαγή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση θερμοκρασίας του πλανήτη μας, η οποία με την σειρά της επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στα χερσαία όσο και στα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και στην ανθρώπινη κοινωνία και κατά συνέπεια στην οικονομία. Το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη και συνεπώς της κλιματικής αλλαγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (Greenhouse Effect).

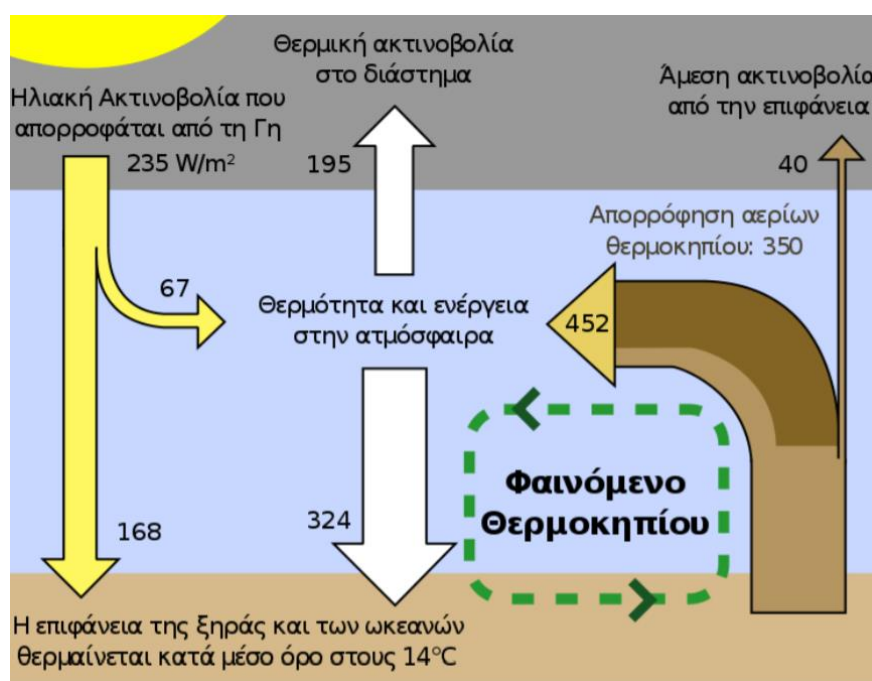
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, η οποία ενισχύεται από τις αυξημένες συγκεντρώσεις κάποιων αερίων στην ατμόσφαιρα τα οποία διακρίνονται από την ιδιότητα τους να παγιδεύουν την ακτινοβολία. Η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εγκλωβίζεται στην επιφάνεια του πλανήτη από τα συγκεκριμένα αέρια, καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο που είναι απαραίτητο για την δημιουργία ιδανικών συνθηκών ώστε να υπάρξει ζωή στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου κατά 35°C χαμηλότερη,

καθιστώντας δυσμενείς τις συνθήκες για την ανάπτυξη έμβιων όντων, τουλάχιστον στη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου υπήρχε πάντοτε, λόγω των ιδιοτήτων ορισμένων συστατικών της γήινης ατμόσφαιρας. Ωστόσο πλέον εμφανίζεται οξυμένο λόγω της εντατικοποίησης διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και πιο συγκεκριμένα της καύσης ορυκτών καυσίμων αλλά και της αποψίλωσης των δασών (Χατζηκώστας & Σδούγκας, 2013)

Ο μηχανισμός του φαινομένου του θερμοκηπίου στηρίζεται στη θεωρία όπου κάθε σώμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία με μήκος κύματος αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας του. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία του εκπεμπόντος σώματος τόσο μικρότερο μήκος κύματος θα έχει η εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και με τον ήλιο, ωστόσο η συγκεκριμένη ακτινοβολία λόγω της ιδιαίτερα υψηλής θερμοκρασίας του ηλιακού σώματος τόσο μικρότερο μήκος κύματος θα διαθέτει. Το σύνολο σχεδόν της ενέργειας που καταλήγει στην επιφάνεια της γης προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, το 30% φαίνεται να ανακλάται ενώ το υπόλοιπο απορροφάται τόσο από το έδαφος ή τη θάλασσα όσο και από την ατμόσφαιρα και είναι υπεύθυνο για τη θέρμανση της γης και της χαμηλότερης ατμόσφαιρας, για την τήξη των πάγων ή του χιονιού, για την εξάτμιση του νερού και για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Από αυτό, το 16% της ακτινοβολίας απορροφάται από τα στοιχεία της ατμόσφαιρας ενώ 3% από τα νέφη της ατμόσφαιρας. Έτσι μόνο το 51% της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία εισέρχεται στο σύστημα ατμόσφαιρα – έδαφος - θάλασσα απορροφάται από την επιφάνεια της γης και τους ωκεανούς (IPCC, 2007).

Αντίστοιχα με την ίδια διαδικασία, η γη, εκπέμπει επίσης πίσω στο διάστημα θερμική ακτινοβολία. Ωστόσο, η γήινη εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος, σε αντίθεση με αυτά της ηλιακής ακτινοβολίας. Ορισμένα από τα αέρια που συγκροτούν την ατμόσφαιρα, επιτρέπουν τη διέλευση μέσα από τη μάζα τους, της μικρού μήκους κύματος (ηλιακής) ακτινοβολίας ενώ αντίθετα, δεν επιτρέπουν τη διέλευση μεγάλου μήκους (θερμική, γήινη) ακτινοβολία από αυτά. Κατά αυτό τον τρόπο η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία διαπερνά τη μάζα των αερίων του θερμοκηπίου η οποία περιβάλλει τη γη φτάνοντας στην επιφάνεια της ενώ αντίθετα, η μεγάλου μήκους θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτή παγιδεύεται από τα αέρια του θερμοκηπίου που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα και επανεκπέμπεται προς τη γη. Έτσι, η γήινη ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται, ως μία δεύτερη πηγή θερμότητας (Κωστάκου, 2011).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία σχηματική απεικόνιση της ροής ενέργειας από το διάστημα στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης και έπειτα πάλι πίσω. Μπορεί έτσι κάποιος να παρατηρήσει τον εγκλωβισμό θερμότητας πλησίον της επιφάνειας της γης οξύνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι ανταλλαγές ενέργειας που υπολογίστηκαν, εκφράζονται σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ( $W/m^2$ ) (Kiehl & Trenberth, 1997).



Εικόνα 3. Σχηματική αναπαράσταση των ανταλλαγών ενέργειας μεταξύ του διαστήματος και της επιφάνειας της γης και αντιστροφής (Kiehl & Trenberth, 1997).

### 3.1 Αέρια θερμοκηπίου και πηγές προέλευσης

Η ατμόσφαιρα της Γης αποτελείται κατά κύριο λόγο από άζωτο (78%) και οξυγόνο (21%). Αυτά τα δύο πιο κοινά αέρια της ατμόσφαιρας έχουν τέτοια χημική δομή που δεν επιτρέπουν την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης προς την ατμόσφαιρα. Τα αέρια του θερμοκηπίου παράγονται είτε με φυσικούς είτε με τεχνητούς τρόπους. Το αέριο που

παρατηρείται σε αφθονία και εκλύεται στην ατμόσφαιρα μετά από φυσικές διεργασίες είναι οι υδρατμοί. Η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα δεν παρουσιάζει σταθερές τιμές ωστόσο δεν συνδέεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Όμως, οι ανθρώπινες δραστηριότητες φαίνεται να συμβάλουν περισσότερο στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Υπάρχει έντονη ανησυχία στο χώρο της επιστήμης για την αυξητική τάση των αερίων αυτών που συμβάλλουν δραστικά στην ικανότητα της ατμόσφαιρας να συγκρατεί την υπέρυθρη ακτινοβολία, οδηγώντας μελλοντικά στην τεχνητή θέρμανση της επιφάνειας της Γης. Κύριες πηγές των παραγομένων από τον άνθρωπο αερίων του θερμοκηπίου είναι: το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) αλλά και το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Οδηγία 2003/87/EK), το πρωτόκολλο του Κιότο αλλά και τα πλέον διαδεδομένα πρότυπα υπολογισμού του αποτυπώματος του άνθρακα (GHG Protocol, 2006) ως τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου ορίζονται τα εξής:

- 1. Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>):** Στη γη υπάρχουν εκτεταμένες ποσότητες άνθρακα, οι οποίες ανακυκλώνονται με τον "κύκλο του άνθρακα". Ο άνθρακας απαντάται σε μικρές ποσότητες στην ατμόσφαιρα και συμμετέχει ενεργά στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η προέλευσή του εντοπίζεται κυρίως σε ηφαιστειακή δραστηριότητα, ζύμωση των οργανικών ενώσεων απουσία οξυγόνου αλλά και στην αναπνοή των ζωικών και φυτικών οργανισμών. Ωστόσο μεγάλες συγκεντρώσεις άνθρακα καταγράφονται κατά τη διάρκεια ανθρωπογενών δραστηριοτήτων όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και υδρογονανθράκων. Στις χώρες με βιομηχανική δραστηριότητα το CO<sub>2</sub> αποτελεί το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Γκαϊντατζής, 2012). Τα ορυκτά καύσιμα είναι τα απολιθωμένα υπολείμματα νεκρών ζωικών και φυτικών οργανισμών, τα οποία συντίθενται υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας σε διάστημα εκατομμυρίων ετών και χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Με την ευρεία έννοια, το κάρβουνο δεν είναι παρά υπολείμματα δασών, ενώ το πετρέλαιο προκύπτει από τη χλωρίδα των ωκεανών. Το CO<sub>2</sub> μπορεί να παραμείνει στην



ατμόσφαιρα για 50-200 χρόνια, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσης και επιστροφής του στο έδαφος και τους ωκεανούς (Γκαϊντατζής, 2012). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες διαταράσσουν τον κύκλο του άνθρακα, προσθέτοντας μεγάλες ποσότητες του στην ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας την φυσική του απορρόφηση και διαταράσσοντας τον κύκλο του. Η κύρια τεχνητή πηγή εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι η καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τις μεταφορές, κάποιες βιομηχανικές διεργασίες, όπως η παραγωγή τσιμέντου και αλλαγές χρήσεων γης με κύρια την αποψίλωση των δασών. Χαρακτηριστικά, τα τρία τέταρτα της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες οφείλονται στην καύση ορυκτών καυσίμων καθώς τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων καίγονται για να παραχθεί ενέργεια, κυρίως στις ανεπτυγμένες χώρες, ενώ το υπόλοιπο οφείλεται στις αλλαγές χρήσεων γης, και κυρίως στην αποψίλωση των δασών (IPCC I. , Third Assessment Report: Climate Change, Working Group III: Mitigation, 2001). Σήμερα εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα τουλάχιστον 25 δισεκατομμύρια τόνοι CO<sub>2</sub> το χρόνο λόγω των τεράστιων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων που καίγονται για να παραχθεί ενέργεια στις ανεπτυγμένες αλλά και στις ταχύτατα αναπτυσσόμενες χώρες. Ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα στις μέρες μας είναι πολύ πιο έντονος από οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή στο παρελθόν γεγονός το οποίο ανησυχεί τους επιστήμονες που παρακολουθούν το φαινόμενο (U.S.EPA, 2018).

- 2. Μεθάνιο:** Το δεύτερο σημαντικότερο αέριο που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Αποτελεί βασικό συστατικό του φυσικού αερίου. Παράγεται από φυσικές δραστηριότητες η ένταση των οποίων μπορεί να επηρεαστεί από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Το μεθάνιο συντίθεται, κατά κύριο λόγο, από βακτήρια που αποσυνθέτουν οργανικές ύλες ελλείψει οξυγόνου. Τέτοιου είδους αποδόμηση οργανικών ουσιών είναι δυνατόν να γίνει σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, σε υγροτόπους ακόμα και σε ορυζοκαλλιέργειες (οι ορυζώνες παράγουν μεθάνιο καθώς οι οργανικές ύλες του εδάφους αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο). Η εντατική εκτροφή κυρίως βοοειδών είναι δυνατόν να προκαλέσει εκπομπές ποσοτήτων μεθανίου (τα βοοειδή καταναλώνουν φυτά, τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα και τα οποία εκπέμπουν μεθάνιο μέσω της εκπνοής

και των περιττωμάτων τους). Μεθάνιο μπορεί να βρίσκεται εγκλωβισμένο σε κοιλότητες του εδάφους μαζί με ορυκτά καύσιμα (άνθρακας και κυρίως πετρέλαιο καθώς και φυσικό αέριο). Η εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων μπορεί να απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα τις εγκλωβισμένες ποσότητες μεθανίου. Το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα δεσμεύει θερμότητα 23 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO<sub>2</sub>. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής του είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 10 έως 15 χρόνια ((ΕΚ) 2037/2000)). Βασικές πηγές εκπομπών μεθανίου προέρχονται και από τον βιομηχανικό τομέα στον οποίο οι εκπομπές αναφέρονται από την παραγωγή, την αποθήκευση, την μεταφορά και την κατανάλωση του φυσικού αερίου. Επίσης εκπομπές προέρχονται και από τη διαχείριση των ζωικών λιπασμάτων και κατά την κατά την επεξεργασία των λυμάτων (Κωνσταντουδάκη, 2013).

- 3. Υποξείδιο του αζώτου:** Το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) είναι μια χημική ένωση η οποία εκπέμπεται με φυσικό τρόπο μέσω του κύκλου του αζώτου μεταξύ της ατμόσφαιρας, των φυτών, των ζώων, των μικροοργανισμών του εδάφους και του νερού. Απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα παρθένα δάση, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Το υποξείδιο του αζώτου απορροφάται από την ατμόσφαιρα από ορισμένους τύπους βακτηρίων ή καταστρέφεται από την υπεριώδη ακτινοβολία ή κατά τις χημικές αντιδράσεις. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στη γεωργία, την καύση ορυκτών καυσίμων και τη βιομηχανική χημική παραγωγή με χρήση αζώτου, όπως και την επεξεργασία λυμάτων καθώς και από τη χρήση φιαλών αεροζόλ και σπρέι στα οποία χρησιμοποιείται ως προωθητικό υλικό. Επίσης σημαντικές ποσότητες υποξειδίου του αζώτου προέρχονται από την καύση καυσίμων στα μέσα μεταφοράς, από την παραγωγή πλαστικών, νάιλον και άλλων συνθετικών προϊόντων και ως παραπροϊόν κατά την παραγωγή νιτρικού οξέος. Στις βιομηχανικές χώρες, το N<sub>2</sub>O αποτελεί το 6% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το N<sub>2</sub>O είναι 310 φορές πιο αποτελεσματικό από το CO<sub>2</sub> στην απορρόφηση της θερμότητας. Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16% και συμβάλλουν κατά 4 έως 6% στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου ((ΕΚ) 2037/2000)).

**4. Φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου:** Είναι τα μόνα αέρια θερμοκηπίου που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, αλλά έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Το μερίδιό τους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις βιομηχανικές χώρες είναι περίπου 1,5%. Όμως, είναι εξαιρετικά ισχυρά - μπορούν να δεσμεύσουν θερμότητα 22.000 φορές πιο αποτελεσματικά σε σχέση με το CO<sub>2</sub> και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια (Κωνσταντουδάκη, 2013). Τα φθοριούχα αέρα περιλαμβάνουν τους υδροφθοράνθρακες που χρησιμοποιούνται για την ψύξη και την κατάψυξη, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων κλιματισμού το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>) που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην ηλεκτρονική βιομηχανία και τους υπερφθοράνθρακες (PFC) που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρονική βιομηχανία.

- **Υδροφθοράνθρακες:** Οι υδροφθοράνθρακες (HFCs) είναι χημικές ενώσεις, οι οποίες τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκαν ευρέως προκειμένου να αντικαταστήσουν τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και τους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), καθώς δεν καταστρέφουν την στιβάδα του όζοντος. Οι τρεις βασικοί τύποι HFCs είναι οι HFC23, HFC-134a και HFC-152a. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα ψύξης και κλιματισμού, καθώς και ως διογκωτικοί παράγοντες για αφρούς, μέσα πυρόσβεσης, προωθητικά αερολυμάτων και διαλύτες. Οι εκπομπές τους οφείλονται στις διαρροές κατά την χρήση, την συντήρηση και την απόρριψη των συσκευών στις οποίες χρησιμοποιούνται (Κωνσταντουδάκη, 2013).

- **Υπερφθοράνθρακες:** Οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) είναι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως στον τομέα των ηλεκτρονικών, καθώς και στον τομέα των καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Σε μικρότερο βαθμό χρησιμοποιούνται και σε εξοπλισμούς ψύξης ως υποκατάστατα των CFCs, ενώ κυρίως εκπέμπονται ως παραπροϊόν διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών που σχετίζονται με την παραγωγή αλουμινίου και την κατασκευή ημιαγωγών (Κωνσταντουδάκη, 2013).

- **Εξαφθοριούχο θείο:** Το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>) χρησιμοποιείται κυρίως εκεί που υπάρχουν υψηλές ηλεκτρικές τάσεις, στους υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, στους διακόπτες υψηλής τάσης σαν διηλεκτρικό, στα καλώδια υψηλής τάσης σαν μονωτικό, στη

επεξεργασία μαγνησίου και αλουμινίου και στη βιομηχανία ημιαγωγών. Ως αέριο εκπέμπεται από διαρροές στις παραπάνω εγκαταστάσεις (Κωνσταντουδάκη, 2013).

Τα γνωστότερα αέρια από την ομάδα των συγκεκριμένων αερίων είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) τα οποία δεν είναι μόνον φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου, αλλά καταστρέφουν και το στρώμα του όζοντος. Τα συγκεκριμένα αέρια αποσύρονται σταδιακά από την κυκλοφορία σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ του 1987 για τις ουσίες που καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος ((ΕΚ) 2037/2000). Η μεγαλύτερη συνεισφορά από όλα τα παραπάνω αέρια (περίπου 59%) στο φαινόμενο του θερμοκηπίου προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα δηλαδή ουσιαστικά από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) παρουσίασε αύξηση κατά 31% την περίοδο 1750-1998 (Pandey, Agraval, & Pandey, 2011). Τα τελευταία χρόνια, εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα την ίδια αυξητική πορεία της συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα καταγράφουν και τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου.

### 3.2 Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

Ο διαφορετικός χρόνος παραμονής των αερίων στην ατμόσφαιρα αλλά και η διαφορετική δυνατότητα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι δυο βασικοί παράγοντες που ‘μετατρέπουν’ τα αέρια του θερμοκηπίου επικίνδυνα. Ο βαθμός επικινδυνότητας του κάθε αερίου δε σχετίζεται μόνο με την εκπεμπόμενη ποσότητα του κάθε αερίου αλλά και με το διαφορετικό δυναμικό συνεισφοράς του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (**Global Warming Potential – GWP**). Το δυναμικό συνεισφοράς εξαρτάται κυρίως από την ένταση της ακτινοβολίας, από τον μέσο χρόνο που παραμένει το αέριο στην ατμόσφαιρα αλλά και από την κατά μέσο όρο δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας. Ως δυναμικό θέρμανσης ορίζεται το πηλίκο της πλανητικής θέρμανσης που προκαλεί μια μονάδα μάζας αερίου προς αυτή που προκαλεί μια μονάδα μάζας διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (διάστημα 100 ετών). Ουσιαστικά, το Δυναμικό Υπερθέρμανσης του Πλανήτη GWP είναι ένας δείκτης που εκφράζει ποσοτικά τη θερμότητα που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα από ένα αέριο του θερμοκηπίου και περιγράφει το χρόνο

στον οποίο ένα αέριο θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα (IPCC I. , Third Assessment Report: Climate Change, Working Group III: Mitigation, 2001). Συνήθως οι υπολογισμοί στις έρευνες αφορούν δεδομένα 20, 100 ή 500 χρόνων αποτελώντας ένα είδος συντελεστή εκτίμησης του CO<sub>2</sub> (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1: Δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) και το υποξειδίου του αζώτου (N<sub>2</sub>O) για διαφορετικές προοπτικές χρόνου (πηγή: Röss, 2013)**

Αέρια	20 χρόνια	100 χρόνια	500 χρόνια
CH <sub>4</sub>	72	25	7.6
N <sub>2</sub> O	289	298	153

Το GWP εκφράζεται ως ισοδύναμα CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>eq) για τα διάφορα αέρια του θερμοκηπίου, τα οποία μπορούν ποσοτικοποιούν της εκπομπές των αερίων και συσχετίζονται άμεσα με τη συνεισφορά τους στην κλιματική αλλαγή. Ως εκ τούτου, το συνολικό GWP υπολογίζεται ως εξής (Röss, 2013):

### Global Warming Potential (kg CO<sub>2</sub>eq)

$$= \text{Ποσότητα CO}_2 * 1 + \text{Ποσότητα CH}_4 * \text{GWP}_{\text{CH}_4} + \text{Ποσότητα N}_2\text{O} * \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$$

Όπου,

το GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> είναι το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη για το CH<sub>4</sub>,

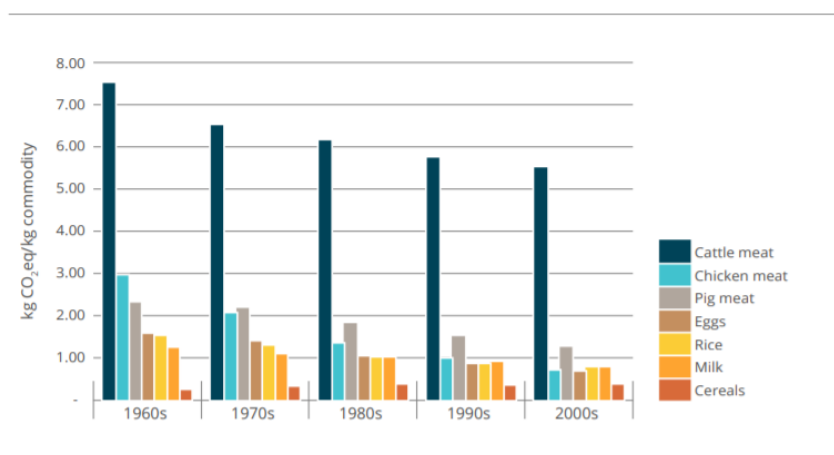
το GWP<sub>N<sub>2</sub>O</sub> είναι το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη για το N<sub>2</sub>O.

## Κεφάλαιο 4. Τρόφιμα και εκπομπή αερίων θερμοκηπίου

Το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων ευθύνεται για το 22-37% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Rogissart, Foucherot & Bellassen, 2019a). Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 29% του συνόλου των εκπομπών σχετίζονται με τον τομέα των τροφίμων (EIPRO, 2006). Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ότι το 18% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσε να αποδοθεί μόνο σε ζωικά προϊόντα (Steinfeldt *et al.*, 2006). Για το λόγο αυτό, στις ευρωπαϊκές και εθνικές στρατηγικές για το κλίμα ορίστηκε ως στόχος η μείωση κατά το ήμισυ των γεωργικών εκπομπών έως το 2050 (European Commission, 2018; MTES, 2018).

Είναι γεγονός, ότι η αγροτική δραστηριότητα αποτελεί μια σημαντική ανθρωπογενή πηγή των τριών κυρίαρχων αερίων, που σήμερα ολοένα και περισσότερο με την παρουσία τους στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα βασικά αέρια που εκπέμπονται από αυτή τη δραστηριότητα είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) και το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) (Cole *et al.*, 1997, Paustian *et al.*, 2004). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αγροτικός τομέας ευθύνεται για το 10-12% του συνόλου της εκπομπής ρύπων, για το 50% της εκπομπής μεθανίου και για το 60% της εκπομπής του υποξειδίου του αζώτου (Χριστοδούλου, Κοτσάμπαση & Μπαμπίδης, 2011). Σύμφωνα με τον EPA (2006), οι κυρίαρχοι ρύποι που εντοπίζονται κατά τις αγροτικές δραστηριότητες είναι το N<sub>2</sub>O που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες (38%), το CH<sub>4</sub> που παράγεται από την εντερική ζύμωση των ζώων παραγωγής εξαιτίας της μεθανιογένεσης, καθώς και το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου ως προϊόντα της διαχείρισης στερεών και υγρών αποβλήτων από τα παραγωγικά ζώα (38%). Επιπλέον, η καλλιέργεια του ρυζιού φαίνεται να συμβάλλει αρκετά στην ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω της εκπομπής μεθανίου (11%), καθώς και η καύση της σαβάνας μέσω της εκπομπής τόσο μεθανίου όσο και υποξειδίου του αζώτου, ενώ οι πυρκαγιές στα δάση και η καύση των αγροτικών υπολειμμάτων (π.χ. καλαμιές) παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Επιπρόσθετα, η αγροτική δραστηριότητα είναι ακόμα υπεύθυνη για την εκπομπή ρύπων από την αγροτική βιομηχανία, είτε αυτή αφορά στην επεξεργασία των αγροτικών προϊόντων, είτε στη χημική βιομηχανία (λιπάσματα, φυτοφάρμακα), είτε

στο μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται κατά την αγροτική δραστηριότητα (FAO, 2014). Από τη βάση δεδομένων της FAOSTAT σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά προϊόν στη γεωργία έχουν προκύψει κάποιοι σχετικοί δείκτες. Εκφράζοντας την ένταση των αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα προϊόντος, για το κρέας και το γάλα βοοειδών, το χοιρινό κρέας, το κρέας κοτόπουλου και τα αυγά, το ρύζι και άλλα δημητριακά. Οι δείκτες έντασης των αερίων του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν για κάθε χώρα κατά την περίοδο 1961-2011 και στη συνέχεια συγκεντρώθηκαν σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Οι εκτιμήσεις εκπομπών που χρησιμοποιούνται για τα κτηνοτροφικά προϊόντα περιλάμβαναν την εντερική ζύμωση, τη διαχείριση κοπριάς, την κοπριά που απομένει στα βοσκοτόπια και αυτή που εφαρμόζεται στα εδάφη. Αντίστοιχα, οι εκτιμήσεις των εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν για το ρύζι αφορούσαν το μεθάνιο που παράγεται κατά την καλλιέργεια ορυζώνων αλλά και το οξείδιο του αζώτου από τη χρήση λιπασμάτων. Οι εκτιμήσεις εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν για τα άλλα σιτηρά περιορίστηκαν στο οξείδιο του αζώτου από τη χρήση λιπασμάτων (Γράφημα ).



**Γράφημα 1.** Ιστορικές τάσεις στην ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά προϊόν (FAO, 2014).

#### 4.1 Ζωική Παραγωγή

Είναι σαφές ότι το κρέας και τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι τα τρόφιμα που φέρουν τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, αντιπροσωπεύοντας περίπου τις μισές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται στα τρόφιμα (European Commission, 2006; Jan Kramer *et al.*, 1999). Ωστόσο, η παγκόσμια κατανάλωση

κτηνοτροφικών προϊόντων αυξάνεται, με τη ζήτηση τόσο για κρέας όσο και για γάλα να παρουσιάζει τάση διπλασιασμού μέχρι το 2050 (FAO, 2006).

Υπάρχει μια μεγάλη και αυξανόμενη σε αριθμό βιβλιογραφία σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την εκτροφή ζώων (Casey & Holden, 2005, 2006; Cederberg & Mattson, 2000; Cederberg & Stadig, 2003; FAO, 2006; Lovett *et al.*, 2006). Τα ευρήματα καταλήγουν σε γενικές γραμμές στο συμπέρασμα ότι τα κτηνοτροφικά προϊόντα συμβάλλουν σε μεγάλο ποσοστό στις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με άλλες ομάδες τροφίμων. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι η συντριπτική πλειοψηφία των επιπτώσεων οφείλεται στο στάδιο της εκτροφής, ενώ η μεταγενέστερη επεξεργασία, η λιανική πώληση και η μεταφορά παίζουν δευτερεύοντα ρόλο (Berlin, 2002, Foster *et al.*, 2006).

Με στόχο την ανάλυση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από ζωικά προϊόντα, πρέπει αρχικά τα παραγωγικά ζώα να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές ομάδες, τα μονογαστρικά και τα μηρυκαστικά ζώα. Στα μονογαστρικά ζώα περιλαμβάνονται οι χοίροι και τα πουλερικά, στα οποία η παροχή ζωοτροφής είναι η πιο σημαντική δραστηριότητα, ακολουθούμενη από τη διαχείριση της κοπριάς. Ωστόσο, στα μηρυκαστικά, όπως τα βοοειδή, τα πρόβατα, οι αίγες και τα αιγοπρόβατα, οι εκπομπές μεθανίου είναι αυτές που φαίνεται να απασχολούν περισσότερο. Το μεγαλύτερο μέρος του μεθανίου προέρχεται από την γαστρική δραστηριότητα, κατά τη διάρκεια της χώνεψης της τροφής στον προστόμαχο, αλλά και από τη διαχείριση της κοπριάς (Sonesson, Davis & Ziegler, 2009).

Τέλος, με στόχο την ποσοτική παρουσίαση των δεδομένων, οι Χριστοδούλου, Κοτσάμπαση & Μπαμπίδης (2011) αναφέρουν ότι η παραγωγή του βοδινού κρέατος είναι αυτή που ευθύνεται πολύ περισσότερο για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου με 22.6 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, ακολουθούμενη από την παραγωγή χοιρινού κρέατος στα 3.5 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, την παραγωγή κρέατος πουλερικών με 1.6 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, αυγών με 1.7 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg και γάλακτος με 1.3 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg.

#### **4.1.1 Βόειο κρέας**

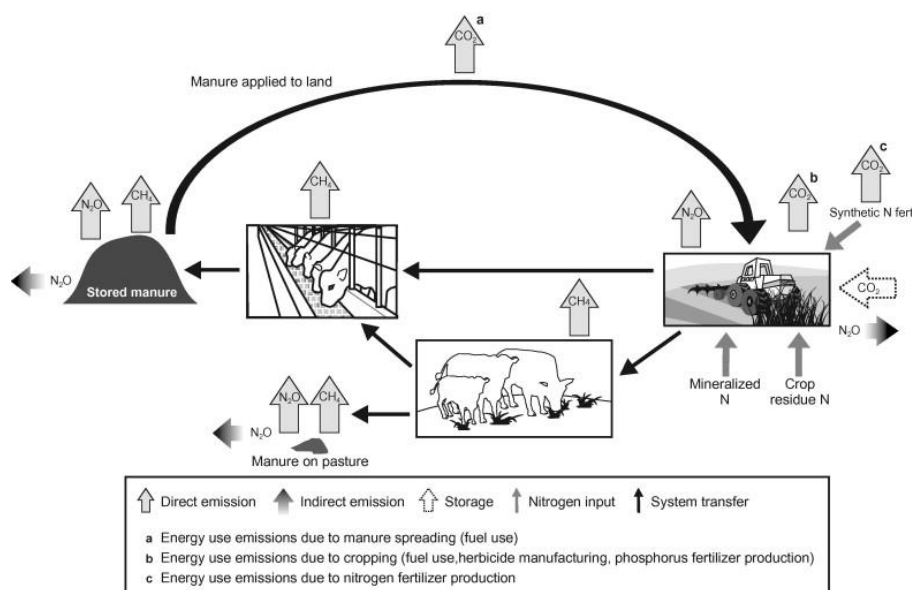
Με τη ζήτηση για ζωικά προϊόντα να αναμένεται να διπλασιαστεί έως το 2050, ο αντίκτυπος από την κτηνοτροφική παραγωγή γίνεται ακόμη πιο σημαντικός (Garnett, 2007). Τα προϊόντα βοείου κρέατος, ιδίως, θεωρούνται τα τρόφιμα που προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά κιλό τροφής (Mogensen *et al.*, 2009).



Υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς το σύστημα εκτροφής αλλά και ως προς τη διαχείριση των πόρων στα διαφορετικά συστήματα παραγωγής βοείου κρέατος και, κατά συνέπεια, και στο περιβαλλοντικό φορτίο των συστημάτων (Nguyen *et al.*, 2010, Veysset *et al.*, 2014). Υπάρχουν φυλές μόσχων που εκτρέφονται αποκλειστικά για το κρέας τους (κρεοπαραγωγικές φυλές) και φυλές που εκτρέφονται για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων και ενδεχομένως κάποιες από αυτές να καταναλώνονται και για το κρέας τους. Ωστόσο, και στις δυο περιπτώσεις, σε όλα τα συστήματα εκτροφής, το μεθάνιο από την εντερική ζύμωση (πέψη τροφής) παίζει το σημαντικότερο ρόλο στον κύκλο ζωής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Εικόνα 4).

Κατά τη διαδικασία κατανάλωσης της τροφής, μικροοργανισμοί που εντοπίζονται στο στομάχι των μηρυκαστικών ζώων αποικοδομούν την κυτταρίνη και ημικυτταρίνη σε ουσίες που τα βοοειδή μπορούν να μεταβολίσουν. Σε αυτή τη διαδικασία, η οποία είναι αναερόβια, παράγεται μεθάνιο από τους μικροοργανισμούς και εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, η ικανότητα των μηρυκαστικών να καταναλώνουν τροφές πλούσιες σε φυτικές ίνες έχει και την θετική πλευρά δεδομένου ότι αξιοποιούν τις μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις και από αυτές παράγονται υψηλής ποιότητας τρόφιμα. Σε συστήματα όπου συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα ζωοτροφής, όπως σιτηρά και σόγια, οι εκπομπές τόσο του οξειδίου του αζώτου όσο και το διοξειδίου του άνθρακα αυξάνονται. Ταυτόχρονα, οι εκπομπές μεθανίου εκτιμώνται χαμηλότερες εάν χρησιμοποιείται συμπυκνωμένη τροφή, ωστόσο το ποσοστό σε σχέση με τα υπόλοιπα αέρια δεν είναι σαφές. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι εκπομπές από τις βιολογικές διεργασίες είναι σημαντικές, είναι ζωτικής σημασίας η ανάπτυξη των βοοειδών να είναι υψηλή, προκειμένου να διατηρούνται χαμηλά τα ποσοστά εκπομπών ανά κιλό κρέατος. Εάν τα ζώα μεγαλώνουν πολύ αργά, εκλύονται συνολικά μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου από την πέψη των ζωοτροφών που απαιτούνται, χωρίς την παραγωγή κρέατος. Κατά την ίδια λογική, μια σημαντική εξήγηση για τις υψηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το βόειο κρέας είναι ο αργός ρυθμός αναγέννησης. Οι αγελάδες γεννούν στην καλύτερη περίπτωση ένα μόσχο ετησίως, γεγονός που σημαίνει ότι όλες οι εκπομπές κατά τη διάρκεια ενός αγελαδινού-έτους πρέπει να αποδοθούν περισσότερες ή λιγότερες από το κρέας που παράγεται από το ένα μοσχάρι. Στα μικτά συστήματα παραγωγής, η αγελάδα παράγει γάλα και κρέας κάθε χρόνο, γεγονός που καθιστά το βόειο κρέας από τέτοια συστήματα λιγότερο 'ρυπογόνο' (Sonesson, Davis & Ziegler, 2009).

Ωστόσο, σε ό,τι αφορά τις εκπομπές αερίων που οφείλονται στην κτηνοτροφική δραστηριότητα, υπάρχουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των διαφόρων χωρών. Αυτές οι αποκλίσεις κυρίως οφείλονται στα διαφορετικά συστήματα εκτροφής, στη χρήση διαφορετικών ειδών ζωοτροφών, στη σύνθεση και τη θρεπτική ικανότητα των σιτηρεσίων αλλά και στην εκμετάλλευσή τους από το ίδιο το ζώο, καθώς και στο χρησιμοποιούμενο ζωικό γενετικό υλικό. Υπάρχουν πολλές LCA μελέτες από διαφορετικές περιοχές, στον Πίνακα 2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των μελετών αυτών που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και με την χρήση ενέργειας. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μελέτες που παρουσιάζονται δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα διότι υπάρχουν διαφορές ως προς τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, καθώς η κατανομή μεταξύ δέρματος, κρέατος και γάλακτος και μερικές φορές τα όρια του συστήματος διαφέρουν ελαφρώς. Επιπλέον, οι συντελεστές στάθμισης μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου σύμφωνα με τις μελέτες IPCC το 2007 διαφέρουν καθώς οι καινούργιες μελέτες δίνουν ελαφρώς χαμηλότερα αποτελέσματα. Τέλος, ορισμένες μελέτες βασίζονται σε μία ή λιγότερες εκμεταλλεύσεις, άλλες σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις μοντελοποίησης και άλλες σε εθνικούς μέσους όρους. Οι Cederberg *et al.*, (2009a, b) και οι Verge *et al.*, (2008) έχουν την τάση να παρουσιάζουν υψηλότερα αποτελέσματα, εν μέρει επειδή καλύπτονται περισσότερες ροές από ό, τι στους άλλους δύο τύπους, αλλά κυρίως λόγω των μεταβαλλόμενων συντελεστών στάθμισης του μεθανίου που θεσπίστηκαν το 2007.



**Εικόνα 4.** Εισροές, πηγές εκπομπών και συστατικά της εκτίμησης του κύκλου ζωής στην παραγωγή βοείου κρέατος (Beauchemin *et al.*, 2010).

**Πίνακας 2.** Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το βόειο κρέας που αναφέρθηκαν σε διαφορετικές μελέτες.

Study	CO <sub>2</sub> -equiv./kg bone-free meat				MJ/kg bone-free meat
	Total	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
Ogino et al. (2007) Japan	32	23	2	7	
Casey & Holden (2006a, b), Suckler, Ireland	28-32				
Williams et al., (2006), "Average UK beef"	16				28
Williams et al., (2006), "100% suck- ler", UK	25				41
Verge, et al., (2008), "Average Canadian beef"	30	15	11	4	
Cederberg et al. (2009a), "Average Brazilian beef"	40	31	9	0	5
Cederberg et al. (2009b), "Average Swedish beef 2005" <sup>a</sup>	28	17.5	7	3.5	
Cederberg & Dareljus (2000), "Swedish beef from combined systems dairy-beef"	17-19	9-10	5-6	3	44

#### 4.1.2 Γαλακτοκομικά

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων είναι παρόμοιες με εκείνες της παραγωγής βοείου κρέατος, η εντερική ζύμωση και η κοπριά κυριαρχούν με συνεισφορά 50-60% και τα οξείδια του αζώτου από την παραγωγή ζωοτροφής αλλά και τη διαχείριση της κοπριάς συνεισφέρουν με περίπου 30% (Sevenster & de Jong, 2009). Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ότι στην περίπτωση της παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων στις ανεπτυγμένες χώρες είναι πιο εντατική με χρήση μεγάλων ποσοτήτων συμπυκνωμένων τροφών όπως σιτηρά και σόγια. Κατά συνέπεια, η προμήθεια ζωοτροφών είναι ελαφρώς πιο σημαντική.

Επιπλέον, η απόδοση γάλακτος ανά αγελάδα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη συνεισφορά εκπομπών αερίων. Από τεχνικής άποψης, είναι σημαντικό να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συνολική πρόσληψη ζωοτροφών (και εκπομπές μεθανίου)

που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γάλακτος, σε αντίθεση με αυτή που απαιτείται από το ζώο για να συντηρηθεί. Συμπερασματικά, η απόδοση πρέπει να εξισορροπηθεί με τον κίνδυνο μικρότερης παραγωγικής ζωής για τη μέση αγελάδα.

Το γάλα είναι ένα από τα προϊόντα που αναλύονται εκτενέστερα από τις μελέτες LCA οι οποίες έλαβαν μέρος στην Ευρώπη και τη Νέα Ζηλανδία, ενώ πολύ λίγες εντοπίστηκαν σε αναπτυσσόμενες χώρες. Τα αποτελέσματα είναι μάλλον παρόμοια και κυμαίνονται μεταξύ 0,8-1,4 kg CO<sub>2</sub>-equiv./kg γάλακτος ανά αγρόκτημα. Επιπλέον, υπολογίζεται περίπου 0,1 kg CO<sub>2</sub>-equiv./kg για μεταποίηση, μεταφορές και λιανικό εμπόριο (Sevenster & de Jong, 2009).

### 4.1.3 Χοιρινό κρέας

Οι χοίροι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι μονογαστρικά ζώα και παράγουν πολύ μικρή ποσότητα μεθανίου κατά τη διαδικασία της πέψης. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα βοειδή δεν μπορούν να διασπάσουν την κυτταρίνη και την ημί -κυτταρίνη στις ζωοτροφές, τρέφονται κυρίως με σιτηρά. Οι εκπομπές του κύκλου ζωής κυριαρχούνται συνήθως από την καλλιέργεια των φυτών που θα χορηγηθούν ως ζωοτροφή και τις εισροές της, ενώ τα τελευταία βήματα της αλυσίδας είναι λιγότερο σημαντικά, εκτός από τις περιττές σπατάλες. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά την παραγωγή χοιρινού κρέατος είναι χαμηλότερες από ό,τι του βόειου και η συνεισφορά κυριαρχείται από το οξείδιο του αζώτου. Δεδομένου ότι δεν σχηματίζεται μεθάνιο κατά την πέψη, η ζωοτροφή είναι η πιο σημαντική παράμετρος και αντιπροσωπεύει το 60-70% των συνολικών εκπομπών ενός αγροκτήματος (Cederberg & Darelus, 2001, Strid Eriksson *et al.*, 2005, Cederberg *et al.*, 2009b, Basset Mens & van der Werf, 2003).

Με την έννοια ζωοτροφή περιλαμβάνονται οι εκπομπές που προκαλούνται από τα λιπάσματα, οι εκπομπές αζώτου από το έδαφος και η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της καλλιέργειας. Επιπλέον, παρατηρούνται εκπομπές που αφορούν κυρίως τη διαχείριση της κοπριάς, ενώ η χρήση ενέργειας στην κτηνοτροφία φαίνεται να συνεισφέρει ελάχιστα στο σύνολο των εκπομπών. Σε θερμότερα κλίματα, οι εκπομπές αερίων από την κοπριά είναι πιθανότατα πιο σημαντικές, καθώς σχηματίζεται περισσότερο μεθάνιο σε υψηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης. Τα

αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα λόγω διαφορών στη μεθοδολογία. Εκτός από τις διαφορές στην πέψη των ζωοτροφών, στο χοιρινό παρατηρούνται χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το βόειο κρέας λόγω της υψηλότερης μετατροπής των ζωοτροφών και επίσης του γεγονότος ότι ένα θηλυκό γουρούνι μπορεί να παράγει έως και 25 απογόνους ετησίως (Sonesson, Davis & Ziegler, 2009).

**Πίνακας 3.** Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το χοιρινό κρέας όπως αναφέρθηκαν σε διαφορετικές

Study	CO <sub>2</sub> -equiv./kg bone-free meat				MJ/kg bone-free meat
	Total	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
Williams et al., 2006	5.6-6.4				14-17
Basset Mens & van der Werf (2003)	5.3-8.0				37-42
Cederberg & Flysjö (2004),	4.1-3.6	1.1	1.6-2.1	0.9-1.2	15-18
Strid Eriksson et al. (2005)	3.2-3.5				13-16
Cederberg m.fl. (2009b)	5.2	1.3	2.6	1.3	

#### 4.1.4 Πουλερικά

Οι μελέτες LCA για τα πουλερικά εστιάζουν την προσοχή τους κυρίως στο κοτόπουλο ενώ δεν παρουσιάζονται μελέτες σχετικά με εκτροφές πάπιας, χήνας ή γαλοπούλας δεδομένου ότι το κοτόπουλο είναι το κυρίαρχο είδος πουλερικών τόσο παγκοσμίως όσο και εντός της ΕΕ. Τα κοτόπουλα όπως και οι χοίροι είναι μονογαστρικά ζώα και έχουν υψηλή απόδοση τροφής. Ταυτόχρονα το κοτόπουλο έχει μεγάλες απαιτήσεις στη σύνθεση της ζωοτροφής τόσο σε ποιότητα όσο και σε ποσότητα, όπως αυξημένες ανάγκες σε πρωτεΐνη, η οποία με τη σειρά της θέτει υψηλές απαιτήσεις στην παραγωγή ζωοτροφών.

Η υψηλή απόδοση των ζωοτροφών είναι η εξήγηση για τις σχετικά χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, η αναλογία τροφής που καταναλώνεται από το

κοτόπουλο ώστε να αναπτυχθεί σε αντίθεση με τη συντήρησή του είναι υψηλότερη. Επιπλέον, σε εύκρατα και κρύα κλίματα οι χώροι εκτροφής πρέπει να θερμαίνονται, και ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται, οι εκπομπές ποικίλλουν. Για παράδειγμα, στη Σουηδία βιοκαύσιμο όπως το άχυρο ή τα τσιπς ξύλου αποτελούν το πιο κοινό βιοκαύσιμο που χρησιμοποιείται, ενώ στα άλλα κράτη της ΕΕ κυριαρχούν τα ορυκτά καύσιμα (Sonesson, Davis & Ziegler, 2009). Σε σχετική μελέτη που παρουσιάστηκε από τον Thynelius (2008), η συνολική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου αυξάνεται κατά περίπου ένα τρίτο εάν αντικατασταθούν τα βιοκαύσιμα με ορυκτέλαιο. Ωστόσο, σε θερμότερα κλίματα, η ψύξη των χώρων εκτροφής μπορεί να συμβάλει σημαντικά, αλλά δεν έχουν βρεθεί μελέτες που να παρέχουν σχετικές πληροφορίες.

**Πίνακας 4.** Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για εκτροφή κοτόπουλου όπως αναφέρθηκαν σε διαφορετικές μελέτες.

Study	CO <sub>2</sub> -equiv./kg bone-free meat			
	Total	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
Thynelius, 2008	1.5			
Pelletier (2008)	2.6			
Cederberg et al. (2009b)	2.5	0.1	1.2	1.2
Williams et al. (2006), conventional	6.1			
Williams et al. (2006), free-range	7.3			

#### 4.1.5 Θαλασσινά

Μια ταχέως εμπλουτιζόμενη βιβλιογραφία σχετικά με την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των θαλασσινών προϊόντων με τη χρήση των Life Cycle Assessment (LCA) έχει οδηγήσει σε αυξημένη διαθεσιμότητα δεδομένων για τον προσδιορισμό προτύπων αλλά και σχεδίων βελτίωσης των συστημάτων και υποσυστημάτων εκτροφής θαλασσινών τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά (Avadí & Freón, 2013; Parker, 2012; Ziegler, Hornborg, Green *et al.*, 2016).

Τα αποτελέσματα από τις μελέτες LCA δείχνουν ότι η εκτροφή θαλασσινών επιφέρει τις χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μεταξύ των υπόλοιπων τροφίμων ζωικής προέλευσης (Hilborn *et al.*, 2018; Tilman & Clark, 2014). Ωστόσο, υπάρχει αξιοσημείωτη διαφοροποίηση εντός των διαφορετικών θαλασσινών ή ακόμη και μεταξύ μεθόδων παραγωγής για τον ίδιο τύπο θαλασσινών, για παράδειγμα, μεθόδους αλιείας μπακαλιάρου ή μεθόδους εκτροφής σολομού (Hallström *et al.*, 2019; Hilborn *et al.*, 2018). Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ότι τα αέρια θερμοκηπίου από την κατηγορία των θαλασσινών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις μεθόδους αλιείας, την κατάσταση των αποθεμάτων, τη χρήση και τη σύνθεση ζωοτροφών (Avadí & Fréon, 2013; Jafarzadeh *et al.*, 2016; Parker, 2012; Ziegler, Hornborg, Valentinsson, *et al.*, 2016). Με βάση τα οφέλη για την υγεία από την κατανάλωση θαλασσινών και το συχνά θετικό προφίλ βιωσιμότητάς του σε σύγκριση με άλλες μορφές ζωικής πρωτεΐνης (Hallström *et al.*, 2019), η εκτροφή θαλασσινών θα παίζει πιθανότατα ακόμη μεγαλύτερο ρόλο από ό, τι σήμερα στα μελλοντικά βιώσιμα συστήματα τροφίμων (Costello *et al.*, 2019; Costello *et al.*, 2020; Hoegh-Guldberg, 2019).

Το 2008, η νορβηγική βιομηχανία θαλασσινών ξεκίνησε μια μελέτη για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σημαντικών νορβηγικών θαλασσινών προϊόντων. Ο πρωταρχικός στόχος ήταν να εντοπιστούν ευκαιρίες μείωσης των εκπομπών σε κάθε αλυσίδα εφοδιασμού και να συγκριθούν προϊόντα θαλασσινών μεταξύ τους καθώς και με ανταγωνιστικά προϊόντα κτηνοτροφικά προϊόντα. Οι εκτιμήσεις (Winther *et al.*, 2009; Ziegler *et al.*, 2013) αντιπροσωπεύουν εθνικούς μέσους όρους για κάθε τύπο θαλασσινών και όχι συγκεκριμένα αποτυπώματα για τα προϊόντα αυτά και, ως εκ τούτου, δεν μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα για τις διαφοροποιήσεις μεταξύ παραγωγών από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελετών αυτών, συλλέχθηκαν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις της χρήσης ψυκτικού στην αλιεία ενώ έγινε προσπάθεια για να θεσπιστούν μέτρα που αποσκοπούν στη σταδιακή κατάργηση ψυκτικών μέσων που 'συνεισφέρουν' στην υπερθέρμανση του πλανήτη από τους νορβηγικούς αλιευτικούς στόλους (Hognes & Jensen, 2017).

Τέλος, η ζήτηση για θαλασσινά αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τις επόμενες δεκαετίες τόσο λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού όσο και της οικονομικής ανάπτυξης σε νέες περιοχές (SOFIA, 2008). Συνεπώς, η επίτευξη περισσότερο βιώσιμων συστημάτων παραγωγής θαλασσινών προϊόντων είναι επείγουσα.

#### 4.1.6 Υδατοκαλλιέργεια

Ο κλιματικός αντίκτυπος των θαλασσινών προϊόντων που εκτρέφονται σε υδατοκαλλιέργεια κυριαρχείται συχνά από τις εισροές των ιχθυοκαλλιεργειών και κυρίως από τις ζωοτροφές (Tyedmers *et al.*, 2007; Pelletier & Tyedmers, 2007). Μερικά ψάρια (όπως ο κυπρίνος, η τιλάπια και ο παγκάσιος) είναι παμφάγα ζώα και μπορούν να επιβιώσουν χωρίς ζωική προέλευσης ζωοτροφές, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί η διατροφή τους να διαμορφωθεί με γεωργικά προϊόντα ή υπολείμματα. Αντίθετα, άλλα είδη συμπεριλαμβανομένων εκείνων που έγιναν πολύ δημοφιλή πρόσφατα, όπως ο σολομός, η πέστροφα και ο μπακαλιάρος, είναι αρπακτικά ζώα που απαιτούν ζωοτροφές που περιέχουν συνδυασμό ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου (Troell *et al.*, 2004; Pelletier and Tyedmers, 2007; FHL, 2009).

Ωστόσο, η προσοχή εστιάζεται στον ρόλο της αλυσίδας εφοδιασμού μετά την προσγείωση. Τα θαλασσινά είναι ένα από τα πιο εμπορεύσιμα είδη διατροφής παγκοσμίως, επομένως οι μεταφορές μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο. Η αυξημένη ζήτηση για φρέσκο ψάρι συνεπάγεται την αεροπορική μεταφορά των προϊόντων αυτών αλλά και η ανάγκη για ψύξη ή κατάψυξη αυτών επιφέρουν σοβαρές συνέπειες στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Sonesson, Davis & Ziegler, 2009).

#### 4.2 Φυτική παραγωγή

Οι Smith *et al.* (2007) εκτίμησαν ότι η γεωργία μόνο σε επίπεδο παραγωγής τροφής συμβάλλει σε ποσοστό 10-12% στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως. Οι εισροές που εμπλέκονται στις γεωργικές δραστηριότητες έχουν σαν βασικό συστατικό τον άνθρακα αλλά και οι πρακτικές κατά τις οποίες καταναλώνονται ανθρακούχες ενώσεις, φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο (Pimentel, 1992; Marland *et al.*, 2003). Τόσο η παραγωγή όσο η αποθήκευση και η διανομή των εισροών αυτών, καθώς και η εφαρμογή τους στον αγρό, συμβάλουν στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Έτσι, η έκφραση των εκπομπών σε kg



ανθρακικών ισοδυνάμων είναι αναγκαία για τη διερεύνηση εναλλακτικών εισροών ενέργειας (Lal, 2004).

Οι καλλιεργητικές πρακτικές μπορεί να διαχωριστούν σε πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες πηγές αέριων θερμοκηπίου (Gifford, 1984). Οι πρώτες σχετίζονται με τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων και αντλιών άρδευσης ενώ οι με την κατασκευή, συσκευασία, αποθήκευση και μεταφορά λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων. Τέλος, οι τριτεύουσες προκύπτουν από την χρήση πρώτων υλών και την κατασκευή εξοπλισμού και κτιρίων στο αγρόκτημα (Lal, 2004). Ένας άλλος διαχωρισμός είναι αυτός ανάμεσα σε άμεσες (καύση ορυκτών καυσίμων για χρήση μηχανών) και έμμεσες (παραγωγή και μεταφορά λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων) (Gomiero *et al.*, 2008). Σύμφωνα με την IPCC (2007), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τον αγροτικό τομέα αντιστοιχούν στο 10-12% ή σε 5,1-6,1 Gtn των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών ισοδυνάμων διοξειδίου του άνθρακα ενώ η αγροτική παραγωγή είναι υπεύθυνη για την εκπομπή σχεδόν του 25% των αερίων θερμοκηπίου που προέρχονται από ανθρωπογενή αίτια (Scialabba και Lindenlauf, 2010).

Από τη μια πλευρά, το CO<sub>2</sub>, σε σύγκριση με το CH<sub>4</sub> και το N<sub>2</sub>O, ανακυκλώνεται σε πολύ μεγαλύτερα ποσά μέσω των γεωργικών συστημάτων καλλιέργειας. Τα φυτά καταναλώνουν μεγάλα ποσά CO<sub>2</sub> μέσω της φωτοσύνθεσης για να παράγουν τροφή για ανθρώπινη αλλά και ζωική κατανάλωση, ίνες και καύσιμο. Όλα αυτά τα παράγωγα των φυτών τελικά μετατρέπονται σε CO<sub>2</sub> όταν καταναλωθούν ή αποσυντεθούν. Η καθαρή εκπομπή CO<sub>2</sub> είναι μικρή σε σχέση με την συνολική του ανακύκλωση στη γεωργία και προέρχεται κυρίως από την χρήση ενέργειας κατά την διάρκεια της καλλιέργειας και της παρασκευής των τελικών προϊόντων καθώς και της μεταφοράς των γεωργικών προϊόντων.

Από την άλλη, το NO<sub>2</sub> καταλαμβάνει ένα μικρό μέρος στο σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά συγκεντρώνει μεγάλο ενδιαφέρον στο τομέα της γεωργίας διότι θεωρείται και η βασική πηγή των εκπομπών του. Το υποξείδιο του αζώτου παράγεται κυρίως από μικροβιακές δραστηριότητες του εδάφους (Bouwman, 1990): την νιτροποίηση και την απονιτροποίηση. Κατά την νιτροποίηση η αμμωνία (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) μετατρέπεται σε νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ενώ στην απονιτροποίηση μετατρέπονται σε N<sub>2</sub>O και N<sub>2</sub>. Οι δύο αυτές πηγές N<sub>2</sub>O απελευθερώνουν μικρά ποσά σε σύγκριση με τις ανθρωπογενείς εκπομπές που προέρχονται από την παροχή άζωτου στο έδαφος (Snyder *et al.*, 2009). Κατά συνέπεια, οι εκπομπές N<sub>2</sub>O στο τομέα της

γεωργίας προκύπτουν από την λίπανση των εδαφών με ανόργανο άζωτο και ζωικές κοπριάς, από άζωτο προερχόμενο από την βιολογική αζωτοδέσμευση (ψυχανθή και ελεύθεροι αζωτοδεσμευτικοί μικροοργανισμοί) και από αυξημένους ρυθμούς ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας του εδάφους (Duxbury and Mosier, 1993). Πιο συγκεκριμένα, το N<sub>2</sub>O που εκλύεται από καλλιεργητικές διεργασίες ‘συνεισφέρει’ με 38% στις συνολικές εκπομπές (Smith *et al.*, 2007). Ενώ σύμφωνα με τους Eggleston *et al.* (2006) το 1% της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζωτούχου λιπάσματος επιστρέφει ως εκπομπή στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα μάλιστα με τον FAO (2003) οι προερχόμενες από τη γεωργία εκπομπές N<sub>2</sub>O αναμένεται να παρουσιάσουν 35-60% αύξηση μέχρι το 2030 εξαιτίας της αυξημένης χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων και της αυξημένης παραγωγής κοπριάς ζώων.

Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί, ότι μεγάλο μέρος των εκπομπών αυτών, μπορεί να μειωθεί με τη χρήση ορθολογικών πρακτικών διαχείρισης (Lal, 2004). Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τη γεωργική δραστηριότητα πρόκειται να αυξηθούν στο μέλλον εξαιτίας της κλιμακούμενης ζήτησης για τροφή, της αλλαγής των διατροφικών συνηθειών μεγάλου τμήματος του παγκόσμιου πληθυσμού και των αυξημένων απαιτήσεων σε ένδυση. Ωστόσο οι νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με βελτιωμένες πρακτικές διαχείρισης των καλλιεργειών μπορούν να επιτρέψουν τη μείωση των παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα παραγόμενης τροφής (Smith *et al.*, 2007). Οι μελλοντικές προβλέψεις για τις εκτιμώμενες εκπομπές αυτών των αερίων από τη γεωργική δραστηριότητα επηρεάζονται από τις παρακάτω τάσεις:

- Οι αποδόσεις ανά μονάδα καλλιεργούμενης γης αναμένεται να αυξηθούν, με μειωμένο ωστόσο ρυθμό συγκριτικά με τις προηγούμενες δεκαετίες, λόγω της μικρότερης ανάπτυξης της τεχνολογίας και της μεγαλύτερης χρήσης γεωργικών γαιών με χαμηλή παραγωγική δυνατότητα. Η χρήση τέτοιων γαιών αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης και υποβάθμισης των εδαφών με αβέβαιο αντίκτυπο στις εκπομπές CO<sub>2</sub> (Lal, 2004. Van Oost *et al.*, 2004).
- Αναφορικά με την άροση των γεωργικών εδαφών, έχει διαπιστωθεί ότι ολοένα και περισσότερο υιοθετούνται σε παγκόσμιο επίπεδο πρακτικές συντηρητικής ή μηδενικής άροσης. Ωστόσο τέτοιες πρακτικές συχνά συνδυάζονται με περιοδικά οργώματα που αυξάνουν την αβεβαιότητα του υπολογισμού του ισοζυγίου των αερίων του θερμοκηπίου (Smith *et al.*, 2007).

- Επιπλέον προσπάθειες βελτίωσης της παραγωγικότητας των καλλιεργειών απαιτούν περισσότερη άρδευση και λίπανση αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Mosier, 2001).

#### 4.2.1 Ορυζώνες

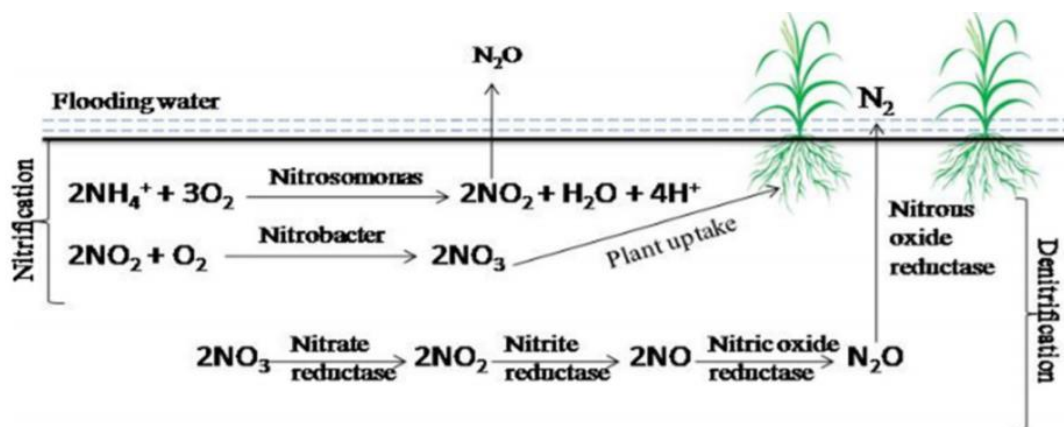
Το ρύζι (*Oryza sativa*) αποτελεί το κύριο συστατικό της διατροφής στην Ασία, ενώ οι ορυζώνες θεωρούνται η δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση καλλιέργεια δημητριακών που παράγεται στον κόσμο (FAOSTAT, 2014). Η καλλιέργεια αυτή εντοπίζεται σε 114 χώρες καλύπτοντας περίπου 153 Mha, το οποίο αντιστοιχεί στο 11% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης στον κόσμο (FAOSTAT, 2011). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το 30% και το 11% των παγκόσμιων γεωργικών εκπομπών σε CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O, αντίστοιχα, εκπέμπονται από ορυζώνες (Hussain *et al.*, 2015).

Επιπλέον, προβλέπεται ότι έως το 2030, οι εκπομπές και των δύο αερίων θερμοκηπίου μπορεί να αυξηθούν κατά 35-60% (Smith *et al.*, 2007). Ωστόσο, η παραγωγή ρυζιού πρέπει να αυξηθεί κατά 40% μέχρι 2030 για να καλύψει την εκτεταμένη ζήτηση από τον ταχέως αυξανόμενο πληθυσμό (FAO, 2009), γεγονός που μπορεί να εγείρει σοβαρές περιβαλλοντικές ανησυχίες. Η εφαρμογή αλόγιστης ποσότητας αζωτούχων λιπασμάτων με στόχο την αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών μπορεί να συντελέσει στην αύξηση των εκπομπών τόσο του CH<sub>4</sub> και όσο και του N<sub>2</sub>O (Gagnon *et al.*, 2011).

Οι Braker και Conrad (2011) αναφέρουν ότι, η παραγωγή και των δύο αερίων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα νερού πλησίον της ζώνης των ριζών της καλλιέργειας όπου δραστηριοποιούνται τα εδαφογενή βακτήρια. Όταν στα εδάφη επικρατούν αναερόβιες συνθήκες ευνοείται η παραγωγή μεθανίου. Ενώ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το N<sub>2</sub>O παράγεται μέσω του μικροβιακού μηχανισμού νιτροποίησης και απονιτροποίησης υπό αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες αντίστοιχα (Islam *et al.*, 2020). Κατά την κατάκλιση των ορυζώνων καταγράφεται μέγιστη εκπομπή μεθανίου ενώ μεγάλες ποσότητες N<sub>2</sub>O εκπέμπονται στις περιόδους αποστράγγισης μεταξύ των διαδοχικών καλλιεργειών (Zhao *et al.*, 2011).

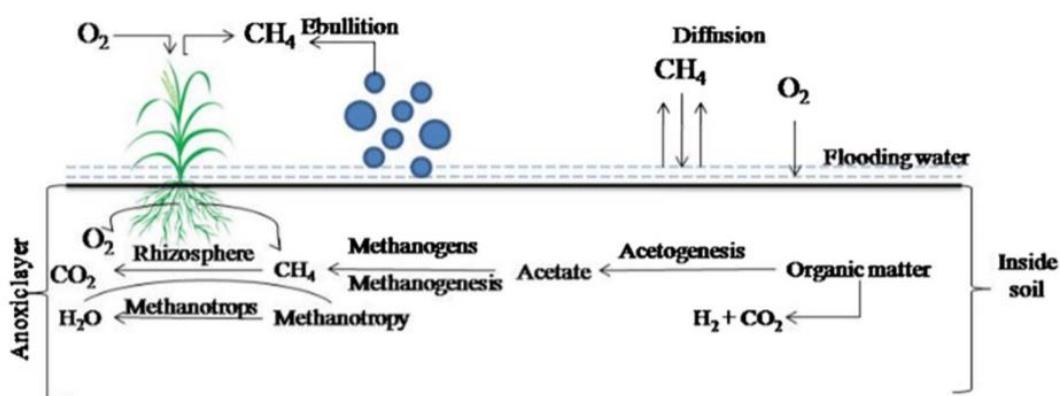
Το N<sub>2</sub>O παράγεται από τον μικροβιακό μετασχηματισμό αζώτου (N) στο έδαφος. Αυτός ο μετασχηματισμός έχει σχετιστεί με δύο βιολογικές διεργασίες, δηλαδή, με την απώλεια αζώτου ως N<sub>2</sub>O κατά τη διάρκεια τη νιτροποίησης του NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

υπό αερόβιες συνθήκες, και την αναγωγή του  $\text{NO}_3^-$  σε  $\text{N}_2$  κατά τη διαδικασία απονιτροποίησης. Κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης επικρατούν αναερόβιες συνθήκες οι οποίες οδηγούν στην παραγωγή  $\text{N}_2\text{O}$  ως ενδιάμεσο προϊόν. Τα επίπεδα λίπανσης αζώτου αλλά και η διαχείριση του νερού φαίνεται να είναι οι κύριοι παράγοντες που ρυθμίζουν τις εκπομπές  $\text{N}_2\text{O}$  σε καλλιέργειες ρυζιού (Ali *et al.*, 2019). Μετά την κατάκλιση, αναπτύσσεται ένα στρώμα εδάφους στο οποίο κατά την καλλιεργητική περίοδο αναπτύσσονται οξειδωτικά και αναγωγικά επιμέρους στρώματα. Όταν το λίπασμα εφαρμόζεται στην καλλιέργεια, στο οξειδωμένο στρώμα, στη διεπαφή νερού-εδάφους, το αμμωνιακό άζωτο νιτροποιείται και παράγεται  $\text{NO}_3^-$ . Τα  $\text{NO}_3^-$  που παράγονται στο οξειδωμένο στρώμα κινούνται προς το αναγωγικό στρώμα και απονιτροποιούνται με την παραγωγή  $\text{N}_2\text{O}$  ως ενδιάμεσου προϊόντος (Xing *et al.*, 2009). Μαζί με το ανώτερο υπό κατάκλιση στρώμα, η διαδικασία απονιτροποίησης συμβαίνει επίσης και στο υπόγειο κορεσμένο στρώμα εδάφους (Xing *et al.*, 2002). Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, το  $\text{N}_2\text{O}$  παράγεται λόγω της εναλλαγής περιόδων διαβροχής/ξήρανσης στο υπόγειο κορεσμένο στρώμα εδάφους καθώς και κατά την εναλλαγή καλλιεργειών σε ορεινές περιοχές ορυζώνων τον χειμώνα και απελευθερώνεται με την εξάτμιση νερού συμβάλλοντας στο ατμοσφαιρικό  $\text{N}_2\text{O}$ . Υπό συνθήκες κατάκλισης, σημαντική εκπομπή  $\text{N}_2\text{O}$  συμβαίνει κυρίως μέσω των φυτών, τα οποία λειτουργούν ως αγωγός των διαλυμένων ουσιών από τη ζώνη της ρίζας προς την ατμόσφαιρα (Yan *et al.*, 2000). Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ότι το  $\text{N}_2\text{O}$  είναι υδατοδιαλυτό μόριο και ως εκ τούτου μπορεί να απορροφηθεί από ρίζες φυτών και να μεταφερθεί στα φύλλα διαμέσου του ρεύματος της διαπνοής (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Παραγωγή και εκπομπές οξειδίου του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) από καλλιέργεια ρυζιού (Gurta *et al.*, 2021).

Όσον αφορά τις εκπομπές  $\text{CH}_4$  στους ορυζώνες, παράγεται με τη διαδικασία της μεθανογένεσης, όπου η οργανική ύλη υφίσταται αποσύνθεση με απουσία οξυγόνου. Όταν το έδαφος βρίσκεται σε αερόβιο περιβάλλον, η αποσύνθεση συμβαίνει παρουσία οξυγόνου με απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα. Λόγω του κορεσμού του νερού, η βύθιση του εδάφους στον ορυζώνα προκαλεί αναερόβια κατάσταση και εμποδίζει τη μεταφορά του  $\text{O}_2$  στο έδαφος. Υπό αναερόβιες συνθήκες, για τη διαδικασία της αναπνοής, οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν εναλλακτικούς δέκτες ηλεκτρονίων που προκαλούν περαιτέρω υποβάθμιση του εδάφους. Όταν το οξειδοαναγωγικό δυναμικό πέφτει απότομα, αμέσως μετά ξεκινά η διαδικασία μεθανογένεσης. Μετά την παραγωγή του  $\text{CH}_4$ , απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω των οδών (i) απώλειας διάχυσης του διαλυμένου  $\text{CH}_4$  μέσω των διεπαφών νερού-αέρα και εδάφους-νερού, (ii) απώλειας ανατίναξης με την απελευθέρωση φυσαλίδων αερίου και (iii) μεταφορά των φυτών στις ρίζες με διάχυση και μετατροπή σε αέριο  $\text{CH}_4$  στο αερέγχυμα και στο φλοιό των φυτών και ταυτόχρονη απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα μέσω φυτικών μικροπόρων (Davamani *et al.* 2020). Κατά την καλλιεργητική περίοδο του ρυζιού, η μέγιστη συγκέντρωση  $\text{CH}_4$  που παράγεται στο έδαφος απελευθερώνεται με διάχυτη μεταφορά μέσω του συστήματος αερεγχύματος αντί για διάχυση ή διάλυση (Xie and Li 2002). Σε χαμηλού υψομέτρου ορυζώνα, το στάσιμο νερό δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες στο έδαφος, γεγονός που διευκολύνει τη μεθανογένεση και την απονιτροποίηση με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη παραγωγή  $\text{CH}_4$  και  $\text{N}_2\text{O}$  (Εικόνα 6).



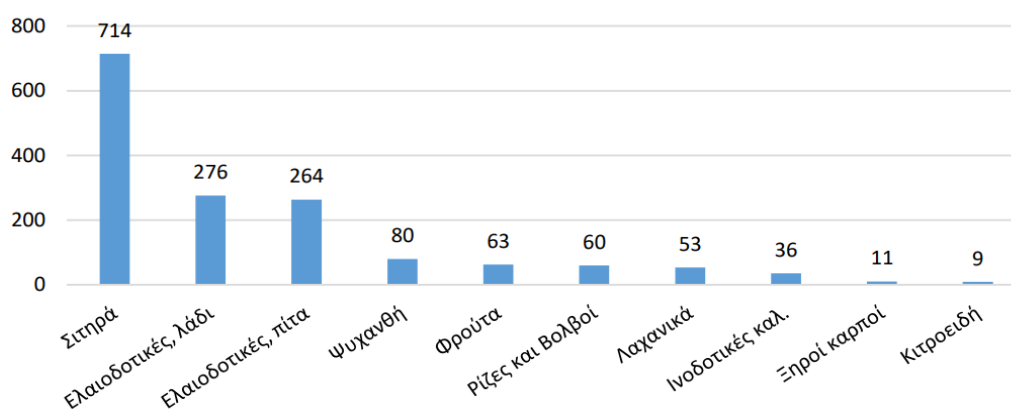
Εικόνα 6. Παραγωγή και εκπομπές μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) από καλλιέργεια ρυζιού (Gupta *et al.*, 2021).

Η παραγωγή και η εκπομπή CO<sub>2</sub> εξαρτώνται από τις διαδικασίες που λαμβάνουν μέρος στο έδαφος, τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και την ποσότητα και τις ιδιότητες οργανικής ύλης που προστίθεται σε αυτό. Ανάλογα με τις δραστηριότητες των μικροοργανισμών, η οργανική ύλη αρχίζει να αποσυντίθενται με αποτέλεσμα την εκπομπή διαφόρων αερίων, ιδιαίτερα CO<sub>2</sub> (Hossain *et al.*, 2017). Ως εκ τούτου, η ορυκτοποίηση του άνθρακα των οργανικών ουσιών επιστρέφει στα εδάφη και φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στις εκπομπές CO<sub>2</sub> από το έδαφος (Rahman, 2013). Στην επιφάνεια του εδάφους, CO<sub>2</sub> απελευθερώνεται μέσω της αναπνοής των ριζών και της διαφορετικής χλωρίδας και πανίδας (Hossain *et al.*, 2017). Η εφαρμογή λιπάσματος ουρίας, η καύση των υπολειμμάτων αλλά και η άροση είναι πρακτικές που εφαρμόζονται στους ορυζώνες και συμβάλλουν στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Οι ορυζώνες παράγουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με αυτές του CH<sub>4</sub> και του N<sub>2</sub>O καθώς τα υπό κατάκλιση εδάφη δεν προϋποθέτουν ιδανικές συνθήκες για την οξείδωση του άνθρακα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επηρεάζονται κυρίως από τα υπολείμματα των καλλιεργειών, τις δραστηριότητες των ριζών και τις μικροβιακές διαδικασίες, επειδή η δεξαμενή άνθρακα του εδάφους μετατρέπεται σε CO<sub>2</sub> από τη δράση των μικροοργανισμών που δραστηριοποιούνται εκεί. Κατά τη διαθεσιμότητα νερού και ενζύμων ουρεάσης, τα λιπάσματα ουρίας που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες μετατρέπονται σε NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, όπου το εξελίσσεται σε CO<sub>2</sub> και νερό (Hussain *et al.*, 2015).

#### 4.2.2 Ψυχανθή

Τα κυριότερα καλλιεργούμενα είδη τόσο στην ελληνική όσο και στην παγκόσμια επικράτεια είναι ο βίκος (*Vicia sativa*) το μπιζέλι (*Pisum sativum*), το λαθούρι (*Lathyrus cicera*) το ρόβι (*Vicia ervillia*), το λούπινο (*Lupinus spp.*), το κουκί (*Vicia faba*), το ρεβίθι (*Cicer arietinum*), η φακή (*Lens culinaris*) τα φασόλια (*Phaseolus vulgaris*), η αραχίδα (*Arachis hypogea*), η μηδική (*Medicago sativa*) το τριφύλλι (*Trifolium repens*) και η σόγια (*Glycine max*). Τα είδη που αναφέρθηκαν παραπάνω καλλιεργούνται τόσο για την παραγωγή καρπών που θα χρησιμοποιηθούν στη διατροφή των ανθρώπων ή των παραγωγικών ζώων, όσο για την παραγωγή ζωοτροφών ως σανό ή ως ενσύρωμα ενώ τέλος μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για χλωρή λίπανση ή ενσωμάτωση στον αγρό.

Τα ψυχανθή κατατάσσονται στη 4 η θέση μετά τα σιτηρά και τις ελαιοδοτικές καλλιέργειες (Γράφημα 2), σε ό,τι αφορά την έκταση που απαιτείται για την καλλιέργεια τους με βάση τα δευτερογενή στοιχεία που είναι αναρτημένα στη βάση δεδομένων του FAO. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η καλλιέργεια της σόγιας και οι διαφορές που εμφανίζει συγκριτικά με τα υπόλοιπα ψυχανθή, τόσο μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία όσο και από τις διεθνείς βάσεις δεδομένων όπως αυτή του FAOSTAT, της EUROSTAT αλλά και του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων ενώ ανήκει στην εξίσου στην οικογένεια των Fabaceae. Η διαφοροποίηση αυτή της σόγιας σχετίζεται με την αυξημένη περιεκτικότητά της σε πρωτεΐνες και σε ινώδεις ουσίες, γεγονός που συμβάλει στην διευκόλυνση της διαδικασίας της πέψης από τα παραγωγικά ζώα (Πίνακας 6).



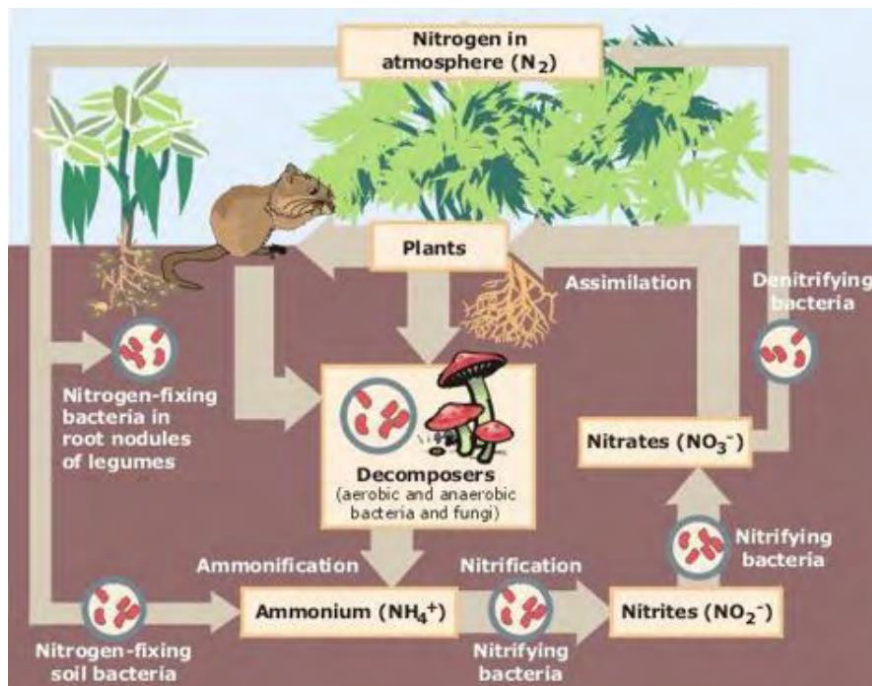
**Γράφημα 2.** Παγκόσμια καλλιεργούμενη έκταση ανά ομάδες καλλιέργειών (σε εκατομμύρια εκτάρια) για τα έτη 2007-2017

**Πίνακας 6.** Κύρια θρεπτικά συστατικά βασικότερων ψυχανθών και σόγιας (Global Bioenergy, 2005)

<b>Θρεπτικά συστατικά (% του Ξηρού Βάρους)</b>	<b>Πρωτεΐνη</b>	<b>Άμυλο</b>	<b>Λίπος</b>	<b>Ινώδεις ουσίες</b>
Μπιζέλι	24,0	51,0	1,1	6,0
Κουκί	29,0	43,0	1,7	9,3
Βίκος	28,0	43,0	1,6	4,5
Ρόβι	26,0	-	1,1	4,1
Ρεβίθι	21-24	41,0	6,1	10,0
Λούπινο	34-42	3-14	5,9-9,5	13-18
Σόγια	39-44	4-6	20,0	5,9

Η ομάδα των ψυχανθών διακρίνεται από την ιδιότητα της ύπαρξης συγκεκριμένων βακτηρίων που διαβιούν στις ρίζες τους, τα οποία ανήκουν στα παρακάτω γένη: *Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizodium*, *Nostoxm*, *Ababaena* με κυριότερα βακτήρια αυτά του γένους *Rhizodium*. Τα βακτήρια αυτά σχηματίζουν χαρακτηριστικούς θύλακες στις ρίζες των ψυχανθών τα οποία ονομάζονται φυμάτια μέσα στα οποία διαβιούν οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί. Κατά το πρώτο στάδιο της διαδικασίας το ατμοσφαιρικό άζωτο δεσμεύεται στις ρίζες των ψυχανθών (βιολογική αζωτοδέσμευση). Έπειτα συμβαίνει η αμμωνιοποίηση/ανοργανοποίηση και αμέσως μετά η νιτροποίηση του αζώτου, οι οποίες αποτελούν το δεύτερο και το τρίτο στάδιο της διαδικασίας αντίστοιχα. Μέσω της κατανάλωσης φυτικών μικροοργανισμών το άζωτο περνά στην επόμενο κρίκο της τροφικής αλυσίδας, στους ζωικούς οργανισμούς, και τέλος όταν οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί βρεθούν σε διαδικασία αποσύνθεσης, τότε άλλα είδη βακτηρίων αναλαμβάνουν την μετατροπή του αζώτου που βρίσκεται σε διάφορες χημικές ενώσεις σε ατμοσφαιρικό άζωτο, τη συνένωση δηλαδή δυο ατόμων αζώτου ώστε να παραχθεί και πάλι το ατμοσφαιρικό άζωτο (απονιτροποίηση- 4<sup>ο</sup> στάδιο). Το σύνολο των παραπάνω σταδίων περιγράφουν την κυκλική πορεία του αζώτου από την ατμόσφαιρα στους έμβιους οργανισμούς και επιστροφή στην αρχή όπως αυτό απεικονίζεται διαγραμματικά στην Εικόνα .





**Εικόνα 7.** Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου του αζώτου (U.S. Environmental Protection Agency, 2019)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα συμβιωτικά βακτήρια που είναι εγκατεστημένα στις ρίζες των ψυχανθών, έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο, αποδίδοντας το στο έδαφος και καθιστώντας το άμεσα διαθέσιμο για τα φυτά της επόμενης καλλιέργειας. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο δεσμεύονται από βακτήρια που συμβιώνουν με ψυχανθή 30-40 εκατομμύρια τόνοι ατμοσφαιρικού N<sub>2</sub> (Jenkinson 2001; Smil 2002a, b; Galloway *et al.*, 2003).

Σημαντική φαίνεται να είναι η συνεισφορά των ψυχανθών σε συστήματα αμειψισποράς προς την παραγωγή προϊόντων από αροτραίες καλλιέργειες με στόχο τη μείωση των εισροών λιπασμάτων αζώτου, και συνεπώς την ελαχιστοποίηση των εκπομπών N<sub>2</sub>O. Επιπλέον, η καλλιέργεια των ψυχανθών με σκοπό την χρήση τους ως χλωρή λίπανση, εκτός από οικονομικά συμφέρουσα προσδίδει και σταθερότητα στις αποδόσεις των καλλιεργειών που ακολουθούν, μειώνοντας δραματικά τη χρήση χημικών σκευασμάτων και συνεπώς την εκπομπή N<sub>2</sub>O (Angus *et al.*, 2015).

Επιπρόσθετα, υπάρχουν μερικές μελέτες που αξιολογούν τον αντίκτυπο των ψυχανθών (Lagerberg-Fogelberg & Carlsson-Kanyama, 2006) που σύγκριναν καλλιέργειες φασολιού και μπιζελιού με διαφορετική προέλευση καθώς και

διαφορετικά είδη επεξεργασίας (ξήρανση, κονσερβοποίηση). Η μελέτη έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, τόσο η κατανάλωση καυσίμου για τις διάφορες εργασίες όσο και η επεξεργασία για την κονσερβοποίηση συνεισφέρουν αρκετά στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Μια άλλη μελέτη, από τους Davis *et al* (2009), που συνέκρινε τα γεύματα με διαφορετικές πηγές πρωτεΐνης (παρόμοια περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, λίπος και ενέργεια), έδειξε ότι ένα μπιφτέκι από αρακά συνεισφέρει με σημαντικά λιγότερα GHG σε σύγκριση με ένα χοιρινό μπιφτέκι. Ωστόσο, αυτή η μελέτη ανέδειξε την ανάγκη για αποτελεσματική επεξεργασία προϊόντων με φυτική πρωτεΐνη, όπως μπιφτέκια λαχανικών, καθώς αυτά τα προϊόντα πωλούνται συχνά κατεψυγμένα λόγω μικρών αποθεμάτων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό ενεργειακό κόστος για κατάψυξη και κατάψυξη.

### **4.3 Μεταφορά και διάθεση τροφίμων στον καταναλωτή**

Η διαχείριση των φυσικών πόρων και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή ή την επεξεργασία των τροφίμων. Ιδιαίτερως σημαντική είναι η επιβάρυνση που υπάρχει κατά τη μεταφορά των προϊόντων από τον τόπο παραγωγής τους ως το σημείο διάθεσής τους στον καταναλωτή. Η χρήση καυσίμων αλλά και η ανάγκη για συντήρηση-κατάψυξη των τροφίμων συμβάλλουν ιδιαίτερα στις εκπομπές ρύπων αλλά και στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, οι εμπορευματικές μεταφορές καταναλώνουν σχεδόν το 25% του συνόλου των πετρελαίου παγκοσμίως και παράγουν πάνω από το 10% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα ορυκτά καύσιμα, με την αεροπορική μεταφορά των τροφίμων να θεωρείται η περισσότερο επιβαρυντική για το περιβάλλον (Weber and Matthews, 2008).

Κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1980 βρετανικές περιβαλλοντικές οργανώσεις έθεσαν το ζήτημα των εισαγόμενων τροφίμων και τη συμβολή τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη, χρησιμοποιώντας τον όρο «Food Miles», που αναφέρεται στην απόσταση που διανύει ένα τρόφιμο από το αγρόκτημα ως το πιάτο του καταναλωτή. Οι υποστηρικτές της κίνησης αυτής ενθαρρύνουν την κατανάλωση των ντόπιων προϊόντων, υποστηρίζοντας έτσι τους τοπικούς παραγωγούς και την εγχώρια

οικονομία, συμβάλλοντας ταυτόχρονα σε σημαντική μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Τα Food Miles πλέον έχουν εξελιχθεί σε ένα παγκόσμιο ζήτημα, με αποτέλεσμα χώρες όπως η Αυστραλία - η οικονομία της οποίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εξαγωγές προϊόντων - να συζητά τις επιπτώσεις των εισαγωγών τροφίμων. Σήμερα, υπάρχουν πολλοί υποστηρικτές της κίνησης αυτής σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως και σημεία λιανικής πώλησης, κυρίως στη Μεγάλη Βρετανία, όπου αναγράφονται οι χιλιομετρικές αποστάσεις που έχει διανύσει ένα τρόφιμο μέχρι να καταλήξει στο ράφι του καταστήματος (Paxton, 1994; Smith, 2005).

Από την πλευρά της, η διανομή των προϊόντων στους καταναλωτές εμπεριέχει το επιπλέον περιβαλλοντικό κόστος από τη συσκευασία των τροφίμων. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα υλικά συσκευασίας για τα τρόφιμα, κυρίως για λόγους εμπορικής προώθησης των προϊόντων αυτών. Τα υλικά συσκευασίας (πλαστικά, γυάλινα, μεταλλικά και χάρτινα) συνεισφέρουν και αυτά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, τόσο λόγω της χρησιμοποίησης πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων και της εκπομπής ρύπων για τη δημιουργία τους, όσο και επειδή τελικά καταλήγουν στα απορρίμματα, με ορισμένα από αυτά να ανακυκλώνονται δύσκολα (Marsh and Bugusu, 2007). Η Ε.Ε. επιδιώκει την εναρμόνιση των εθνικών μέτρων που αφορούν τη διαχείριση συσκευασιών και απορριμμάτων συσκευασίας με στόχο να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και να διασφαλιστεί η λειτουργία της εσωτερικής αγοράς. Σύμφωνα με τη σχετική οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου προτείνεται ο περιορισμός του όγκου και του βάρους των συσκευασιών στο ελάχιστο όριο που επαρκεί ώστε να διατηρείται το αναγκαίο επίπεδο ασφαλείας, υγιεινής και αποδοχής για το συσκευασμένο προϊόν και για τον καταναλωτή, η ελαχιστοποίηση της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών και υλικών ως συστατικών του υλικού συσκευασίας ή οποιουδήποτε στοιχείου της συσκευασίας, καθώς και ο σχεδιασμός μιας επαναχρησιμοποιήσιμης ή ανακτήσιμης συσκευασίας. Ωστόσο, παρά τις όποιες προσπάθειες για ανακύκλωση και καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων που σχετίζονται με τα τρόφιμα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο μια αύξηση της ποσότητας των αποβλήτων, που αποδίδεται στην αλλαγή του τρόπου ζωής, στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπων και των συνεπαγόμενων υπερκαταναλωτικών συνηθειών, με την αστικοποίηση και την αύξηση του πληθυσμού να επιτείνουν το φαινόμενο αυτό (European Parliament and Council Directive 94/62/EC, 1994).

#### 4.4 Απώλεια και σπατάλη τροφίμων

Οι λόγοι απώλειας τροφίμων μπορεί να διαφέρουν, ωστόσο είναι γεγονός ότι πολλά από αυτά είναι περισσότερο φθαρτά από τη ‘φύση’ τους. Η έλλειψη συντονισμού κατά τη διάρκεια αλυσίδας εφοδιασμού, η ανεπαρκής συσκευασία, οι μη επιθυμητές συνθήκες αποθήκευσης και τέλος η έλλειψη προγραμματισμού γευμάτων και αγορών από τον καταναλωτή συμβάλλουν σημαντικά στις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τον τομέα της γεωργίας, οι περισσότερες απώλειες οφείλονται στη συγκομιδή και στην αποθήκευση των προϊόντων ενώ στη βιομηχανία στον μη καλό προγραμματισμό της παραγωγής, ο οποίος με τη σειρά του ακολουθείται από την έλλειψη συντονισμού κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, ορισμένα τρόφιμα διαθέτουν εξ αρχής ένα βαρύ «climate backpack» κατά την είσοδο τους στη βιομηχανία (κυρίως προϊόντα ζωικής προέλευσης) όπου οι περιορισμένες απώλειες είναι συχνά το πιο αποτελεσματικό δυναμικό βελτίωσης σε αυτές τις βιομηχανίες τροφίμων (Berlin *et al.* 2007, Berlin & Sonesson, 2008, Berlin *et al.*, 2008). Για παράδειγμα, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που προκαλούνται από την παραγωγή πρώτων υλών του γάλακτος που ‘χάνεται’ στο γαλακτοκομείο αποτελεί το 33% των συνολικών εκπομπών του γαλακτοκομείου (Berlin & Sonesson, 2007). Όσον αφορά όμως τα προϊόντα φυτικής παραγωγής φαίνεται να παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες και η διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται συμβάλει σημαντικά στο σύνολο των εκπομπών ιδιαίτερα εάν τα τοποθετούνται σε χωματερές όπου σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες μεθανίου.

Πέρα από τις μεμονωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής, της επεξεργασίας, της μεταφοράς και της διάθεσης των τροφίμων στον καταναλωτή, αξίζει να αναφερθεί ότι η απώλεια και η σπατάλη των τροφίμων, που πρακτικά επιτελείται σε όλα τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής τους, αποτελεί ένα φαινόμενο που συνδέεται εξίσου όχι μόνο με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και με ηθικά και κοινωνικά ζητήματα (Parfitt, Barthel and Macnaughton, 2010). Δεδομένα σχετικά με την απώλεια τροφίμων παρέχονται από δύο μεγάλες μελέτες, μία σε χώρες υψηλού-μετρίου εισοδήματος και μία σε αυτές με χαμηλό εισόδημα. Και οι δύο διεξήχθησαν από το Σουηδικό Ινστιτούτο Τροφίμων και Βιοτεχνολογίας (Swedish Institute for Food and Biotechnology - SIK), κατόπιν αιτήματος του FAO, και τα αποτελέσματά τους παρουσιάστηκαν στο Διεθνές Συνέδριο με τίτλο “Save Food!” που πραγματοποιήθηκε το 2011 στο Ντίσελντορφ της Γερμανίας. Σύμφωνα με αυτές, το ποσοστό της τροφής

που χάνεται ή πετιέται ετησίως αγγίζει το 30% της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων, ποσοστό που ανέρχεται σε περίπου 1,3 δισεκατομμύρια τόνους τροφής. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα σε όλο το εύρος της αλυσίδας τροφίμων, «από το αγρόκτημα στο πιρούνι», με τις απώλειες να υπολογίζονται υψηλότερες στις ανεπτυγμένες χώρες σε σχέση με τις αναπτυσσόμενες. Εκτιμάται ότι η κατά κεφαλήν σπατάλη τροφίμων από τους καταναλωτές στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική αγγίζει τα 95-115 κιλά ανά έτος (και συμβαίνει κυρίως σε επίπεδο λιανικού εμπορίου και καταναλωτών), ενώ η αντίστοιχη στην υποσαχάρια Αφρική και τη Νοτιοανατολική Ασία ανέρχεται μόλις στα 6-11 κιλά ανά έτος (και συμβαίνει κυρίως σε επίπεδο παραγωγής, επεξεργασίας και αποθήκευσης των τροφίμων) (United Nations Food and Agricultural Organization, 2011).

Να σημειωθεί ότι για την παραγωγή των τροφίμων που τελικά καταλήγουν στα σκουπίδια έχουν ήδη σπαταληθεί μεγάλες ποσότητες φυσικών πόρων, νερού, φυτοφαρμάκων και χημικών λιπασμάτων, που επιβαρύνουν το περιβάλλον και επιδρούν στη βιοποικιλότητα της κάθε περιοχής, και έχουν παραχθεί αέρια θερμοκηπίου, που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Συνεπώς η απώλεια και η σπατάλη τροφίμων επιτείνει την εξάντληση των φυσικών πόρων και την υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, τη στιγμή μάλιστα που εκατομμύρια άνθρωποι σε ολόκληρο τον πλανήτη εξακολουθούν να ζουν σε καθεστώς πείνας ή υποσιτισμού. Ως προς το τελευταίο, αξίζει να αναφερθεί πως έως το 2050 η έκταση της καλλιεργήσιμης γης αναμένεται να παραμείνει σταθερή σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα, ενώ ο πληθυσμός του πλανήτη θα προσεγγίσει τα 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Μάλιστα, σύμφωνα με εκτιμήσεις του FAO, υπό τις σημερινές τάσεις παραγωγής και κατανάλωσης, η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί κατά 70-100% έως το 2050, προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του διαρκώς αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού (United Nations World Economic and Social Survey, 2011).

Είναι χαρακτηριστικό το ψήφισμα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (της 19ης Ιανουαρίου του 2012), στο οποίο εκφραζόταν η ανησυχία «για το γεγονός ότι, καθημερινά, σημαντικές ποσότητες τροφίμων, μολονότι βρίσκονται σε άριστη κατάσταση προς κατανάλωση, απορρίπτονται ως απόβλητα», τονίζοντας ότι «η σπατάλη τροφίμων εγείρει περιβαλλοντικά και ηθικά προβλήματα και δημιουργεί οικονομικό και κοινωνικό κόστος» (EU 2011/2175(INI)). Διεθνείς οργανισμοί προτείνουν τρόπους διαχείρισης του εν λόγω φαινομένου, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη σωστή ενημέρωση των καταναλωτών, τη χρήση κατάλληλων μεθόδων συγκομιδής και

επεξεργασίας των τροφίμων, την προσφορά των επιπλέον τροφίμων σε άπορους ανθρώπους, καθώς και την εκτεταμένη χρήση της ανακύκλωσης. Ωστόσο, σημειώνουν πως λόγω της μεγάλης σπατάλης φυσικών πόρων, προτεραιότητα θα πρέπει να αποτελεί η πρόληψη του φαινομένου, μέσω της καταλληλότερης οργάνωσης του γεωργικού και κτηνοτροφικού τομέα σε επίπεδο παραγωγής, της εφαρμογής ασφαλών τεχνικών επεξεργασίας των τροφίμων από τη βιομηχανία, της βελτίωσης των συνθηκών μεταφοράς και αποθήκευσης των τροφίμων πριν τη διάθεσή τους στον καταναλωτή, καθώς και της κατάλληλης ενημέρωσης του κοινού με στόχο τη μείωση της υπερκατανάλωσης (United Nations World Economic and Social Survey, 2011).

## Κεφάλαιο 5. Ανθρακικό αποτύπωμα

Όπως αναφέρθηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, τη μεγαλύτερη συμβολή στο ανθρακικό αποτύπωμα την έχουν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η θέρμανση καθώς και η γεωργία, σε ποσοστά 25 και 24% αντίστοιχα (IPCC, 2014). Έπειτα, ακολουθεί ο τομέας της βιομηχανίας με 21% συνεισφορά στο συνολικό ανθρακικό αποτύπωμα και οι μεταφορές με 24%. Ο FAO (2014) υποστηρίζει ότι το 56% των εκπομπών που προέρχονται από το χώρο της γεωργίας αφορούν κυρίως τις πεπτικές διεργασίες των ζώων καθώς και τις κοπριές που δεν διαχειρίζονται άμεσα. Ενδιαφέρον προκαλεί ότι από 1961 μέχρι το 2011 οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> στον τομέα της γεωργίας παρουσίασαν δραματική αύξηση από 2,7 σε 5,3 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>eq.

Σύμφωνα με τους Weidmann & Minx (2008) ως ανθρακικό αποτύπωμα ορίζεται ως: *‘Μια συγκεκριμένη ποσότητα αερίων που αφορούν την κλιματική αλλαγή (π.χ διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κ.α) και είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη κατανάλωση ή δραστηριότητα.’* Ενώ σύμφωνα με την Carbon Trust (2018), *‘Το ανθρακικό αποτύπωμα περιλαμβάνει τα 6 αέρια του θερμοκηπίου όπως αυτά περιγράφηκαν από τη συνθήκη του Κιότο (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, οξείδιο του αζώτου, υδροχλωροφθοράνθρακες, υπερφθοράνθρακες και εξαφθορειούχο θείο).’* Προκειμένου να υπολογισθούν οι εκπομπές των αερίων αυτών θεσπίστηκε το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>eq που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης αλλά και σύγκρισης, έχοντας ως βάση την μια μονάδα διοξειδίου του άνθρακα ενώ καλό θα ήταν να υπολογίζεται και το ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα (tCO<sub>2</sub>eq). Γενικότερα όμως στην βιβλιογραφία παρατηρείται μια σύγχυση σχετικά με τον ορισμό του ανθρακικού αποτυπώματος, καθώς αυτός ποικίλει ανάλογα με τις αντιλήψεις των ερευνητών από έρευνα σε έρευνα. Για παράδειγμα, ως ανθρακικό αποτύπωμα μελετώνται κυρίως οι ροές διοξειδίου του άνθρακα αμελώντας τους υπόλοιπους τύπους αερίων, που πιθανότατα να έχουν μεγαλύτερη περιβαλλοντική σημασία (Wright, Kemp, & Williams, 2011). Σύμφωνα με τους προαναφερθέντες, το ανθρακικό αποτύπωμα αφορά τη συνολική ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> ενός συγκεκριμένου πληθυσμού, συστήματος ή δραστηριότητας, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σχετικές πηγές, στο χωρικό και χρονικό όριο του πληθυσμού, του συστήματος ή της δραστηριότητας ενδιαφέροντος. Υπολογίζεται σε CO<sub>2</sub>eq χρησιμοποιώντας σε σχέση

με το 100ετές δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (GWP100). Αν και σε αυτόν τον ορισμό παρατηρείται έλλειψη των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου, οι συγγραφείς σχολιάζουν πως αυτά είναι που έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα και μπορούν να μετρηθούν με μεγάλη ακρίβεια.

## 5.1 Σημαντικότητα υπολογισμού του ανθρακικού αποτυπώματος

Το αποτύπωμα άνθρακα, όντας η ποσοτική έκφραση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από μια δραστηριότητα, βοηθά στη διαχείριση των εκπομπών και την αξιολόγηση των μέτρων άμβλυνσης (Carbon Trust, 2007b). Έχοντας ποσοτικοποιήσει τις εκπομπές, μπορούν να προσδιοριστούν οι σημαντικές πηγές εκπομπών αλλά και να εντοπιστούν τομείς όπου απαιτείται μείωση των εκπομπών και να δοθεί προτεραιότητα σε μέτρα αυξημένης αποτελεσματικότητας. Αυτό παρέχει την ευκαιρία για περιορισμό της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αλλά και μείωση του κόστους. Η αναφορά του ανθρακικού αποτυπώματος σε τρίτους ή η αποκάλυψη του στο κοινό είναι απαραίτητη ως ανταπόκριση στις νομοθετικές απαιτήσεις, ή στο εμπόριο άνθρακα ή ως μέρος της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης, ή για τη βελτίωση της εικόνας ενός brand (Carbon Trust 2007b).

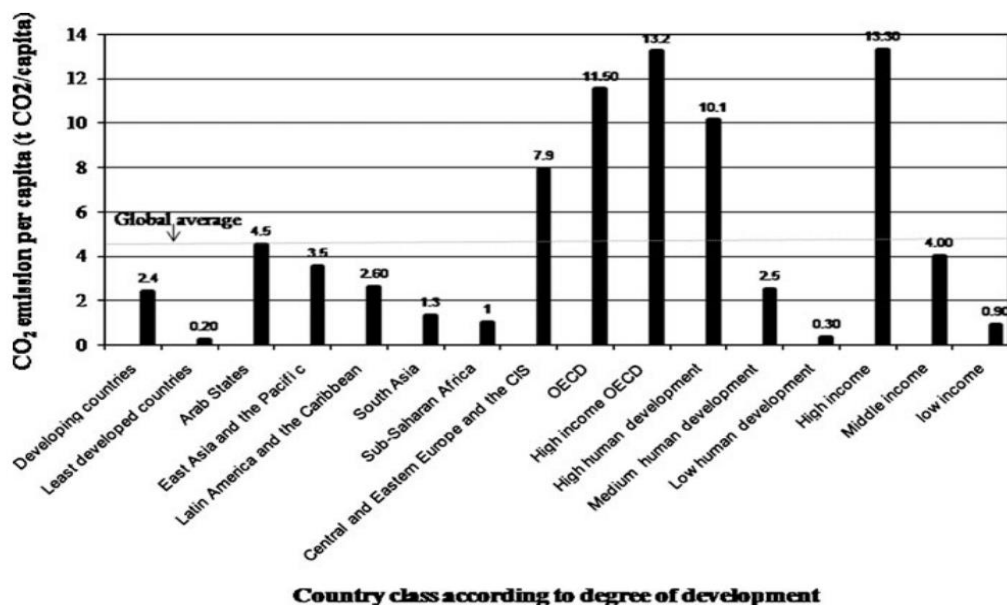
Έχουν θεσμοθετηθεί νομοθετικές ενέργειες τόσο για την ποσοτικοποίηση και όσο και για τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος σε πόλεις και σε οργανισμούς γεγονός που παίζει σημαντικό ρόλο στη χάραξη μιας νέας πολιτικής (Courchene and Allan 2008; Good Company, 2008). Οι ΗΠΑ κατέστησαν υποχρεωτική την τήρηση μητρώου εκπομπών από επιχειρήσεις και εταιρείες στο πλαίσιο του «Consolidated Appropriations Act, 2008» (Rich, 2008). Η ΕΕ έχει επίσης πρωτοστατήσει στη διαμόρφωση νομικών δεσμεύσεων για τη μείωση των εκπομπών στην αεροπορία. Η Καλιφόρνια περιόρισε τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από μεγάλες βιομηχανίες και έθεσε μορατόριουμ στην εισαγωγή μη συμβατικών καυσίμων οχημάτων, εκτός εάν το αποτύπωμα άνθρακα είναι μικρότερο από αυτό των καυσίμων που προέρχονται από πετρέλαιο (Courchene and Allan, 2008). Ο Νόμος για την Παγκόσμια Θέρμανση της Καλιφόρνιας του 2006, αποσκοπεί στο να οδηγήσει τις εκπομπές της Καλιφόρνιας στο επίπεδο του 1990 έως το 2020 (Caroor and Ambrosi, 2009). Η βρετανική κυβέρνηση μέσω του Low Carbon Transition Plan, το 2009 παρακινεί τα νοικοκυριά να συμβάλουν στην οικοδόμηση ενός μέλλοντος χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Department of Energy



and Climate Change, 2010). Οι περισσότεροι οργανισμοί και σχεδόν όλες οι προσωπικές προσπάθειες αποτύπωσης του ανθρακικού αποτυπώματος έχουν παρατηρηθεί ότι κατευθύνονται προς τη μείωση των εκπομπών ή την αντιστάθμιση του αποτυπώματος μέσω αγοράς πιστώσεων άνθρακα ή άλλων μέτρων ελέγχου. Εκτός από θέματα πολιτικής, το αποτύπωμα άνθρακα έχει τεράστια σημασία για τις επιχειρήσεις. Ο εταιρικός κόσμος έχει αντιληφθεί ότι ο χώρος της οικονομίας θα εστιάζει στον περιορισμό εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στο εγγύς μέλλον (Kleiner, 2007). Ως εκ τούτου, φαίνεται να υπάρχει μια βιασύνη για τον υπολογισμό του αποτυπώματος άνθρακα και τη μείωση των εκπομπών παγκοσμίως, ώστε να αξιοποιηθεί ως ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Kleiner, 2007). Το γεγονός αυτό, αποδεικνύεται από την αύξηση του αριθμού των εταιριών που συμμετέχουν στο CDP από 383 το 2008 σε 409 το 2009 (CDP, 2009).

Σε έρευνα που πραγματοποίησε το L.E.K. Consulting LLP (2007), διαπιστώθηκε ότι το 44% των καταναλωτών προτίμησαν να αγοράζουν τα προϊόντα, τα οποία παρείχαν πληροφορίες σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα, ενώ το 43% ήταν πρόθυμο να πληρώσει περισσότερα για τα προϊόντα με σχετικά χαμηλό αποτύπωμα άνθρακα. Ως εκ τούτου, ο εταιρικός τομέας ανταποκρίθηκε άμεσα ώστε να ικανοποιήσει τα ευαισθητοποιημένα άτομα σχετικά με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Αυτό οδήγησε στην αύξηση των προσωπικών εγκαταστάσεων ανίχνευσης άνθρακα (συμβουλευτικές υπηρεσίες και ηλεκτρονικοί υπολογιστές) ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες (Padgett *et al.*, 2008; Kenny and Gray, 2008). Μετά τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος, προσφέρουν να αντισταθμίσουν τις εκπομπές με δενδροφύτευση και με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Murray and Day, 2009) και για το λόγο αυτό, έχει καταγραφεί δραματική αύξηση της εθελοντικής αγοράς άνθρακα από το 1989 (Hamilton *et al.*, 2007).

Εκτός από την επιχειρηματική του σημασία, το αποτύπωμα άνθρακα έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης του αντίκτυπου του τρόπου ζωής ενός πολίτη σε μια χώρα στις εκπομπές άνθρακα. Το UNDP (2007) και οι Edgar και Peters (2009) δημοσίευσαν ανά χώρα το κατά κεφαλή αποτύπωμα άνθρακα, έναν βολικό τρόπο σύγκρισης των συνεισφορών χωρών, πόλεων και τομέων στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Το σχήμα αντιπροσωπεύει το κατά κεφαλή αποτύπωμα άνθρακα για διαφορετικές χώρες βάσει του βαθμού ανάπτυξης τους. Είναι σαφές ότι οι χώρες υψηλού εισοδήματος αφήνουν το μεγαλύτερο αποτύπωμα, ενώ είναι σημαντικά χαμηλό στις αναπτυσσόμενες χώρες.



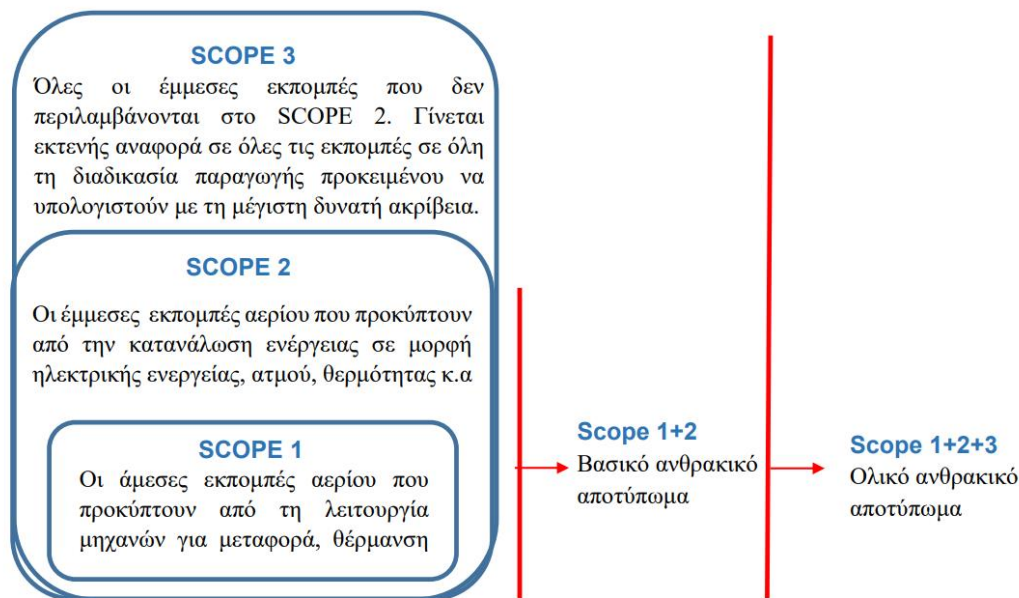
Γράφημα 4. Κατά κεφαλήν αποτύπωμα άνθρακα σε διαφορετικές κατηγορίες χωρών ανάλογα με τον βαθμό ανάπτυξης (UNDP, 2007)

## 5.2 Πρότυπα υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος

Ο υπολογισμός του ανθρακικού αποτυπώματος (carbon footprint), αποσκοπεί στη μέτρηση της συνολικής ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τα οποία εκπέμπονται άμεσα ή έμμεσα από κάποια δραστηριότητα ενός ατόμου ενός φορέα ή γενικότερα μιας κοινωνικής οντότητας, ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Αναφέρεται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ή και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες εκπέμπονται ή είναι συσσωρευμένες στα επιμέρους στάδια ζωής από το σύνολο των διαδικασιών παραγωγής προϊόντων ή παροχής υπηρεσιών ή κατά τη λειτουργία ενός οργανισμού, μίας επιχείρησης ή ακόμα και μιας χώρας, στην συνεισφορά οικονομικών κλάδων στις εκπομπές αυτές, και κατά την πραγματοποίηση εκδηλώσεων κάθε είδους.

Επιπρόσθετα, είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την αναγνώριση της κατανάλωσης της ενέργειας μιας χώρας και παρέχει πληροφορίες ώστε να λαμβάνονται αποφάσεις με μεγαλύτερη ασφάλεια για τη ορθολογικότερη διαχείρισή της, ενώ δίνει τη δυνατότητα να γίνονται χρονικές συγκρίσεις και συγκρίσεις με άλλες χώρες. Μετά τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος είναι δυνατή ή χάραξη στρατηγικής μείωσής του. Η αντιστάθμιση ή ο μηδενισμός του ανθρακικού αποτυπώματος που υπολογίστηκε γίνεται μέσω της αγοράς δικαιωμάτων άνθρακα, ή μέσω υλοποίησης έργων προστασίας του κλίματος και του περιβάλλοντος και έργων μειώνουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Τέτοια έργα αποτελούν οι φυτεύσεις δένδρων τα οποία με τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και συμβάλλουν στη διατήρηση του ισοζυγίου.

Σύμφωνα με το Greenhouse Gas Protocol υπάρχουν 3 επίπεδα μέτρησης (Scopes) του ανθρακικού αποτυπώματος ανάλογα με την μέτρηση που λαμβάνεται κάθε φορά (WRI & WBCSD, 2004):



Σχήμα 1. Απεικόνιση επιπέδων - υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος.

Για τον υπολογισμό του ανθρακικού αποτυπώματος απαιτούνται δεδομένα που μπορεί να υπολογιστούν είτε άμεσα, δηλαδή με μετρήσεις πεδίου από ανιχνευτές στο σημείο εξαγωγής του αερίου προς το περιβάλλον, είτε έμμεσα με βάση την κατανάλωση ενέργειας και την χρήση δεικτών που είναι διαθέσιμα στην βιβλιογραφία. Σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί ότι υπάρχουν διαθέσιμα λογιστικά φύλλα που κατευθύνουν την έρευνα, προτείνοντας στον ερευνητή τα στοιχεία που θα πρέπει να συλλέξει αλλά και ορισμένους δείκτες που θα του φανούν χρήσιμοι για τις μετατροπές (Greenhouse Gas Protocol, 2017). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο παρέχει και τύπους υπολογισμού για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την κατανάλωση καυσίμου.

$$E = A_{f,v} * F_{c,v} * F_{ox} * (44/12)$$

Όπου:

- E = Συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> (ανάλογα τις μονάδες που εισάγονται, συνήθως τόνοι)
- A<sub>f,v</sub> = Κατανάλωση καυσίμου (π.χ, L, γαλόνια, m<sup>3</sup> )

- $F_{c,v}$  = Περιεχόμενος άνθρακας ανά λίτρο καυσίμου (π.χ άνθρακας/L ή άνθρακας/m<sup>3</sup> )
- $F_{ox}$  = Αναλογία καυσίμου προς στάχτη που παραμένει (44/12) = Η αναλογία του μοριακού βάρους του CO<sub>2</sub> με αυτό του άνθρακα

Ωστόσο για κάθε μελέτη περίπτωσης συστήνεται η ανασκόπηση βιβλιογραφίας με στόχο τη χρήση του καταλληλότερου τύπου ή μοντέλου. Το πρωτόκολλο αναλύθηκε ξεχωρίζοντας την ανάλυση του ανθρακικού αποτυπώματος σε μονο-τομεακές π.χ μόνο στον αγροτικό τομέα καθώς και δια-τομεακές αναλύσεις που περιλαμβάνουν παραπάνω από ένα τομέα π.χ ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής και διάθεσης ενός προϊόντος. Ανάλογα με τον κάθε τομέα έχουν προκύψει τα ανάλογα πρότυπα διερεύνησης ανθρακικού αποτυπώματος, όπως η προσέγγιση SANGEA (Nordrum, Loreti) που χρησιμοποιείται για την διερεύνηση του ανθρακικού αποτυπώματος που προκύπτει από την βιομηχανία πετρελαίου.

Αντίστοιχα για τον αγροτικό τομέα και ιδιαίτερα για την ζωική παραγωγή χρησιμοποιείται κυρίως το λογισμικό GLEAM (FAO, 2018). Τα δεδομένα εισάγονται ανάλογα με το είδος του ζώου, την φυλή, το σιτηρέσιο, ακόμη και την κατανομή του κοπαδιού και παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού των εκπομπών CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> και NaO, ώστε να μπορέσει να καλυφθεί το μεγαλύτερο ποσοστό του βασικού ανθρακικού αποτυπώματος. Η προσοχή εντείνεται στο βόειο κρέας (Boddey, Cardoso, & Alves, 2016; Desjardins *et al.*, 2012; Ruviaro, De Léis, Lampert, Barcellos, & Dewes, 2015) εξαιτίας των αυξημένων ποσοτήτων αερίων θερμοκηπίου που παράγονται κατά τη διαδικασία της πέψης. Σε περίπτωση συγκέντρωσης αυξημένου αριθμού ζώων και σε εντατικοποιημένες συστήματα εκτροφών συνάμα με την παροχή πρωτεϊνούχων τροφών, τότε το ανθρακικό αποτύπωμα παίρνει ιδιαίτερα υψηλές τιμές τόσο για τις περιοχές παραγωγής όσο και για τους τελικούς καταναλωτές του προϊόντος.

### 5.3 Ανάλυση κύκλου ζωής – Life Cycle Assessment (LCA)

Ο κύκλος ζωής (LCA) περιλαμβάνει όλα τα στάδια ενός συστήματος όπως την κατασκευή, τη διανομή, την κατανάλωση/χρήση, και τελικά την απόρριψή του προϊόντος. Με την ανάλυση του κύκλου ζωής, παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη εικόνα τόσο των εισροών όσο και εκροών όσον αφορά την εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων, της χρήσης νερού, της παραγωγής λυμάτων αλλά και της κατανάλωσης ενέργειας κ.λπ. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος αποτελούν ουσιαστικά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> ή άλλων αερίων του θερμοκηπίου οι οποίες απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια των σταδίων που μεταβαίνει το προϊόν αυτό. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές αυτές υπάρχουν διάφορα διαθέσιμα πρωτόκολλα. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά σύμφωνα με τους Pandey *et al.* (2011) είναι τα:

- Το πρωτόκολλο GHG του World Resource Institute (WRI)/World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). Παρέχει συγκεκριμένα για τον κάθε τομέα ειδικά εργαλεία υπολογισμού και εστιάζει στην ποσοτικοποίηση του περιορισμού των αερίων θερμοκηπίου που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τις μεθόδους μετριάσμου του έργου. Αποτελεί βάση για τις περισσότερες οδηγίες υπολογισμού των αερίων, συμπεριλαμβανομένου του ISO 14064 (μέρη 1 και 2) (WRI/WBCSD 2004, 2005).
- Οι προδιαγραφές Publicly Available Specifications-2050 (PAS 2050) του British Standard Institution (BSI): καθορίζει τις απαιτήσεις για την εκτίμηση των κύκλων ζωής των εκπομπών GHG αγαθών και υπηρεσιών (BSI 2008). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο εστιάζει κυρίως σε παραγόμενα προϊόντα. Σύμφωνα με το πρότυπο καθορίζεται η στρατηγική μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος μετά από υπολογισμούς των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου και έπειτα από 2 έτη γίνεται αντιστάθμιση του ανθρακικού αποτυπώματος, δηλαδή εκ νέου υπολογισμός με βάση τα νέα στοιχεία τα οποία προκύπτουν από τα τηρηθέντα αρχεία και διερεύνηση της επίτευξης των στόχων που έχουν τεθεί κατά τη χάραξη της στρατηγικής μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος. Τα προϊόντα που παράγονται πρέπει να φέρουν

ετικέτα όπου θα αναγράφονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub> που εκλύονται καθ'όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ανά μονάδα βάρους, μερίδα κ.λπ. Στην ετικέτα επιπλέον περιλαμβάνεται η δέσμευση για αντιστάθμιση και μείωση των εκπομπών αυτών, ενώ αυτή αφαιρείται σε περίπτωση αποτυχίας μείωσης αυτών.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υπάρχουν ουσιαστικά δύο διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με την προσέγγιση του κύκλου ζωής ” (Wiedmann and Minx, 2007; Matthews *et al.*, 2008a). Η πρώτη προσέγγιση γίνεται από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) και ονομάζεται Ανάλυση της Διαδικασίας. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδανική για μικρές οντότητες (Lenzen *et al.*, 2001; Wiedmann and Minx, 2007). Υπολογίζει τις πηγές εκπομπής σε μικρότερες κατηγορίες, μιας και γίνεται πιο εύκολη η ποσοτικοποίηση ενώ ταυτόχρονα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για να τον προσδιορισμό του τομέα που χρειάζεται βελτίωση (Green Design Initiative, 2016). Η δεύτερη προσέγγιση γίνεται από πάνω προς τα κάτω (top-down) και ονομάζεται Ανάλυση Εισροών-Εκροών. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στο οικονομικό μοντέλο εισροών-εκροών, το οποίο περιλαμβάνει πλέον και περιβαλλοντικές μεταβλητές, έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το ανθρακικό αποτύπωμα. Η μέθοδος αυτή σύμφωνα με τους Miller και Blair (1985) είναι κατά βάση μαθηματική και υπολογίζεται με τη μορφή μήτρας, η οποία έχει την εξής μορφή:

$$x = (I + A + A^2 + A^3 + \dots) \text{ και}$$
$$y = (I - A)^{-1} y, \text{ όπου}$$

I η μοναδιαία μήτρα, y οι επιθυμητές εκροές και A οι αλυσίδες εφοδιασμού για την παραγωγή των y. Σαν όριο, είναι δυνατόν να τεθεί το οικονομικό σύστημα στο σύνολό του (Pandey, Agrawal, & Pandey, 2011). Η Ανάλυση Εισροών-Εκροών χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για εκπομπές αερίων που σχετίζονται με εισαγωγές και εξαγωγές και χαρακτηρίζεται ως «πολυπεριφερειακή ανάλυση εισροών-εκροών» (Green Design Initiative, 2016).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα γαλακτοκομικά προϊόντα στα οποία φαίνεται να υπάρχουν αρκετές και διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις ανά τον κόσμο προκειμένου να προσδιοριστούν και να αναλυθούν επιμέρους οι

περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται από φορείς όπως: International Dairy Federation, The International EPD System, The Sustainability Consortium, και τέλος το Quebec Dairy Council. Μεταξύ τους τα πρωτόκολλα παρουσιάζουν διαφορές κυρίως ως προς τη λειτουργική μονάδα που εξετάζει το καθένα αλλά και ως προς το σύνολο των εξεταζόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το πρωτόκολλο του International Dairy Federation (IDF) θεωρεί ως λειτουργική μονάδα το 1kg γάλακτος όταν αυτό είναι έτοιμο προς διάθεση από τη φάρμα ενώ το EPD θεωρεί ως λειτουργική μονάδα το 1kg γάλα συμπεριλαμβανόμενης και της συσκευασίας. Όταν συνυπολογίζονται οι εκπομπές της συσκευασίας ή μη στην παραπάνω ανάλυση παρουσιάζονται σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα. Οι Del Borghi *et al.* (2018) μελέτησαν την επίδραση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, από την παραγωγή έως τη συσκευασία φυτών (ψυχανθή) που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, παρουσιάζοντας την τυποποίησή τους ως το πιο 'ρυπογόνο' στάδιο. Ενώ τέλος, συστήνεται η εφαρμογή εναλλακτικών συσκευασιών τύπου PET ή συμπιεσμένου χάρτου με στόχο τη μείωση του συνολικού αποτυπώματος της διαδικασίας.

Τέλος, σημαντικό θα ήταν να αναφερθεί, ότι η ΕΕ προσπαθώντας να συνδυάσει τα διάφορα πρωτόκολλα ώστε να απλοποιήσει τη διαδικασία υπολογισμού, δημιούργησε μια κοινή βάση δεδομένων (Product Environmental Footprint Category Rules) για μια σειρά προϊόντων, στοχεύοντας στην εξάλειψη των διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων αποτίμησης, καθώς και τη δημιουργία μιας ανοιχτής βάσης δεδομένων που θα διαθέτει χρήσιμα στοιχεία για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για κάθε προϊόν (Green Design Initiative, 2016).



## Κεφάλαιο 6 . Συμπεράσματα και συζήτηση

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πρόβλημα παγκόσμιας κλίμακας που αναμένεται να επηρεάσει έντονα τις ερχόμενες γενεές. Είναι γεγονός ότι ενισχύεται συνεχώς το φαινόμενο του θερμοκηπίου και της θέρμανσης της Γης εξαιτίας των ανθρωπογενών δράσεων. Επιπλέον, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής εμφανίζονται σταδιακά δυσμενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον με πιο σημαντική αυτή την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, την αλλαγή των συνθηκών των κατακρημνίσεων, την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας αλλά και την επίδραση αυτών στη λειτουργία των οικοσυστημάτων.

Μια από τις πιο σημαντικές ανθρωπογενείς δράσεις που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και συνεπώς στην κλιματική αλλαγή είναι η αγροτική δραστηριότητα αλλά και η μεταποίηση των τροφίμων που παράγονται. Κατά την αγροτική δραστηριότητα παράγονται τρία κυρίαρχα αέρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) που είναι υπεύθυνα για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και συμβάλλουν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το  $\text{N}_2\text{O}$  απελευθερώνεται κυρίως από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων ενώ το  $\text{CH}_4$  παράγεται από την εντερική ζύμωση των ζώων.

Η ζωική παραγωγή και πιο συγκεκριμένα η παραγωγή βόειου κρέατος προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις συνεισφέροντας με 22,6 Kg  $\text{CO}_2 - \text{eq/Kg}$ , με το μεθάνιο να αποτελεί την κυρίαρχη πηγή συμβολής τόσο στις εκτροφές γαλακτοπαραγωγικών φυλών όσο και στις κρεοπαραγωγής. Ωστόσο σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα οξείδια του αζώτου από την παραγωγή της ζωοτροφής αλλά και από τη διαχείριση της κοπριάς συνεισφέρουν περίπου 30%. Όσον αφορά τις εκπομπές του χοιρινού φαίνεται να είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές του βόειου συμβάλλοντας έτσι λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την παραγωγή ζωοτροφής να αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο. Επιπλέον, το κοτόπουλο παρουσιάζει αυξημένες εκπομπές κυρίως κατά τη συντήρηση του και όχι κατά την εκτροφή του λόγω της υψηλής απόδοσης των ζωοτροφών. Τα θαλασσινά επιφέρουν τις χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανάλογα με τη μέθοδο αλιείας και εκτροφής.

Η φυτική παραγωγή από την άλλη παρουσιάζει γενικά χαμηλότερες εκπομπές επιβλαβών αερίων, με εξαίρεση τις καλλιέργειες του ρυζιού και των ψυχανθών. Τον σημαντικότερο ρόλο και στις δυο καλλιέργειες παίζουν τα εδαφογενή βακτήρια που

εμπλέκονται στους μηχανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης του αζώτου με αποτέλεσμα να εμπλέκονται στον βιογεωχημικό κύκλο του αζώτου και έτσι να αυξάνονται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και έπειτα στην κλιματική αλλαγή ιδιαίτερα αν πρόκειται για μεγάλες εκτάσεις.

Ωστόσο, το φαινόμενο του θερμοκηπίου φαίνεται να μην αποτελεί μόνο περιβαλλοντικό πρόβλημα αλλά ταυτόχρονα και πολιτικό επιφέροντας δυσκολίες στις σχέσεις μεταξύ των χωρών. Για το λόγο αυτό το επιστημονικό ενδιαφέρον εστιάζει πλέον και στις επιπτώσεις τόσο στην κοινωνία όσο και στην οικονομία. Η Ευρωπαϊκή Ένωση φαίνεται να έχει ήδη ορίσει τον εκσυγχρονισμό και τον μετασχηματισμό προς μια οικονομία ουδέτερη για το κλίμα ως μείζον θέμα και θα συνεχίσει να διεξάγει παγκόσμιες προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση. Προκειμένου να ανταποκριθεί στην σχετικά πρόσφατη έκθεση της IPCC του 2018 και να συμβάλει στη σταθεροποίηση του κλίματος αυτού του αιώνα, η ΕΕ πρέπει να είναι μεταξύ των πρώτων που θα επιτύχουν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου καθαρού μηδενός μέχρι το 2050.

Ωστόσο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρούμε ότι πρέπει να σχεδιαστούν επιμέρους εθνικές πολιτικές για την υιοθέτηση μέτρων περιορισμού των εκπομπών CO<sub>2</sub>, διότι ο τομέας της εκτροφής ζώων παραγωγής αλλά και των μεταφορών συμβάλλουν εκτενώς στον σύνολο των επιβλαβών αερίων που εκπέμπονται. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί αδιαμφισβήτητα παγκόσμια απειλή και η Ευρώπη έχει εστιάσει την προσοχή της σε μελέτες για την καταγραφή του αποτυπώματος άνθρακα σε όλα τα στάδια της αλυσίδας από την παραγωγή μέχρι και τη μεταφορά αλλά και την κατανάλωση με στόχο τη μείωση των ρυπογόνων αυτών αερίων. Η επιθυμητή αλλαγή, θα πρέπει να βασίζεται στην ενδυνάμωση όλων των πολιτών και στην παροχή της σωστής πληροφόρησης του κοινού.

## Βιβλιογραφία

Ali MA, Inubushi K, Kim PJ, Amin S. (2019). Management of paddy soil towards low greenhouse gas emissions and sustainable rice production in the changing climatic conditions. In Soil Contamination and Alternatives for Sustainable Development Intech Open:89–103

Angus, J. F., Kirkegaard, J. A., Hunt, J. R., Ryan, M. H., Ohlander, L., & Peoples, M. B. (2015). Break crops and rotations for wheat. *Crop and Pasture Science*, 66(6), 523. <https://doi.org/10.1071/CP14252>

Avadí, A., & Fréon, P. (2013). LCA of fisheries: A review for fisheries scientists and managers. *Fisheries Research*, 143, 21–38.

Basset-Mens, C. & van der Werf, H., 2003, Scenario-based environmental assessment of farming systems – the case of pig production in France, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1005, pp. 127-144

Beauchemin, K.A., Janzen, H.H., Little, S.M., McAllister, T.A., McGinn S.M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agric. Syst.*, 103, 371-379.

Berlin, J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal* 12, 939–953

Berlin, J., Sonesson, U. & Tillman, A-M. (2007). A life cycle based method to minimise environmental impact of dairy production through product sequencing, *Journal of Cleaner Production*, Volume 15, Issue 4, Pages 347-356

Berlin, J., Sonesson, U. & Tillman, A-M., 2008, Product Chain Actors' Potential for Greening the Product Life Cycle – The Case of the Swedish Postfarm Milk Chain, *Journal of Industrial ecology*, 12 (1), 95-110

Berlin, J., Sonesson, U. (2008). Minimising environmental impact by sequencing cultured dairy products: two case studies, *Journal of Cleaner Production*, Volume 16, issue 4

Blandford, D. & Hassapoyannes, K. (2018). "The role of agriculture in global GHG mitigation," *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers* 112, OECD Publishing.

Blengini, G.A & Busto, M., 2009, The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy), *Journal of Environmental Management* 90, pp. 1512-1522

Braker, G., Conrad, R., 2011. Diversity, Structure, and Size of N<sub>2</sub>O-Producing Microbial Communities in Soils—What Matters for Their Functioning? *Advances in Applied Microbiology*, 75, pp 33-70

Capoor, Ambrosi. 2009. “State and Trends of the Carbon Market 2009.” Report. World Bank: Washington D.C.

Carbon Trust. (2007). Carbon footprint Measurement Methodology Version 1.1. Carbon Trust

Casey, J.W. & Holden, N.M., 2006, GHG emissions from conventional, agri-environmental and organic Irish suckler beef units, *Journal of Environmental Quality* 35, 231-239

Casey, J.W., Holden, N.M., 2005. The relationship between greenhouse gas emissions and the intensity of milk production in Ireland. *Journal of Environmental Quality* 34, 429–436.

Casey, J.W., Holden, N.M., 2006. Quantification of greenhouse gas emissions from suckler-beef production in Ireland. *Agricultural Systems* 90, 79–98.

Cederberg, C. & Dareljus, K., 2000, Livscykelanalys (LCA) av nötkött - en studie av olika produktionsformer (Life Cycle Assessment (LCA) of beef – a study of different production forms, in Swedish), Naturresursforum, Landstinget Halland, Halmstad

Cederberg, C. & Dareljus, K., 2001, Livscykelanalys (LCA) av griskött (Life Cycle Assessment (LCA) of pork, in Swedish), Naturresursforum Halland, Halmstad, Sweden

Cederberg, C. & Flysjö, A., 2004, Environmental assessment of future pig farming systems – quantification of three scenarios from the FOOD 21 synthesis work, SIK Report 723, SIK – The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, ISBN91-7290-236-1

Cederberg, C. Berlin, J., Henriksson, M. & Davis, Jennifer, 2008, Utsläpp av växthusgaser i ett livscykelperspektiv för verksamheten vid livsmedelsföretaget Berte Qvarn (Emissions of greenhouse gases in a life cycle perspective from the food

company Berte Quarn, in Swedih), SIK-Report 777, ISBN 978-91-7290-270-1, SIK – The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, Sweden

Cederberg, C., Mattson, B., 2000. Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8, 49–60.

Cederberg, C., Meyer, D. & Flysjö, A., 2009a, Life Cycle Inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy of Brazilian beef exported to Europe, SIK-Rapport 792, SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik, Göteborg, ISBN 978-91-7290-283-1

Cederberg, C., Sonesson, U., Davis, J. & Sund, V., 2009b, Greenhouse gas emissions from production of meat, milk and eggs in Sweden 1990 and 2005, SIK-Rapport 793, SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik, Göteborg, ISBN 978-91-7290-284-8

Cederberg, C., Stadig, M., 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8 (6), 350–356.

Cole, C.V., Duxbury, J., Freney, J., Heinemeyer, O., Minami, K., Mosier, A., Paustian, K., Rosenberg, N., Sampson, N., Sauerbeck, D., Zhao, Q., 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 221-228

Costello, C., Cao, L., Gelcich, A. (Eds.) (2019). The future of food from the sea. [https://oceanpanel.org/sites/default/files/2019-11/19\\_HLP\\_BP1%20Paper.pdf](https://oceanpanel.org/sites/default/files/2019-11/19_HLP_BP1%20Paper.pdf)

Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. A., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., . . . Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588, 95–100.

Courchene, T.J., Allan, J.R., 2008. Climate change: The case for a carbon tariff/tax. *Policy Options* 29 (3), 59–64

Davis, J., Sonesson, U., Baumgartner, D. & Nemecek, T., 2009, Environmental impact of four meals with different protein sources - case studies in Spain and Sweden, accepted for publication August 2009, Food Research International

Del Borghi, A., Strazza, C., Magrassi, F., Taramasso, A. C., & Gallo, M. (2018). Life Cycle Assessment for eco-design of product–package systems in the food industry—The case of legumes. *Sustainable Production and Consumption*, 13(July), 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.001>

Desjardins J. K., Hofmann H. A. and Fernald R. D. (2012). Social context influences aggressive and courtship behavior in a cichlid fish. *PLoS ONE* 7, e32781 10.1371/journal.pone.0032781

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union, 22.11.2008 L 312/3.

Edgar G Hertwich, Peters GP. 2009. Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environ. Sci. Technol.* 43(16): 6414-6420.

EIPRO, 2006, Environmental Impact of Products (EIPRO), European Commission Joint Research Centre, available at [http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/eipro\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/eipro_report.pdf)

EPA, 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-06-003, June 2006. Washington, DC, USA. [www.epa.gov/nonco2/econ-inv/dow](http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/dow).

European Commission, 2006. Environmental impact of products (EIPRO): Analysis of the life cycle environmental impacts related to the total final consumption of the EU25. European Commission Technical Report EUR 22284 EN.

European Commission. 2018. In-depth Analysis in Support of the Commission Communication COM(2018) 773 – A Clean Planet for All – A European Long-Term Strategic Vision for a Prosperous, Modern, Competitive and Climate Neutral Economy. Brussels, Belgium: European Commission.

European Environment Agency (EEA) 2006a, Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2005 and inventory report 2007. Submission to the UNFCCC Secretariat, Technical report No 7/2007. Copenhagen.

FAO (2009) Food and Agricultural Organization of the United Nations. OECD–FAO Agricultural Outlook. Rome, Italy, pp 2011–2030

FAO, 2006. Livestock's Long Shadow—Environmental Issues and Options. Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy.

FAO. 2014. Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. ESS Working paper No.2.

FAOSTAT (2011) FAOSTAT agricultural data. <http://faostat.fao.org>

FAOSTAT (2014) <http://faostat3.fao.org/home/E>.

FHL, 2009. Norwegian Seafood Federation. Results from research project reported (in Norwegian) on: <http://www.fhl.no/miljoe/silda-en-miljoegodbit-article3309-24.html>

Findus, 2008. Fish from Norway or New Zealand on Swedish plates? Climate change emissions of three seafood production chains from the sea to the table (available from: [inger.larsson@se.findus.com](mailto:inger.larsson@se.findus.com))

Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A., Mylan, J., 2006. Environmental impacts of food production and consumption. A report produced for the Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Gagnon B, Ziadi N, Rochette P, Chantigny MH, Angers DH (2011) Fertilizer source influenced nitrous oxide emissions from a clay soil under corn. *Soil Sci Soc Am J* 75:595–604

Galloway, J., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Aser, G.P., Cleveland, C., Green, P., Holland, E., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H. Townsend, A. and Vorosmarty, C. 2004. "Nitrogen cycles: past, present and future." *Biogeochemistry*. 70: 153-156.

Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., Cosby, B.J, 2003. The Nitrogen Cascade. *BioScience*, 53(4) , 341-356

Garnett, T. (2007) Food refrigeration: What is the contribution to greenhouse gas emissions and how might emissions be reduced? A working paper produced as part of the Food Climate Research Network

Green Design Initiative. (2016). Economic input–output Life cycle assessment (EIO-LCA). Internet Model.

Greenhouse Gas Protocol. (2017). GHG Protocol tools. Retrieved November 20, 2018, from <https://ghgprotocol.org/calculation-tools>

Hallström, E., Bergman, K., Mifflin, K., Parker R., Tyedmers P., Troell M., & Ziegler F. (2019). Combined climate and nutritional performance of seafood. *J Clean Prod*, (230), 402–411.

Hilborn, R., Banobi, J., Hall, S. J., Pucylowski, T., & Walsworth, T. E. (2018). The environmental cost of animal source foods. *Front. Ecol. Environ.*, 16(6), 329-335

Hoegh-Guldberg, O. (Ed.). (2019). The ocean as a solution to climate change: Five opportunities for Action. [https://oceanpanel.org/sites/default/files/2019-10/HLP\\_Report\\_Ocean\\_Solution\\_Climate\\_Change\\_final.pdf](https://oceanpanel.org/sites/default/files/2019-10/HLP_Report_Ocean_Solution_Climate_Change_final.pdf)

Hognes, E. S., & Jensen, J. I. (2017). Drivstofforbruk og klimaregnskap for den norske fiskeflåten Utviklingen fra 2001 til 2015 (in Norwegian) [Fuel use and greenhouse gas accounting for the Norwegian fishing fleet.

Hussain S, Peng S, Fahad S, Khaliq A, Huang J, Cui K, Nie L (2015) Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22(5):3342–3360

IPCC 2007, Climate Change 2007. IPCC Fourth Assessment Report. The Physical Science Basis. (<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>)

Islam SF, Sander BO, Quilty JR, de Neergaard A, van Groenigen JW, Jensen LS (2020) Mitigation of greenhouse gas emissions and reduced irrigation water use in rice production through water-saving irrigation scheduling, reduced tillage and fertiliser application strategies. *Sci Total Environ* 739:140215

ISO (2006a): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.



ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland ISO (2006b): Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. ISO 14044:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.

Jafarzadeh, S., Ellingsen H., & Aanonsen S. A. (2016). Energy efficiency of Norwegian fisheries from 2003 to 2012. *Journal of Cleaner Production*, 112 (Part 5), 3616–3630.

Jan Kramer, K., Moll, H.C., Nonhebel, S., Wilting, H.C., 1999. Greenhouse gas emissions related to Dutch food consumption. *Energy Policy* 27, 203–216.

Jenkinson, D.A., 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant Soil* 228: 3-15.

Kiehl, J. T., & Trenberth, K. E. (1997). Earth's Annual Global Mean Energy Budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 197-208.

Lagerberg Fogelberg C. & Carlsson-Kanyama, A. 2006. Environmental assessment of foods – an LCA inspired approach. In: Fuentes, C. & Carlsson-Kanyama, A. (eds.). *Environmental information in the food supply system*. Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), FOI-R-1903-SE. ISSN 1650-1942. Errata, available at [www.cul.slu/forskning/forskare/charlottel.html](http://www.cul.slu/forskning/forskare/charlottel.html)

Lantmännen's chicken, in Swedish), Masters Thesis 2008, Dept. of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, Sweden

Lenzen, M., et al. (2001) A Modified Ecological Footprint Method and Its Application to Australia. *Ecological Economics*, 37, 229-255. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00275-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00275-5)

Lovett, D.K., Shalloo, L., Dillon, P., O'Mara, F.P., 2006. A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agricultural Systems* 88 (2–3), 156–179.

Marsh K, Bugusu B. Food packaging--roles, materials, and environmental issues. *J Food Sci* 2007, 72:R39-55. 51. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste. *Official Journal of the European Union*, 31.12.1994, L 365/10.

Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008). The importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 5839- 5842.

Miller, R. and Blair, P.(1985). *Input-Output Analysis : Foundations and Extensions*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.

MTES. 2018. *Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone*. Paris, France: Ministère de la transition écologique et solidaire.

Neue, H.U., 1997, Fluxes of methane from rice fields and potential for mitigation, *Soil use and management* 13, pp. 258-267

Nordrum, S., Loreti, C. P., McMahon, M., & Ritter, K. (2004). Developing a consistent approach to estimating greenhouse gas emissions for the petroleum industry. *Industry and Environment*, 27(2–3), 72–75. <https://doi.org/10.1186/RR61>

Ogino, A et al., 2007, Evaluating Environmental Impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method, *Animal Science Journal* 78, 424-432

Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environ.Monit.Assess.*, 178, 135-160.

Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1–4), 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>

Parfitt J, Barthel M, Macnaughton S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2010, 365:3065-3081.

Parker, R. W. R. (2012). *Review of life cycle assessments research on products derived from fisheries and aquaculture: A review for Seafood as part of the collective action to address GHG in seafood*. Sea Fish Industry Authority.

Paustian, K., Babcock, B.A., Hatfield, J., Lal, R., McCarl, B.A., McLaughlin, S., Mosier, A., Rice, C., Robertson, G.P., Rosenberg, N.J., Rosenzweig, C., Schlesinger, W.H., Zilberman, D., 2004. *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*. CAST (Council on Agricultural Science and Technology) Report, R141, 120.

Paxton A. *The Food Miles Report: the Dangers of Long Distance Food Transport*; Safe Alliance: London, 1994. 49. Smith A. *The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development*. UK DEFRA: London, 2005, p. 1-117.

Pelletier, N., 2008, Environmental performance in the US poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions, *Agricultural Systems* 98, pp. 67-73

Pelletier, N., Tyedmers, P., 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better? *Aquaculture* 272 (1), p.399-416

Rogissart, L., C. Foucherot, and V. Bellassen. 2019b. *Food Policies and Climate: A Literature Review*. Paris, France: I4CE

Ruviaro, C. F., Léis, C. M., Lampert, V. N., Barcellos, J. O. J., & Dewes, H. (2015). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 96, 435-443. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.037.

Schau, E.M., Ellingsen, H., Endal, A., Aanonsen, S.A., 2009. Energy consumption in Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production* 17(3):325-334

Seafish, 2008. Briefing paper. CO2 emissions. Case studies in selected seafood chains, v.1.0.

<http://www.seafish.org/co2emissions/SeafishCO2EmissionsBriefingPaperJan2008.pdf>

Sevenster, M. & de Jong, F., 2009, *A Sustainable Dairy Sector – Global, regional and life cycle facts and figures on greenhouse-gas emissions*, Delft, CE, Publication number 08.7789.XX

Smil, V. 2002. Nitrogen and food production: proteins for human diets. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2), 126-131.

Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle SO, Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O (2007) Agriculture. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds) *Climate Change (2007) Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp 497–540

- SOFIA 2008. The state of world fisheries and aquaculture. FAO, Rome
- Sonesson, U., Antesson, F., Davis, J. & Sjöden, P-O., 2005, Home Transports and Wastage – Environmentally Relevant Household Activities in the Life Cycle of Food, *Ambio*, vol.34, issue 4-5, pp. 368-372
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C. 2006. Livestock´s Long Shadow. Environmental issues and options. FAO, Rome
- Strid Eriksson, I., Elmquist, H., Stern, S. & Nybrant, T., 2005, Environmental systems analysis of pig production – The impact of feed choice, *International Journal of LCA* 10 (2) pp. 143-154
- Stuart, T., 2009, *Waste – Uncovering the global food scandal*, Penguin Books, London, UK
- Thrane, M., 2004. Energy consumption in the Danish fishery. Identification of key factors. *Journal of Industrial Ecology* 8(1-2) pp. 223-239
- Thrane, M., 2006. LCA of Danish fish products. New methods and insights. *International Journal of LCA* 11(1):66-74
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518e522. <https://doi.org/10.1038/nature13959>
- Troell, M., Tyedmers, P., Kautsky, N., Rönnbäck, P., 2004. Aquaculture and Energy use. In: Cleveland, C. (ed.), *Encyclopedia of Energy* Vol. 1 pp 297-108.
- Tyedmers, P., 2004. Fisheries and Energy use. In: Cleveland C. (ed.), *Encyclopedia of Energy* Vol. 2 pp 683-693
- Tyedmers, P., Pelletier, N., Ayer, N., 2007. Biophysical sustainability and approaches to marine aquaculture development policy in the United States. A report to the marine aquaculture task force February 2007. Dalhousie University, School for Resource and Environmental Studies. Available at: [www.who.edu/sites/marineaquataskforce](http://www.who.edu/sites/marineaquataskforce)
- Tyedmers, P.H., 2001. Energy consumed by north Atlantic fisheries. In *Fisheries impacts on North Atlantic ecosystems: Catch, effort and national/regional data sets*. *Fish. Cent. Res. Rep.* 9(3):12-34

Tynelius, G., 2008, Klimatpåverkan och förbättringsåtgärder för Lantmännens livsmedel – fallstudie Kronfågels slaktcyckling (Climate Impact and Improvement potentials for

U.S.EPA. (2018). U.S. Environmental Protection Agency. Ανάκτηση από <http://www.epa.gov>.

United Nations Food and Agricultural Organization 2011, Global Food Losses and Food Waste: Extent Causes and Prevention.

United Nations World Economic and Social Survey 2011: The Great Green Technological Transformation. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs. European Parliament resolution of 19 January 2012 on how to avoid food wastage: strategies for a more efficient food chain in the EU (2011/2175(INI)).

Ventour, L., 2008, The food we waste, WRAP, Banbury UK, ISBN: 1-84405-383-0 (<http://www.wrap.org.uk/>)

Verge, XCP et al., 2008, Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry, Agricultural Systems 98, 126-134

Weidmann, T., & Minx, J. (2008). A Definition of "Carbon Footprint". C.C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends, 1, 1-11

Williams, A.G., Audsley, E & Sanders, D.L., 2006, Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities, Main Report, Defra Research project IS0205, Bedford: Cranfield University and Defra, Available at [www.silsoe.cranfield.ac.uk](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk)

Winther, U., Ziegler, F., Skontorp Hognes, E., Emanuelsson, A., Sund, V., & Ellingsen, H., (2009). Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products (Report No. SFH80 A096068). SINTEF Fisheries and Aquaculture.

WRI & WBCSD, W. R. I. & W. B. C. for S. D. (2004). The Greenhouse Gas Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition. In The GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. <https://doi.org/10.56973-568-9>

Wright, L., Kemp, S., & Williams, I. (2011). Carbon footprinting: towards a universally accepted definition. Carbon Management 2(1), σσ. 61-72.

WWF, Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2 degrees C global temperature rise, 2005.

Yan X, Du Shi SL, Xing G (2000) Pathways of N<sub>2</sub>O emission from rice paddy soil. *Soil Biol Biochem* 32:437–440

Zhao X, Min J, Wang S, Shi W, Xing G (2011) Further understanding of nitrous oxide emission from paddy fields under rice/wheat rotation in south China. *J Geophys Res Biogeosci* 116(G2)

Ziegler, 2009. Fishing has larger climate impact than long-distance transports. SIK annual report 2008: SIK document 183:p 15, SIK – The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Göteborg, Sweden.

Ziegler, F. et al., 2009. Life Cycle Assessment of southern pink shrimp products from Senegal. *FAO Fisheries Circular No.1044*

Ziegler, F., 2006. Environmental Life Cycle Assessment of seafood products from capture fisheries. PhD thesis, Göteborg University, Dept. of Marine Ecology / SIK, The Swedish Institute for Food and Biotechnology. SIK report 754

Ziegler, F., 2008. Värms jordklotet upp av fisken på din tallrik?(Is global warming caused by the fish on your plate?, in Swedish) In: Johansson, B. (ed.) *Klimatfrågan på bordet* (The climate issue on the table). Formas fokuserar 14

Ziegler, F., Hornborg, S., Green, B. S., Eigaard, O. R., Farmery, A., Hammar, L., Hartmann, K., Molander, S., Parker, W. R., Skontorp Hognes, E., Vázquez-Rowe, I., & Smith, A. D. M. (2016). Expanding the concept of sustainable seafood using life cycle assessment. *Fish and Fisheries*, 17(4), 1073–1093.

Ziegler, F., Hornborg, S., Valentinsson, D., Skontorp Hognes, E., & Eigaard, O. R. (2016). Same stock, different management: Quantifying the sustainability of three Skagerrak shrimp fisheries from a product perspective. *ICES Journal of Marine Science*, 73(7), 1806–1814.

Ziegler, F., Nilsson, P., Mattsson, B., Walther, Y. 2003. Life Cycle Assessment of frozen cod fillets including fishery-specific environmental impacts. *International Journal of LCA* 8: 39-47

Ziegler, F., Valentinsson, D., 2008. Environmental Life Cycle Assessment of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) caught along the Swedish west coast by creels and conventional trawls. LCA methodology with case study. *International Journal of LCA* 13(6):487-497

Γκαϊντατζής, Γ. (2012). Υπολογισμός του Ανθρακικού Αποτυπώματος του Δήμου Καβάλας, Τελική Έκθεση. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή. Ξάνθη, Ελλάδα: Δήμος Ξάνθης.

Ίδρυμα οικονομικών και βιομηχανικών ερευνών (IOBE). 2015. Αθήνα.

Κωνσταντουδάκη, Γ. (2013). Υπολογισμός αποτυπώματος άνθρακα σε λιμένα. Εφαρμογή στον σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του οργανισμού λιμένα Πειραιά. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Κωστάκου, Γ. (2011). Αποτύπωμα άνθρακα στα Ελληνικά νοικοκυριά. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο & Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Παπασιδέρη, Ι. (1994). Θέματα Οικολογίας. Αθήνα: Συμμετρία.

Χατζηκόστας Α., Σδούγκας Γ. (2013) Το Πρωτόκολλο του Κιότο και η εφαρμογή του στην Ελλάδα.

Χριστοδούλου, Βλ., Κοτσάμπαση, Β., Μπαμπίδης, Β., 2011. Η εκπομπή αερίων από τη Ζωική Παραγωγή. *Περιοδικό ΕΘΙΑΓΕ*, Τεύχος 45, 6-9.