



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Προσδιορισμός περιβαλλοντικής και οικονομικής επίδοσης προϊόντων
ευρωπαϊκών εκμεταλλεύσεων χοιροτροφίας διαφορετικής κλίμακας
με χρήση της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Αγγελική Γ. Μηλιώτη

Επιβλέπων Καθηγητής:
Θωμάς Μπαρτζάνας, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2024**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Προσδιορισμός περιβαλλοντικής και οικονομικής επίδοσης προϊόντων
ευρωπαϊκών εκμεταλλεύσεων χοιροτροφίας διαφορετικής κλίμακας
με χρήση της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Assessment of the environmental and economic performance
of European livestock farms using the Life Cycle Assessment methodology

Αγγελική Γ. Μηλιώτη

Εξεταστική επιτροπή:

Θωμάς Μπαρτζάνας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Τσιμπούκας, Καθηγητής ΓΠΑ

Ελένη Τσιπλάκου, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Προσδιορισμός περιβαλλοντικής και οικονομικής επίδοσης προϊόντων ευρωπαϊκών κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων με τη χρήση της μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

*ΔΜΠΣ Επιχειρηματικότητα και Συμβουλευτική στην Αγροτική Ανάπτυξη
Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας & Ανάπτυξης
Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής*

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την κτηνοτροφία και τη χοιροτροφία, εστιάζοντας στον ποσοτικό προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιδόσεων και της βιωσιμότητας αυτών των τομέων. Η εισαγωγή παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της σημασίας αυτών των θεμάτων, τονίζοντας την ανάγκη για βιώσιμες πρακτικές ενόψει των παγκόσμιων περιβαλλοντικών ανησυχιών. Ταυτόχρονα, εξετάζονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν τόσο την κτηνοτροφία όσο και τη χοιροτροφία, υπογραμμίζοντας την επείγουσα ανάγκη για αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού τους.

Την ίδια στιγμή γίνεται αναφορά στον ρόλο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων στα συστήματα κτηνοτροφίας και χοιροτροφίας. Δίνεται μια γενική εικόνα των διεθνών συμφωνιών για το περιβάλλον. Οι συμφωνίες αυτές χρησιμεύουν ως κρίσιμα πλαίσια για την αντιμετώπιση των διασυνοριακών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κτηνοτροφίας.

Η λεπτομερής εξέταση των σταδίων και των μεθοδολογιών που εμπλέκονται στην Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής και στην Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί σημαντικό μέρος αυτής της διατριβής. Η μεθοδολογία EU-PEF και τα πρότυπα ISO 14040 παρουσιάζονται ως εργαλεία για την ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής απόδοσης. Οι οικονομικές πτυχές αυτών των γεωργικών συστημάτων αξιολογούνται επίσης χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες οικονομικής ανάλυσης κύκλου ζωής.

Η ενσωμάτωση της Περιβαλλοντικής και Οικονομικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αναδεικνύεται μέσω πρακτικών εφαρμογών σε συστήματα χοιροτροφίας. Η εργασία παρέχει πληροφορίες για το πώς αυτές οι αναλύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της βιωσιμότητας των γεωργικών πρακτικών, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις οικονομικές διαστάσεις. Τα ευρήματα συμβάλλουν στον συνεχιζόμενο διάλογο για την ανάπτυξη ολιστικών και βιώσιμων γεωργικών συστημάτων.

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή υπογραμμίζει τη σημασία εφαρμογής τόσο περιβαλλοντικής όσο και οικονομικής ανάλυσης κύκλου ζωής στην κτηνοτροφία και τη χοιροτροφία. Εφαρμόζοντας ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής, τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για τη βελτίωση της συνολικής βιωσιμότητας των κτηνοτροφικών συστημάτων. Η μελέτη συμβάλλει στον ευρύτερο στόχο της επίτευξης μιας ισορροπίας μεταξύ της κτηνοτροφικής παραγωγής και της διατήρησης του περιβάλλοντος, με γνώμονα την ενίσχυση της περιβαλλοντικής, αλλά και της οικονομικής βιωσιμότητας.

Επιστημονική περιοχή: Επιχειρηματικότητα,

Λέξεις-κλειδιά: Κτηνοτροφία, Χοιροτροφία, Περιβαλλοντικά προβλήματα, Επιδόσεις βιωσιμότητας, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Συμφωνίες για την Κλιματική Αλλαγή, LRTAP, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Στάδια AKZ

Assessment of the environmental and economic performance of European livestock farms using the Life Cycle Assessment methodology

*MSc Entrepreneurship and Consulting in Rural Development
Department of Agricultural Economics & Rural Development
Department of Animal Science*

Abstract

This thesis addresses the environmental challenges associated with livestock and pig farming, focusing on quantifying the environmental performance and sustainability of these sectors. The introduction provides a comprehensive overview of the importance of these issues, highlighting the need for sustainable practices in the face of global environmental concerns. At the same time, environmental problems concerning both livestock and pig farming are examined, highlighting the urgent need for effective mitigation strategies.

At the same time, reference is made to the role of renewable energy sources in improving environmental performance in livestock and pig farming systems. An overview of international environmental agreements is given. These agreements serve as critical frameworks for addressing the transboundary environmental impacts of livestock farming.

A detailed examination of the stages and methodologies involved in Environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Economic Assessment is an important part of this thesis. The EU-PEF methodology and the ISO 14040 standards are presented as tools for quantifying environmental performance. The economic aspects of these farming systems are also assessed using life cycle economic analysis methodologies.

The integration of Environmental and Economic Life Cycle Analysis is demonstrated through practical applications in pig farming systems. The thesis provides insights into how these analyses can be used to optimize the sustainability of agricultural practices, taking into account both environmental and economic dimensions. The findings contribute to the ongoing dialogue on the development of holistic and sustainable agricultural systems.

In conclusion, this thesis highlights the importance of applying both environmental and economic life cycle analysis to livestock and pig farming. By applying integrated Life Cycle Environmental and Economic Assessment, stakeholders can make informed decisions to improve the overall sustainability of livestock systems. The study contributes to the broader goal of achieving a balance between livestock production and environmental conservation, intending to enhance environmental as well as economic sustainability.

Scientific area: Entrepreneurship

Keywords: Livestock, Pig farming, Environmental Problems, Sustainability Performance, Renewable Energy Sources, Climate Change Agreements, LRTAP, Life Cycle Assessment, Environmental Life Cycle Assessment, LCA Stages

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Περιβαλλοντικά προβλήματα της κτηνοτροφίας και της χοιροτροφίας.....	1
1.1.1	Κτηνοτροφία.....	1
1.1.2	Χοιροτροφία.....	5
1.2	Ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδοσης και της επίδοσης βιωσιμότητας.....	7
1.3	Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιβαλλοντική επίδοση.....	12
1.4	Διεθνείς συμφωνίες για το περιβάλλον.....	15
1.4.1	Συμφωνίες για την Κλιματική αλλαγή.....	16
1.4.2	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – LRTAP.....	17
1.5	Στόχος της εργασίας.....	17
2	Γενική περιγραφή σταδίων περιβαλλοντικής και οικονομικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής...	19
2.1	Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	19
2.1.1	Στάδια.....	19
2.1.2	Μεθοδολογίες.....	22
2.2	Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	25
2.2.1	Στάδια.....	25
2.2.2	Μεθοδολογίες.....	3
3	Εφαρμογή περιβαλλοντικής και οικονομικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σε χοιροτροφικά συστήματα.....	33
3.1	Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	33
3.2	Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	38
4	Συμπεράσματα.....	44
5	Βιβλιογραφία.....	45

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο διατμηματικό μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Επιχειρηματικότητα και Συμβουλευτική στην Αγροτική Ανάπτυξη» του Τμήματος Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης και του τμήματος Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Οφείλω να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους του καθηγητές του προγράμματος, καθώς και στο διοικητικό προσωπικό για τη συμβολή τους στην ομαλή ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Οφείλω να δηλώσω πως είναι ιδιαίτερη χαρά και τιμή μου που συνεργάστηκα με τον Αντιπρύτανη Έρευνας, Οικονομικών και Ανάπτυξης του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και Καθηγητή, Δρ. Θωμά Μπαρτζάνα, ο οποίος επέβλεψε και συντόνισε την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες για την επιστημονική και συμβουλευτική καθοδήγηση που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας με τις εύστοχες παρατηρήσεις του.

Επίσης, καίρια ήταν η συμβολή του μεταδιδακτορικού ερευνητή, Δρ. Βασιλείου Ανέστη, ο οποίος ταυτόχρονα μου παρείχε συμβουλευτική καθοδήγηση και επιστημονική υποστήριξη. Εκφράζω και σε αυτόν τις θερμότερες ευχαριστίες μου.

Τέλος, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου RES4LIVE (“Energy Smart Livestock Farming towards Zero Fossil Fuel Consumption”, χρηματοδοτούμενο από το πρόγραμμα δραστηριοτήτων έρευνας και καινοτομίας OPIZONTAS 2020 (Grant agreement No.101000785)¹.

¹ Η παρούσα εργασία αντικατοπτρίζει μόνο την άποψη του συγγραφέα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν ευθύνεται για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχει.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Τα κυριότερα σημεία μιας ΑΚΖ μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης. Προσαρμογή από τον πίνακα των (Harris & narayanaswamy, 2009)	35
---	----

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου λόγω της κτηνοτροφίας σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1990 έως το 2021 (σε δεσεκατομμύρια μετρικούς τόνους ισοδύναμων διοξειδίου του άνθρακα) (Statista, 2023).....	1
Εικόνα 2 Η εισροή νέας παραγόμενης ποσότητας δραστικού αζώτου στην γεωργία και η εκροή του (Leip κ.ά., 2015).....	3
Εικόνα 3 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τύπων συστημάτων (προσαρμοσμένα συμβατικά, παραδοσιακά και οργανικά) (Dourmad κ.ά., 2014)	6
Εικόνα 4 Μεταβολές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδο περιφέρειας (νομής) για τα έτη 2011, 2016 και 2021 (Azoukis κ.ά., 2023).....	7
Εικόνα 5 Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ. Πηγή: https://www.statistics.gr/sdgs	9
Εικόνα 6 Σχηματική αναπαράσταση των σταδίων μιας ανάλυσης κύκλου ζωής με βάση το πρότυπο ISO 14040:2006, με αναφορά στις σχετικές οδηγίες του FAO (FAO, 2020).....	23
Εικόνα 7 Ικανότητα επιρροής και σχετικά κόστη σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός συστήματος (Gibson & Hamilton, 1994)	27
Εικόνα 8 Η συμπερίληψη των δαπανών στη διαδικασία ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής.....	32
Εικόνα 9 Σύνοψη των κυριότερων σημείων AKZ της μελέτης των (Harris & narayanaswamy, 2009).....	34
Εικόνα 10 Διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα χοιροτροφίας (McAuliffe κ.ά., 2016).....	36
Εικόνα 11 Σύστημα συμβατικής και βιολογικής παραγωγής χοιρινού κρέατος σε εκμετάλλευση στη Σουηδία. Απεικονίζονται και τα τέσσερα υποσυστήματα προμηθειών, εκτροφής, παραγωγής ζωοτροφών, σφαγής, χονδρικής και λιανικής πώλησης και κατανάλωσης (Zira κ.ά.,.....	39
Εικόνα 12 Απεικόνιση των σταδίων παραγωγής χοιροτροφικών προϊόντων στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008).....	4
Εικόνα 13 Απεικόνιση του υπολογισμού κόστους παραγωγής στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008).....	41
Εικόνα 14 Απεικόνιση του υπολογισμού του κόστους των εργατικών στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008).....	41
Εικόνα 15 Παράδειγμα καμπύλης οριακού κόστους μείωσης για τον μετριασμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) (Kesicki & Strachan, 2011)	42

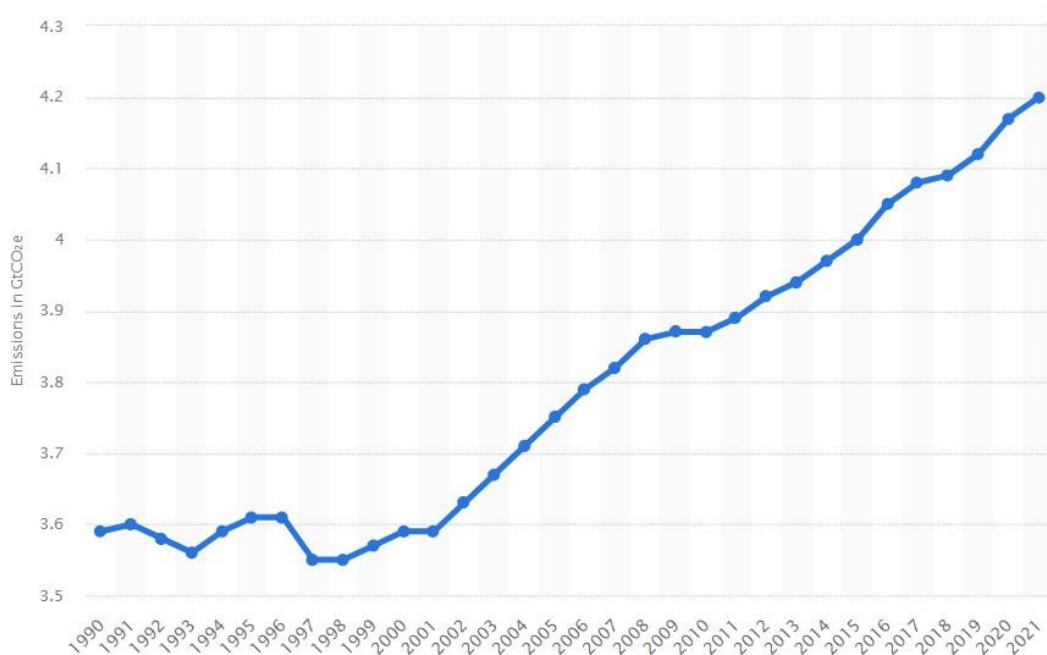
1 Εισαγωγή

1.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα της κτηνοτροφίας και της χοιροτροφίας

1.1.1 Κτηνοτροφία

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις καταλαμβάνουν σήμερα περίπου το 28% της επιφάνειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (που ισοδυναμεί με το 65% της γεωργικής γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Τα συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής, σε συνδυασμό με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, μεταβάλλουν τους κύκλους του αζώτου, του φωσφόρου και του άνθρακα, επηρεάζοντας το νερό, τον αέρα, το έδαφος, το κλίμα και τη βιοποικιλότητα. Συνεχώς λαμβάνουν χώρα προσπάθειες ποσοτικοποίησης των παραπάνω επιπτώσεων και μέχρι στιγμής τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο κτηνοτροφικός τομέας ευθύνεται για το 78% της απώλειας της χερσαίας βιοποικιλότητας, για το 80% της οξίνισης του εδάφους και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (εκπομπές αμμωνίας και οξειδίων του αζώτου) και για το 73% της μόλυνσης των υδάτων (τόσο λόγω N όσο και λόγω P) (Leip κ.ά., 2015). Άλλωστε, ο ίδιος ο πρωτογενής τομέας εν γένει είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στα παραπάνω περιβαλλοντικά προβλήματα. Ειδικότερα, ένας συνδυασμός τεχνικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών από την κτηνοτροφία, τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών και τη μείωση των αποβλήτων τροφίμων θα συνέβαλε σημαντικά στον μετριασμό αυτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην Ευρώπη. (Leip κ.ά., 2015).

Πιο συγκεκριμένα, ο κτηνοτροφικός τομέας συμβάλλει στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στις συνολικές εκπομπές άλλων αερίων ρυπαντών (π.χ. αμμωνία, οξείδια του αζώτου κλπ.), στην απώλεια βιοποικιλότητας, στην ρύπανση υδάτων κλπ. Το 2021, οι παγκόσμιες εκπομπές από την κτηνοτροφία φτάνουν τα 4,2 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (GtCO₂e). Στο Σχήμα 1 αποτυπώνεται ότι οι εκπομπές του κλάδου της κτηνοτροφίας έχουν αυξηθεί σχεδόν κατά 20% από το 2000 (Statista, 2023).

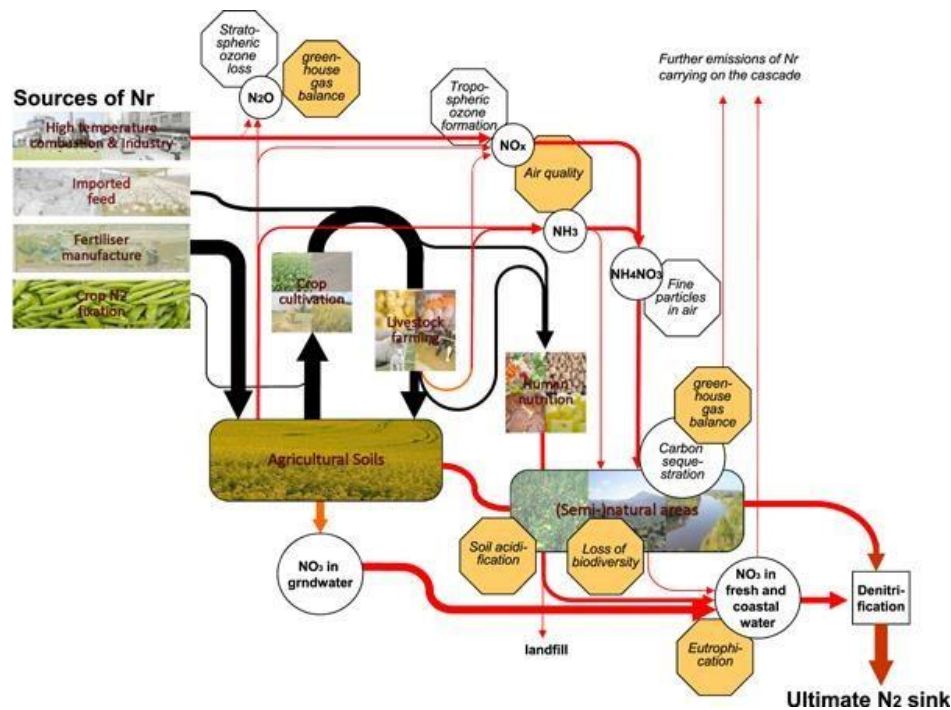


Εικόνα 1 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου λόγω της κτηνοτροφίας σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1990 έως το 2021 (σε δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους ισοδύναμων διοξειδίου του άνθρακα) (Statista, 2023)

Η κτηνοτροφία εξακολουθεί να είναι, μετά την βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, ο κλάδος με τη δεύτερη υψηλότερη ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με συνεισφορά κατά 18% σε παγκόσμιο επίπεδο. Αμέσως μετά την κτηνοτροφία, τοποθετείται η βιομηχανία μεταφορών, η οποία συνεισφέρει περίπου στο 13% των εκπομπών (Russel, 2014).

Τα αέρια που εκπέμπονται μέσω της κτηνοτροφίας αφορούν κυρίως στα αέρια του θερμοκηπίου (GreenHouse Gases – GHG), δηλαδή διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μεθάνιο (CH_4) και υποξείδιο του αζώτου (N_2O) (Rojas-Downing κ.ά., 2017). Οι κύριες πηγές αυτών των εκπομπών προσδιορίστηκαν ως η εντερική ζύμωση των ζώων, η παραγωγή και η επεξεργασία ζωοτροφών, ο χειρισμός της κοπριάς, η μεταφορά και η περαιτέρω επεξεργασία των κτηνοτροφικών προϊόντων (Azoukis κ.ά., 2023). Όσον αφορά στη συμβολή της κάθε κατηγορίας ζωικού κεφαλαίου στις εκπομπές, υπολογίζεται ότι το 62% του συνόλου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από την κτηνοτροφία αφορά τα βοοειδή. Η συμβολή των άλλων ειδών (χοίροι, πουλερικά, βουβάλια και μικρά μηρυκαστικά) είναι μικρή και κυμαίνεται από 7 έως 11%. Ο τομέας των βοοειδών κρεοπαραγωγής είναι υπεύθυνος για το 41% των συνολικών αερίων που εκπέμπονται λόγω της κτηνοτροφίας και ακολουθείται από τον τομέα των βοοειδών γαλακτοπαραγωγής (21%) (Rojas-Downing κ.ά., 2017).

Η πλειοψηφία των εκπομπών που σχετίζονται με την κτηνοτροφία συναντώνται με την μορφή των προαναφερθέντων αερίων του θερμοκηπίου και αμμωνίας (NH_3) (Leytem κ.ά., 2011). Η ερευνητική κοινότητα προειδοποιεί ότι, λόγω της κτηνοτροφίας, πιθανότατα το όριο των 565 γιγατόνων διοξειδίου του άνθρακα (όριο που αναφέρεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο) θα ξεπεραστεί μέχρι το έτος 2030 (Dopelt κ.ά., 2019). Μελέτες δείχνουν ότι οι γεωργικές δραστηριότητες αποτελούν σημαντική πηγή ρύπων και αλλαγής της χρήσης γης, αλλά τα συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής έχουν σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, η συμβολή του κτηνοτροφικού τομέα κυμαίνεται από 73% (ποιότητα νερού) έως περίπου 80% (βιοποικιλότητα, ποιότητα του αέρα, οξίνιση του εδάφους και υπερθέρμανση του πλανήτη) των συνολικών επιπτώσεων του πρωτογενούς τομέα. Όπως καθίσταται σαφές, σε παγκόσμιο επίπεδο, ο τομέας της κτηνοτροφίας δημιουργεί πολυάριθμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Pea, 2009), με πιο σημαντική την κλιματική αλλαγή (McMichael κ.ά., 2007). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα σύγχρονα συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα, το παγκόσμιο κλίμα, την ποιότητα του εδάφους, τη βιοποικιλότητα και την ποιότητα του νερού (Sutton et al., 2011) και συμβάλλουν σημαντικά στο παγκόσμιο κλίμα. Το αντιδραστικό άζωτο (Nr), ειδικότερα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (ο Nr αντιπροσωπεύει την αμμωνία (NH_3), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και όλες τις άλλες μορφές αζώτου εκτός του N_2 , συμπεριλαμβανομένων των απωλειών αζώτου στο νερό). Το άζωτο μεταφέρεται ή ανακυκλώνεται μέσω των καλλιεργειών και των ζώων ως ζωοτροφή ή ως κοπριά για διάφορες καλλιεργείες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 (Sutton et al.).



Εικόνα 2 Η εισροή νέας παραγόμενης ποσότητας δραστικού αζώτου στην γεωργία και η εκροή του (Leip κ.ά., 2015)

Η κτηνοτροφία είναι υπεύθυνη για το 68% των εκπομπών οξειδίου του αζώτου. Αυτές απαντώνται στην ατμόσφαιρα για έως και 150 χρόνια και συμβάλλουν περισσότερο στην υπερθέρμανση του πλανήτη και την υποβάθμιση του στρώματος του όζοντος σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Η κτηνοτροφική παραγωγή αντιπροσωπεύει σχεδόν το 64% όλων των εκπομπών αμμωνίας και συμβάλλει σημαντικά στην όξινη βροχή και στη συνολική οξίνιση των οικοσυστημάτων. Όσον αφορά στο μεθάνιο, τα ζώα είναι επίσης μια εξαιρετικά σημαντική πηγή, συμβάλλοντας στο 35-40% των αντίστοιχων εκπομπών παγκοσμίως. Το μεθάνιο συμβάλλει περισσότερο στην υπερθέρμανση του πλανήτη από ό,τι το διοξείδιο του άνθρακα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ, οι εκπομπές μεθανίου από τους χοίρους έχουν αυξηθεί κατά 37% και από τα βοοειδή κατά 50% τα τελευταία 15 χρόνια (Leytem et al.).

Επιπλέον, οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες απαιτούν μεγάλες εκτάσεις γης. Συγκεκριμένα, οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις καταλαμβάνουν ήδη το ένα τρίτο του συνόλου της γης και πάνω από τα δύο τρίτα της γεωργικής γης (Pea, 2009). Η ολοένα και περισσότερο αυξανόμενη ζήτηση για ζωικά προϊόντα σε συνδυασμό με την μικρή διαθεσιμότητα γης καθιστά την κτηνοτροφία την κύρια αιτία της αποψίλωσης των δασών και την μετατροπή τους σε βοσκότοπους. Σύμφωνα με το Διεθνές Κέντρο Δασικών Ερευνών (CIFOR), μεταξύ 1990 και 2000, η διπλάσια έκταση της Πορτογαλίας μετατράπηκε σε βοσκότοπο (Pea, 2009). Ένας άλλος λόγος αποψίλωσης των δασών είναι η παραγωγή ζωοτροφών. Παγκοσμίως, περίπου το 40% των συγκομιζόμενων καλλιεργειών χρησιμοποιούνται ως ζωοτροφές. Αρκετοί ισχυρίζονται πως, αν το 50% των καλλιεργειών που προορίζονται τελικά για ζωοτροφές, δινόταν στους λιμοκτονούντες πληθυσμούς του κόσμου, το πρόβλημα της παγκόσμιας πείνας θα αντιμετωπιζόταν σε έναν σημαντικό βαθμό (Leitzmann, 2003). Επιπρόσθετα, η μαζική αποψίλωση των δασών οδηγεί, μεταξύ άλλων, στην εξαφάνιση διαφόρων ειδών (Margulis, 2004). Υπολογίζεται ότι έως και 137 είδη φυτών, ζώων και εντόμων πεθαίνουν καθημερινά λόγω της αποψίλωσης των δασών. Σύμφωνα με τους Ceballos et al. (2015), αυτή είναι η μαζικότερη εξαφάνιση που έχει λάβει χώρα τα τελευταία 65 εκατομμύρια χρόνια.

Αξίζει να σημειωθεί πως παρά το γεγονός ότι η κτηνοτροφία ευθύνεται για μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα, ταυτόχρονα η ίδια σε ορισμένα οικοσυστήματα, όπως οι άνυδρες και ημίξηρες περιοχές, αποτελεί το πιο καλά προσαρμοσμένο σύστημα παραγωγής τροφίμων. Σε σχέση με την καλλιέργεια ενός συγκεκριμένου είδους σε μια περιοχή, η κτηνοτροφία

αποτελεί μια πιο ορθολογική μορφή χρήσης γης, στην περίπτωση που τα ζώα μπορούν να μετακινηθούν. Αυτό συμβαίνει, γιατί λόγω των έντονων κλιματικών αλλαγών πολλές φορές οι καλλιέργειες δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν και να καλύψουν τελικά τις εκάστοτε ανάγκες. Την ίδια στιγμή, πολλές άλλες αγροτικές δραστηριότητες θεωρούνται εξίσου επιβλαβείς, όπως η καλλιέργεια ρυζιού, ενός βασικού τροφίμου (Herrero κ.ά., 2009).

Γενικά, η παραγωγή ζωοτροφών θεωρείται ως η πιο σημαντική αιτία ρύπανσης των υδάτων (Pea, 2009). Η αυξανόμενη τάση κατανάλωσης ζωικών προϊόντων έχει αρνητικό αντίκτυπο σε όλα τα οικοσυστήματα, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Πιο συγκεκριμένα, η ρύπανση των υδάτων προκαλείται από περιττώματα ζώων, αντιβιοτικά, ορμόνες, λιπάσματα και φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή χορτονομής τα οποία μεταφέρονται μέσω της απορροής του νερού των βροχοπτώσεων από τους βοσκοτόπους στα ύδατα (Steinfeld κ.ά., 2006). Σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA), η κοπριά των πουλερικών αποτελεί την κύρια πηγή ρύπανσης του νερού (Pea, 2009).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κτηνοτροφίας σχετίζονται και με την σπατάλη πόρων που λαμβάνει χώρα και ιδίως την σπατάλη νερού (Steinfeld κ.ά., 2006). Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ, η ποσότητα νερού που καταναλώνεται από τα νοικοκυριά αποτελεί περίπου το 5% της συνολικής κατανάλωσης, ενώ η ποσότητα νερού που καταναλώνεται από τη κτηνοτροφία αποτελεί περίπου το 55% (Worm κ.ά., 2006).

Ένα ακόμη γεγονός είναι ότι μέσω της κτηνοτροφίας παράγονται σημαντικές ποσότητες απορριμμάτων. Ως απορρίματα της κτηνοτροφίας εννοούνται τα περιττώματα, τα υλικά της κλινοστρωμένης, τα λύματα, το χώμα, οι τρίχες, τα φτερά κ.ά. Έχει υπολογιστεί πως στις ΗΠΑ παράγονται 52,61 κιλά απορριμμάτων ανά δευτερόλεπτο λόγω της κτηνοτροφίας. Υπολογίζεται ότι μια γαλακτοπαραγωγική φάρμα με 2.500 αγελάδες γαλακτοπαραγωγής παράγει τόσα απόβλητα όσο μια πόλη 411.000 κατοίκων (Dopelt et al, 2019).

Σήμερα, η γεωργική γη στο σύνολό της καταλαμβάνει περίπου 1800 εκατομμύρια στρέμματα ή το 42% της έκτασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, από την οποία μεγάλο μέρος χρησιμοποιείται για βοσκή και για καλλιέργεια ζωοτροφών (FAO 2006). Ιστορικά, η κτηνοτροφία βοήθησε στη μετατροπή μη αξιοποιήσιμων μερών των καλλιεργειών, όπως το χόρτο, σε τρόφιμα υψηλής ποιότητας.

Σύμφωνα με μελέτες, οι σοβαρές προσπάθειες που λαμβάνουν χώρα για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων στην Ευρώπη που προέρχονται από τον πρωτογενή τομέα πρέπει να προσανατολιστούν περισσότερο προς τον τομέα της κτηνοτροφίας. Σίγουρα, τα διάφορα τεχνικά μέτρα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών, ωστόσο από μόνα τους δεν είναι επαρκή (Vanham κ.ά., 2015). Την ίδια στιγμή, ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν και άλλα ζητήματα όπως η σπατάλη τροφίμων των Ευρωπαίων πολιτών, με σκοπό την επίτευξη σταθεροποίησης των παγκόσμιων εκπομπών N₂O (Bouwman κ.ά., 2013). Η εφαρμογή τεχνολογιών ακριβείας στην κτηνοτροφία έχει αναγνωριστεί ως μια πιθανή έμμεση στρατηγική για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτηνοτροφικών συστημάτων. Ωστόσο, λίγες μελέτες μέχρι σήμερα έχουν αναλύσει τη σχέση μεταξύ της υιοθέτησης τέτοιων τεχνολογιών και των περιβαλλοντικών επιδόσεων των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και τα δυνητικά οφέλη τους δεν έχουν ακόμη ποσοτικοποιηθεί (Pardo et al.). Συνεπώς, απαιτούνται σημαντικές αλλαγές τόσο στο σύστημα τροφίμων όσο και στον πρωτογενή τομέα προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Συμφωνίας του Παρισιού (Clark κ.ά., 2020). Την ίδια στιγμή, η ευζωία των ζώων έχει γίνει κύριο μέλημα της κοινωνίας (Bozzo κ.ά., 2019). Στην σχετική ενότητα της παρούσας εργασίας αναλύονται οι διεθνείς συμφωνίες για τι περιβάλλον.

Μια λύση περιορισμού των περιβαλλοντικών προβλημάτων της Ευρώπης θα μπορούσε να είναι η μετατόπιση της παραγωγής από την Ευρώπη σε άλλες περιοχές του κόσμου. Έτσι, το οικολογικό αποτύπωμα των προϊόντων που καταναλώνονται στην Ευρώπη θα αυξηθεί εάν δεν ληφθούν πρόσθετα μέτρα (Gerber, 2013). Με αυτόν τον τρόπο, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων που καταναλώνονται στην Ευρώπη θα αυξανόταν, εκτός εάν λαμβάνονταν πρόσθετα μέτρα για την αντιμετώπιση αυτής της αύξησης.

1.1.2 Χοιροτροφία

Η καλλιέργεια της γης για παραγωγή ζωοτροφής συμβάλλει σημαντικά στις συνολικές επιπτώσεις της χοιροτροφίας. Η παγκοσμιοποίηση των αγορών ζωοτροφών λαμβάνεται υπόψη σε αναλύσεις κύκλου ζωής, επειδή ουσιαστικά αποσυνδέει την παραγωγή τους από την χρήση/κατανάλωσή τους. Σε ένα πλαίσιο στο οποίο τα περισσότερα από τα συστατικά μιγμάτων ζωοτροφών αποτελούν αντικείμενο διεθνούς εμπορίου, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι επιπτώσεις που συνδέονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν είναι ουσιαστικά κοινές ανάμεσα στις χώρες που συμμετέχουν στο διεθνές εμπόριο. Μια τέτοια περίπτωση είναι η σόγια, η οποία εισάγεται στην Ευρώπη από τη Νότια Αμερική (κυρίως από τη Βραζιλία) (Andretta κ.ά., 2021). Η χοιροτροφία στην Ευρώπη αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα όσον αφορά στη βιωσιμότητά της (Ruckli κ.ά., 2022). Οι αρνητικές επιπτώσεις της χοιροτροφίας στο περιβάλλον αναγνωρίζονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, η χοιροτροφία ευθύνεται σε παγκόσμιο επίπεδο για 668 μεγατόνους CO₂-eq. ετησίως, αντιπροσωπεύοντας το 9% των εκπομπών του κτηνοτροφικού κλάδου (Gerber κ.ά., 2013). Η παραγωγή ζωοτροφών, η διαχείριση κοπριάς (αποθήκευση, διασπορά) ειδικότερα, καθώς και η αλλαγή χρήσης γης από την παραγωγή σόγιας, έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα συστήματα χοιροτροφίας (FAO, 2013). Ωστόσο, στο πλαίσιο της προσπάθειας αύξησης της αποτελεσματικότητας των χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων, έχουν αναπτυχθεί, για παράδειγμα, διάφορα συστήματα στέγασης (όπως τα κλουβιά τοκετού), τα οποία στρεσάρουντα ζώα και οδηγούν σε φαινόμενα, όπως το δάγκωμα της ουράς (Valros & Heinonen, 2015) και άλλα (Terlouw κ.ά., 1991). Επιπλέον, οι χαμηλές και κυμαινόμενες τιμές του χοιρινού κρέατος έχουν αυξήσει την οικονομική πίεση στους χοιροτρόφους (Pigmeat Statistics, 2023). Οι οικονομίες κλίμακας επιτρέπουν στις μεγαλύτερες επιχειρήσεις να παράγουν πιο οικονομικά και αποτελεσματικά. Ως αποτέλεσμα, πολλές μικρότερες επιχειρήσεις καθίστανται μη βιώσιμες. Κατά συνέπεια, η υφιστάμενη ισορροπία προσφοράς και ζήτησης διαταράσσεται.

Το έργο Q-PorkChains αξιολόγησε τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο 15 ευρωπαϊκών συστημάτων παραγωγής χοίρων με τη χρήση ανάλυσης κύκλου ζωής. Ένα συμβατικό και δύο μη παραδοσιακά συστήματα αξιολογήθηκαν στη Δανία, τη Γαλλία, τις Κάτω Χώρες, την Ισπανία, τη Γαλλία και τη Γερμανία. Τα δεδομένα που απαιτούνταν για τους υπολογισμούς ελήφθησαν με συνεντεύξεις από πέντε έως δέκα εκμεταλλεύσεις σε κάθε σύστημα. Τα συστήματα που μελετήθηκαν κατηγοριοποιήθηκαν ως συμβατικά (C), προσαρμοσμένα συμβατικά (AC), συμβατικά (T) και βιολογικά (O). Σε σύγκριση με τα συστήματα C, τα συστήματα AC διέφεραν ελάχιστα, με μικρές μόνο αλλαγές ως προς την βελτίωση της ποιότητας του κρέατος, την καλή μεταχείριση των ζώων ή τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διαφορά ήταν πολύ μεγαλύτερη για τα συστήματα T, τα οποία χρησιμοποιούσαν παραδοσιακές φυλές βραδείας ανάπτυξης με υψηλά ποσοστά λίπους, με σκοπό την πάχυνση των ζώων σε εξωτερικό περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπολογίστηκαν για κάθε αγρόκτημα και εκφράστηκαν ανά kg ζώντος βάρους χοίρου και ανά εκτάριο χρησιμοποιούμενης γης. Για τα συστήματα C, οι επιπτώσεις ανά kg ζώντος βάρους ως προς την κλιματική αλλαγή, την οξίνιση, τον ευτροφισμό, την χρήση ενέργειας και την χρήση γης ήταν (Dourmad κ.ά., 2014):

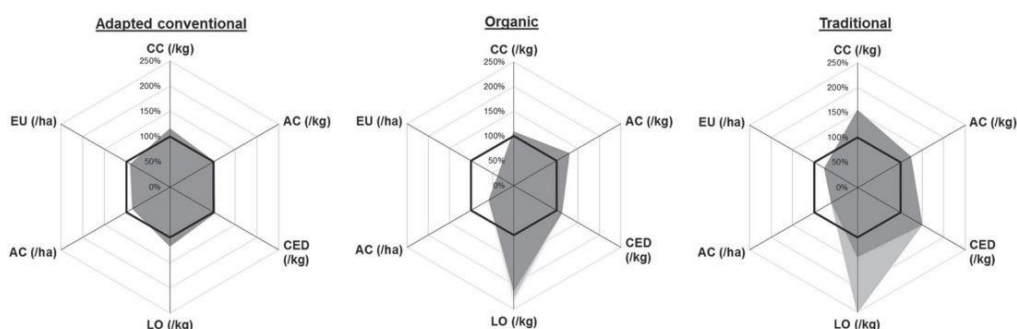
- 2,3 kg CO₂-eq,
- 44,0 g SO₂-eq,
- 18,5 g PO₄-eq,
- 16,2 MJ και
- 4,1 m², αντίστοιχα.

Σε σύγκριση με το C, οι διαφορές στις αντίστοιχες μέσες τιμές ήταν:

- + 13%, + 5%, 0%, + 2% και + 16% υψηλότερες για τα συστήματα AC,
- +54%, +79%, +23%, +50% και +156% για το T και
- + 4%, -16%, +29%, +11% και + 121% για το O.

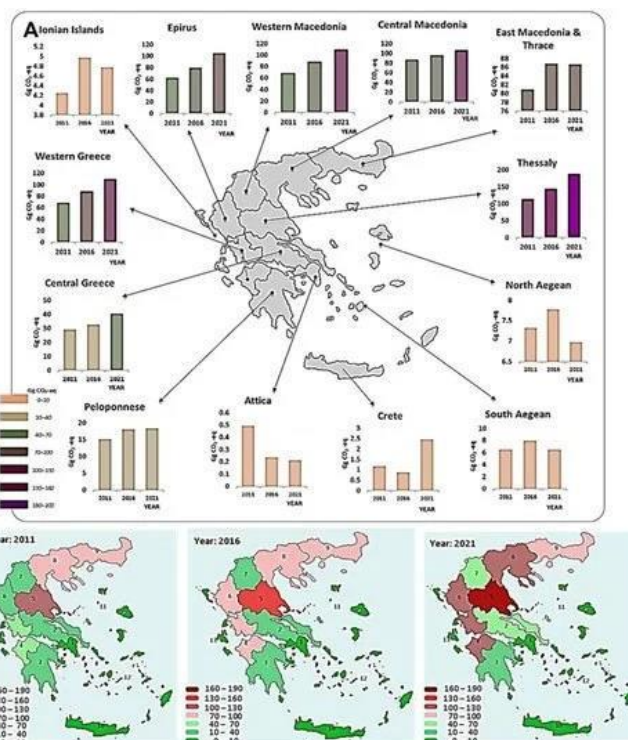
Αντίθετα, σε επίπεδο χρήσης γης ανά εκτάριο, ο μέσος αντίκτυπος ήταν κατά 10-60 % χαμηλότερος στα συστήματα T και O, ανάλογα με την κατηγορία επιπτώσεων.

Αυτό οφειλόταν κυρίως στην υψηλότερη χρήση γης ανά κιλό παραγόμενου χοιρινού κρέατος λόγω της παραγωγής ζωοτροφών και της υπαίθριας εκτροφής χοιρομητέρων και χοίρων πάχυνσης. Η χρήση στρωμνής από άχυρο τείνει να αυξάνει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ανά κιλό ζωντανού βάρους. Η χρήση παραδοσιακών τοπικών φυλών με χαμηλότερη παραγωγικότητα και αποδοτικότητα ζωοτροφών είχε ως αποτέλεσμα αυξημένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ανά κιλό ζώντος βάρους σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων. Τα συστήματα T στα οποία οι χοίροι διατηρούνταν σε εξωτερικούς χώρους είχαν σημαντικά χαμηλότερες επιπτώσεις ανά εκτάριο χρησιμοποιούμενης γης. Το φαινόμενο του ευτροφισμού ανά εκτάριο ήταν σημαντικά χαμηλότερο για συστήματα O. Τα συμβατικά συστήματα είχαν χαμηλότερες εκτιμήσεις επιπτώσεων ανά kg ζώντος βάρους σε παγκόσμιο επίπεδο (υπερθέρμανση του πλανήτη, χρήση ενέργειας, χρήση γης), ενώ τα διαφοροποιημένα συστήματα είχαν χαμηλότερες εκτιμήσεις επιπτώσεων ανά εκτάριο χρήσης γης σε τοπικό επίπεδο (ευτροφισμός, οξίνιση).



Εικόνα 3 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τύπων συστημάτων (προσαρμοσμένα συμβατικά, παραδοσιακά και οργανικά) (Dourmad κ.ά., 2014)

Η χοιροτροφία αποτελεί παράγοντα που συμβάλλει σημαντικά στις συνολικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα ο κλάδος της χοιροτροφίας είναι υπεύθυνος για το 5,8% των εκπομπών CH₄ και το 1,9% των εκπομπών N₂O του πρωτογενή τομέα της χώρας. Ταυτόχρονα, αποτελεί την πέμπτη σημαντικότερη κατηγορία ζωικού κεφαλαίου ως προς τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα (πρώτη είναι η αυτή των προβάτων, δεύτερη αυτή των αιγών, τρίτη αυτή των μη γαλακτοπαραγωγών βοοειδών και τέταρτη αυτή των γαλακτοπαραγωγών βοοειδών) (έτος 2017· ΗΜΕΕ (2019a)). Επιπρόσθετα, τα συστήματα διαχείρισης της κοπριάς των χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων είναι υπεύθυνα για το 5,9%, 0,02%, 3,9%, 0,2% και 1,0% των εκπομπών NH₃, NO₂, NMVOCs, PM_{2,5}, PM₁₀ και TSP του αγροτικού τομέα της Ελλάδας, αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό καθιστά τα συστήματα διαχείρισης της κοπριάς των χοίρων τον τρίτο σημαντικότερο παράγοντα εκπομπών NH₃ (μετά τα μη γαλακτοπαραγωγά βοοειδή και πρόβατα) (Ανέστης, 2020).



Εικόνα 4 Μεταβολές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδο περιφέρειας (νομής) για τα έτη 2011, 2016 και 2021 (Azoukis κ.ά., 2023)

1.2 Ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής επίδοσης και της επίδοσης βιωσιμότητας

Η σταθερά αυξανόμενη κατανάλωση πόρων, η κλιματική αλλαγή και η συνεχής υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων είναι μόνο μερικά ζητήματα που καθιστούν την έννοια της βιωσιμότητας πιο επιτακτική από ποτέ (Sohnius κ.ά., 2023). Λόγω αυτών, προβλέπονται σημαντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις μέσα στις επόμενες τρεις δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο (McKinsey, 2020). Το φυσικό και οικονομικό κεφάλαιο του πλανήτη βρίσκονται σε κίνδυνο, αφού βάλλεται συνεχώς από συνθήκες όπως τα κύματα καύσωνα, οι τυφώνες, τα παλιρροιακά κύματα κτλ. Σε αυτό το πλαίσιο, οι εταιρείες και οι διάφοροι φορείς καλούνται να εξετάζουν την βιωσιμότητα των διαδικασιών τους.

Κατά συνέπεια, η βιωσιμότητα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους μοχλούς αναδιάρθρωσης της λειτουργίας των εταιρειών. Μια σημαντική κοινή πρόκληση για όσους φορείς προσπαθούν να προσδιορίσουν την βιωσιμότητά τους είναι ο τρόπος μέτρησής της. Μόνο το 18% των εταιρειών μετρούν αυτήν τη στιγμή την βιωσιμότητά τους, ενώ το 42% των εταιρειών αντιμετωπίζουν την μέτρηση της απόδοσης βιωσιμότητας ως ένα σημαντικό εμπόδιο (Smurfit Kappa, 2020). Ειδικά στον τομέα της μεταποίησης, τα διάφορα συστήματα παραγωγής χρήζουν προσδιορισμού της βιωσιμότητάς τους, καθώς λόγω αυτών καταναλώνεται σημαντική ποσότητα πόρων.

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (ΕΚ αριθ. 1221/2009) ως περιβαλλοντική επίδοση ορίζονται «τα μετρήσιμα αποτελέσματα της διαχείρισης εκ μέρους ενός οργανισμού των περιβαλλοντικών του πτυχών», δηλαδή των δραστηριοτήτων του, προϊόντων ή υπηρεσιών ενός οργανισμού, το οποίο έχει ή ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον (Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1221/2009, 2009).

Ο ίδιος ορισμός υποστηρίζεται από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 761/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Μαρτίου 2001, για την εθελοντική συμμετοχή οργανισμών στο κοινοτικό σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης και περιβαλλοντικού ελέγχου (EMAS) (Επίσημη Εφημερίδα L 114 της 24ης Απριλίου 2001, σ. 0001-0029), ο οποίος

ορίζει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις ως εξής «τα αποτελέσματα της διαχείρισης εκ μέρους ενός οργανισμού περιβαλλοντικών πτυχών» (Theofanidou, 2008).

Γεγονός είναι πως πλέον οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί δέχονται σημαντική πίεση για την μέτρηση της περιβαλλοντικής τους επίδοσης από διάφορες κατευθύνσεις. Ωστόσο, επειδή συχνά παρατηρείται σύγχυση μεταξύ των εννοιών περιβαλλοντική διαχείριση και περιβαλλοντική επίδοση, κρίνεται σκόπιμη η εξής διευκρίνιση: στην περιβαλλοντική διαχείριση περιλαμβάνονται οι τεχνικές και οι διαχειριστικές δραστηριότητες που υιοθετεί και εφαρμόζει η επιχείρηση με σκοπό την μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος, ενώ το αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι η περιβαλλοντική επίδοση (Henri & Journeault, 2008).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο προσδιορισμός της περιβαλλοντικής επίδοσης καθίσταται ολοένα και πιο επιτακτικός. Συνεπώς, η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών για αυτόν τον σκοπό συνεχώς αυξάνεται. Οι δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και η τιμή του κάθε δείκτη καθορίζει τη θέση της εταιρείας σε σχέση με το μετρούμενο χαρακτηριστικό.

Ο δείκτης περιβαλλοντικών επιδόσεων, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (ΕΚ αριθ. 1221/2009), ορίζεται ως «η εξειδικευμένη ένδειξη που καθιστά δυνατή τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων ενός οργανισμού». Με άλλα λόγια, οι λεγόμενοι «environmental performance indicators-EPIs» ή αλλιώς δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης δεν είναι παρά αριθμητικές μετρήσεις, οικονομικού χαρακτήρα ή μη, μέσω των οποίων αντλούνται πληροφορίες, όπως η περιβαλλοντική επίδραση και άλλα σχετικά με το περιβάλλον ζητήματα (Dye, 2001). Οι δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης προσδιορίζουν τον βαθμό αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε μια επιχείρηση και το περιβάλλον. Συνεπώς οι δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης αποτελούν μια ποσοτικοποίηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας της περιβαλλοντικής δράσης (Olsthoorn κ.ά., 2001).

Με τον όρο της Περιβαλλοντικής Επίδοσης περιγράφεται τόσο η πραγματική επιβάρυνση του περιβάλλοντος (ως προς τον αέρα, τα ύδατα, το έδαφος), όπως είναι προφανές, όσο και η χρήση των πρώτων υλών και ιδιαίτερα της ενέργειας, των διαφόρων επικίνδυνων υλών και των μη ανανεώσιμων πηγών. Ταυτόχρονα, ο όρος αυτός βρίσκει εφαρμογή στην περιγραφή της επίδοσης μιας επιχείρησης ως προς θέματα υγείας και ασφάλειας στον χώρο εργασίας και στον προσδιορισμό της επίπτωσης των διαφόρων προϊόντων στο περιβάλλον, τόσο κατά την χρήση τους όσο και μετά το πέρας αυτής, δηλαδή κατά την απόρριψη τους.

Ιδιαίτερα για τους φορείς και τις επιχειρήσεις που έχουν δεσμευτεί μέσω διοικητικών αποφάσεων να συμμορφώνονται βάσει των αρχών βιώσιμης ανάπτυξης, η μέτρηση και η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης, αποτελεί όχι μόνο προτεραιότητα, αλλά και υποχρέωση.

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) ως Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ΣΠΔ) ορίζεται «ένα σύνολο από ενέργειες το οποίο επιτάσσει σε μία εταιρεία ή οργανισμό τον καθορισμό σαφούς Περιβαλλοντικής Πολιτικής και την εφαρμογή ενός Περιβαλλοντικού Προγράμματος». Πιο συγκεκριμένα, ΣΠΔ είναι μια σειρά από μεθόδους, διαδικασίες, δραστηριότητες και πόρους που απαιτούνται για την εφαρμογή, επίτευξη, έλεγχο και διατήρηση της όποιας περιβαλλοντικής πολιτικής. Βασικός στόχος ενός ΣΠΔ είναι η διαρκής βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών, πάντα στο πλαίσιο συμμόρφωσης με τις περιβαλλοντικές οδηγίες και νομοθεσίες.

Η Αξιολόγηση Περιβαλλοντικής Επίδοσης, εφεξής ΑΠΕ, κατά το πρότυπο ISO 14031:1997, ορίζεται ως «μία συνεχής εσωτερική διαδικασία και ένα διοικητικό εργαλείο το οποίο χρησιμοποιεί δείκτες με σκοπό την εξαγωγή στοιχείων και πληροφοριών συγκρίνοντας την παρελθοντική και παρούσα περιβαλλοντική επίδοση ενός οργανισμού σε σχέση με τα κριτήρια της περιβαλλοντικής επίδοσης που ο ίδιος έχει ορίσει». Ανάλογα με το αντικείμενο και τις δραστηριότητες του εκάστοτε φορέα ή οργανισμού τίθενται συγκεκριμένοι περιβαλλοντικοί στόχοι, οι οποίοι αποτελούν τα «κριτήρια περιβαλλοντικής επίδοσης».

Η ΑΠΕ βρίσκει εφαρμογή τόσο στην περιγραφή των επίσημων διαδικασιών καταμέτρησης και ανάλυσης δεδομένων, όσο και στην τελική επικοινωνία της περιβαλλοντικής διαχείρισης που έχει επιτύχει ο φορέας. Ουσιαστικά, το ποσοστό επίτευξης των περιβαλλοντικών στόχων ή των κριτηρίων περιβαλλοντικής επίδοσης που περιγράφονται μέσω της περιβαλλοντικής πολιτικής

του οργανισμού προσδιορίζεται μέσω δεικτών και διαδικασιών. Γι' αυτό, ένας άλλος ορισμός της αξιολόγησης της περιβαλλοντικής επίδοσης είναι «η συγκεντρωτική μέθοδος μέτρησης και καταγραφής των αποτελεσμάτων της διαχείρισης του οργανισμού υπό τις περιβαλλοντικές πτυχές των δραστηριοτήτων, των προϊόντων ή των υπηρεσιών του» (Kuhre, 1998).

Το 2015, από τα Ηνωμένα Έθνη (ΟΗΕ) ορίστηκε ένα σύνολο στόχων που αφορούν στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Οι στόχοι αυτοί είναι γνωστοί ως «Οι 17 Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) ή Sustainable Development Goals (SDGs)» (UNDP, 2015). Οι ΣΒΑ έπουν τους Αναπτυξιακούς Στόχους της Χιλιετίας (ΑΣΧ) ή Millennium Development Goals (MDGs), που τέθηκαν το 2000 (*Nationen: Millenniums-Entwicklungsziele. Bericht 2015 - Μελετητής Google*, 2010), οι οποίοι ήταν επικεντρωμένοι στην άμβλυνση της φτώχειας. Οι ΣΒΑ είναι πιο λεπτομερείς από τους ΑΣΧ και αποτελούν το πρώτο οργανωμένο πλαίσιο βιώσιμης ανάπτυξης που εγκρίθηκε σε διεθνές επίπεδο και απευθύνεται σε όλα τα κράτη (UNDP, 2015) και όχι μόνο στα αναπτυσσόμενα.



Εικόνα 5 Οι 17 στόχοι βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ. Πηγή: <https://www.statistics.gr/sdgs>

Μεταξύ των ΣΒΑ και των ΑΣΧ εντοπίζονται οι εξής διαφορές (Axon & James, 2018):

- Οι ΑΣΧ κάνουν λόγο για «μείωση της πείνας», ενώ οι ΣΒΑ κάνουν λόγο για «μηδενική» πείνα ή φτώχεια,
- Οι ΑΣΧ αναφέρονταν στις τότε επικρατούσες προκλήσεις, ενώ οι ΣΒΑ επικεντρώνονται περισσότερο στις παρούσες, αλλά και στις μελλοντικές προκλήσεις.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας είναι δυνατό να προσδιοριστεί η βιωσιμότητα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής (Anastas & Zimmerman, 2018). Μέσω της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής αξιολογούνται τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές επιπτώσεις (Benoit κ.ά., 2010). Μια ολοκληρωμένη Ανάλυση Κύκλου Ζωής περιλαμβάνει και την οικονομική (LCC) και την κοινωνική διάσταση (S-LCA) (Finkbeiner κ.ά., 2010).

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έδειξε ότι τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες προσδιορισμού της περιβαλλοντικής επίδοσης και βιωσιμότητας τομέων του αγροδιατροφικού κόσμου.

Πιο συγκεκριμένα, το Ινστιτούτο Περιβάλλοντος και Αειφορίας του Κοινού Κέντρου Ερευνών της ΕΕ (Institute of Environment and Sustainability at the Joint Research Centre) σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Μπάρι πραγματοποίησαν σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πιο αντιπροσωπευτικών τροφίμων και ποτών που καταναλώνονται στα 27 κράτη μέλη της ΕΕ (Notarnicola κ.ά., 2017). Στην συγκεκριμένη μελέτη αξιολογήθηκαν 17 προϊόντα, μεταξύ των οποίων συναντώνται κάποια κύρια γεωργοκτηνοτροφικά προϊόντα, όπως το κρέας, τα γαλακτοκομικά, τα φρούτα και τα λαχανικά. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε μέσω ΑΚΖ, έχοντας ορίσει 12 κατηγορίες επιπτώσεων. Ως κύρια αποτελέσματα σχολιάστηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συγκεκριμένων τροφίμων, καθώς και η κατά κεφαλήν ποσότητα κατανάλωσής τους στην Ευρώπη για το έτος 2010. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τα προϊόντα κρέατος (βόειο κρέας, χοιρινό κρέας και πουλερικά) και τα γαλακτοκομικά προϊόντα (τυρί, γάλα και βούτυρο) φέρουν τη μεγαλύτερη επιβάρυνση και στα 27 κράτη μέλη της ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, το βοδινό κρέας επιφέρει τις περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά κιλό, παρόλο που η ετήσια κατά κεφαλήν κατανάλωσή του είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα κρέατος. Το χοιρινό κρέας και τα γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιπτώσεις με το βόειο κρέας, αν και καταναλώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό. Αντίθετα, τα φρούτα συμβάλουν πολύ λίγο στο συνολικό αποτέλεσμα και όλα τα άλλα τρόφιμα βρίσκονται μεταξύ αυτών των δύο άκρων. Όσον αφορά στη συμβολή των διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής στην κάθε κατηγορία επιπτώσεων, το στάδιο της γεωργικής παραγωγής χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σε πολλές από αυτές, λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, σωματιδίων, αμμωνίας, διοξειδίου του θείου, οξειδίων του αζώτου και βαρέων μετάλλων (Notarnicola κ.ά., 2017). Τα στάδια που έπονται ως προς την συμβολή τους στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αυτά της επεξεργασίας, της συσκευασίας, της περιόδου χρήσης και της διαχείρισής του προϊόντος μετά το τέλος της ωφέλιμης ζωής του.

Σε μια άλλη μελέτη που διεξήχθη, συγκρίθηκαν τα αποτυπώματα αζώτου των διαφόρων κατηγοριών τροφίμων σε 25 κράτη μέλη χρησιμοποιώντας το μοντέλο CAPRI (Leip κ.ά., 2014). Το αποτύπωμα αζώτου ορίζεται ως η συνολική απώλεια αντιδραστικού αζώτου (N) στο περιβάλλον ανά μονάδα προϊόντος και συνδέεται με κατηγορίες επιπτώσεων όπως η οξίνιση των υδάτων και του εδάφους και ο ευτροφισμός. Έχει υποστηριχθεί ότι το αποτύπωμα αζώτου διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τροφίμων. Όπως αναμενόταν, τα κτηνοτροφικά προϊόντα χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα φρούτα και τα λαχανικά. Πιο συγκεκριμένα (Leip κ.ά., 2014):

- Κρέας μηρυκαστικών: 500 g N/ kg προϊόντος.
- Χοιρινό κρέας και κρέας πουλερικών: 100 g N/ kg προϊόν
- Αυγά και γάλα: 30 με 50 g N/ kg προϊόντος.
- Ελαιούχοι σπόροι: 20 g N/ kg προϊόντος,
- Δημητριακά και όσπρια: 10 g N/ kg προϊόντος
- Ζαχαρότευτλα, φρούτα, λαχανικά: 2-3 g N/ kg προϊόντος.

Οι Leip et al. (2015) υπολόγισαν ότι ο κτηνοτροφικός τομέας συμβάλλει σημαντικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του ευρύτερου γεωργοκτηνοτροφικού τομέα στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα, ευθύνεται για το 78% της απώλειας της χερσαίας βιοποικιλότητας, το 80% της οξίνισης του εδάφους και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (εκπομπές αμμωνίας και οξειδίων του αζώτου), το 81% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και το 73% της ρύπανσης των υδάτων (εκπομπές αζώτου και φωσφόρου) (Leip et al., 2015). Ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει σε αυτές τις επιπτώσεις είναι η παραγωγή ζωοτροφών, συμπεριλαμβανομένων των εισαγωγών ζωοτροφών από τρίτες χώρες εκτός των 27 της ΕΕ. Τα δημητριακά αντιπροσωπεύουν την σημαντικότερη ομάδα καλλιεργειών σε όλο τον κόσμο. Εάν εξετάσουμε τον κύκλο ζωής της παραγωγής δημητριακών, η μεγαλύτερη συμβολή στις περιβαλλοντικές

επιπτώσεις έχει το στάδιο της καλλιέργειας (Renzulli et al., 2015). Αυτό επιβεβαιώθηκε σε μια μελέτη των Fantin et al. (2017), όπου η συμβολή του σταδίου της καλλιέργειας στα αποτελέσματα των συνολικών επιπτώσεων ήταν 96% για το σιτάρι και 91% για τον αραβόσιτο. Αυτό οφείλεται κυρίως στις εκπομπές στον αγρό από την παραγωγή, τη μεταφορά και τη συσκευασία των λιπασμάτων και την εφαρμογή τους στις γεωργικές εκτάσεις (Fantin et al., 2017).

Επιπλέον, ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών AKZ συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ίδιων προϊόντων που παράγονται με βιολογικές και συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας (Meier et al., 2015). Για παράδειγμα, οι Van Stappen et al. πραγματοποίησαν μια AKZ αντικείμενο της οποίας ήταν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του σιταριού που παράγεται σε βιολογικά και του σιταριού που παράγεται σε συμβατικά συστήματα (Van Stappen κ.ά., 2015). Διάφορες άλλες μελέτες εξετάζουν τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων καλλιεργητικών πρακτικών σε αροτραίες καλλιέργειες μέσω της αλλαγής των συστημάτων κατεργασίας του εδάφους, του τύπου λιπασμάτων και των διαφόρων καλλιεργητικών τεχνικών. Οι Nemecek et al. (2015) διερεύνησαν την δυνατότητα περιορισμού των περιβαλλοντικών των επιπτώσεων των συστημάτων καλλιέργειας μέσω διαφορετικών συνδυασμούς καλλιεργειών. Στο πλαίσιο της μελέτης αυτής διαπιστώθηκε ότι η διαφοροποίηση των αμειψισπορών σε συνδυασμό με πρακτικές βελτιωμένης διαχείρισης του αζώτου είναι ένα μέσο περιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στον τομέα της κτηνοτροφίας, αντικείμενο των μελετών AKZ αποτελεί η διερεύνηση της δυνατότητας βελτίωσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων των εκμεταλλεύσεων μέσω της αλλαγής της φυλής των ζώων, του συστήματος εκτροφής, της διατροφής των ζώων, της προέλευσης των ζωοτροφών κ.λπ. Οι de Vries et al. (2015) συνέκριναν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τριών συστημάτων παραγωγής βόειου κρέατος που διαφοροποιούνται με βάση:

- Την προέλευση των μοσχαριών,
- Τον τύπο εκτροφής (βιολογικό ή μη) και
- Τον τύπο διατροφής των μοσχαριών πάχυνσης (χονδροειδείς ζωοτροφές ή συμπυκνωμένες ζωοτροφές).

Οι Repar et al. (2017) ασχολήθηκαν με τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιδόσεων σε επίπεδο εκμετάλλευσης (δηλαδή σε μικροεπίπεδο), με την ανάπτυξη δεικτών περιβαλλοντικών επιδόσεων, καθώς και με τον συνδυασμό αυτών με οικονομικές θεωρίες.

Οι Gislason et al. (2023) πραγματοποίησαν ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας και αναφέρθηκαν σε συνολικά 74 μελέτες με κύριο αντικείμενο την ανάλυση κύκλου ζωής σε χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις.

Οι κύριες χώρες διεξαγωγής των μελετών ήταν:

- Γαλλία (18),
- Δανία (12),
- Κίνα (10),
- Ισπανία (6)
- Ιταλία (6).

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στις παραπάνω μελέτες είναι τα κάτωθι (Gislason κ.ά., 2023):

- SimaPro (30 μελέτες),
- OpenLCA (5 μελέτες),
- Excel και Gabi (3 μελέτες),
- Matlab, eFootprint, Jemai-LCA pro (1 μελέτη).

Συνολικά 41 μελέτες περιλάμβαναν αναλύσεις αβεβαιότητας ή ευαισθησίας που εφαρμόζαν διάφορες μεθόδους ανάλυσης, με συνηθέστερη την προσομοίωση Monte-Carlo, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε 14 από τις 74 μελέτες. Για 30 μελέτες δεν υπάρχει αναφορά στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

1.3 Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και περιβαλλοντική επίδοση

Οι Jahangir κ.ά. (2022) διεξήγαγαν έρευνα σε κτηνοτροφική εκμετάλλευση στην πόλη Varamin του Ιράν, με σκοπό να εξετάσουν τον βαθμό μείωσης των εκπομπών μέσα από την υιοθέτηση υβριδικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εκμετάλλευση περιλαμβάνει 1600 αγελάδες. Οι ζωοτροφές προέρχονται από ιδιοπαραγωγή (καλλιέργεια μηδικής, καλαμποκιού και κριθαριού, εφαρμογή κοπριάς από τα ζωικά απόβλητα). Έτσι δημιουργείται ένας κύκλος ανάμεσα στην κτηνοτροφική και την γεωργική γη (Jahangir κ.ά., 2022). Οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εξετάστηκαν είναι:

- Ηλιακή
- Αιολική
- Βιομάζα

Σύμφωνα με τον IFAD, μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές είναι η αιολική ενέργεια. Αυτή η μορφή ενέργειας αξιοποιείται από τον δέκατο ένατο αιώνα ήδη, όταν στη Δυτική Ευρώπη χρησιμοποιούνταν περισσότεροι από 30.000 ανεμόμυλοι. Ειδικά κτηνοτρόφοι των οποίων η πρόσβαση σε υδάτινους πόρους είναι δύσκολη μπορούν να καταφύγουν σε χρήση της αιολικής ενέργειας για άντληση νερού για τα ζώα τους. Οι ανεμογεννήτριες κοινής ωφέλειας μπορούν να παράγουν έως και 5 μεγαβάτ ισχύος ή 100 κιλοβάτ (IFAD, 2012). Όσον αφορά στην Αφρική, μόνο το 5% του υδροηλεκτρικού δυναμικού της χρησιμοποιείται σήμερα, παρά το γεγονός ότι η ήπειρος συνολικά φιλοξενεί το 13% της παγκόσμιας υδροηλεκτρικής ενέργειας (UNDP, 2008). Παρά το γεγονός ότι διαθέτει μερικά από τα μεγαλύτερα υδατικά συστήματα στον κόσμο, αυτά αξιοποιούνται ελάχιστα λόγω του μεγάλου βαθμού διασποράς των ανθρώπων και των χαμηλών επιπέδων ζήτησης.

Σύμφωνα με επίσημες καταγραφές, τα Ιμαλάια φιλοξενούν την πλειονότητα των προγραμμάτων μικρο-υδροηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν επιτυχή παραδείγματα εφαρμογής των τοπικών συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κίνα, την Ινδία, το Νεπάλ και τη Σρι Λάνκα (IFAD, 2012).

Υπήρξαν μερικές μεμονωμένες περιπτώσεις όπου ηλιακά συστήματα χρησιμοποιήθηκαν για τον φωτισμό πτηνοτροφείων (τόσο κρεοπαραγωγικής όσο και ωοπαραγωγικής κατεύθυνσης). Ο τεχνητός φωτισμός δίνει την αίσθηση «επιμήκυνσης» της μέρας, προάγει την ανάπτυξη των ορνιθίων και αυξάνει την παραγωγή αυγών. Η διατήρηση της θερμοκρασίας σε συγκεκριμένα επίπεδα είναι ένα άλλο κρίσιμο στοιχείο στον τομέα των πτηνοτροφείων σε συγκεκριμένες περιοχές με σκοπό τη μείωση του ποσοστού θνησιμότητας των νεοσσών. Μια άλλη λειτουργία η οποία μπορεί να προκύψει από την ηλιακή ενέργεια είναι αυτή του εξαερισμού, όταν, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί ανεμιστήρες που τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά πάνελς. Ωστόσο, για να προσδιοριστούν οι πραγματικές δυνατότητες των σύγχρονων ΑΠΕ στην κτηνοτροφία, απαιτείται περισσότερη έρευνα (IFAD, 2012).

Τα φυσικά αποθέματα νερού τείνουν να εξαντλούνται με γρήγορους ρυθμούς. Η προστασία των αποθεμάτων και η εξασφάλιση πρόσβασης σε νερό υψηλής ποιότητας προαπαιτούν την υιοθέτηση αποδοτικών αρδευτικών συστημάτων. Αυτή η εναλλακτική γίνεται όλο και πιο δημοφιλής σε περιοχές εκτός δικτύου στη Νοτιοανατολική Ασία και την Αφρική, έναντι της εξασφάλισης του απαραίτητου νερού μόνο μέσω των φυσικών βροχοπτώσεων. Ως γνωστόν, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν απαιτούν χρήση καυσίμων ούτε επίβλεψη, ενώ ταυτόχρονα είναι φορητά και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Καθώς η ενέργεια σε αυτό το σύστημα αποθηκεύεται συνήθως με τη μορφή νερού σε μια ειδική δεξαμενή, τα ηλιακά συστήματα άντλησης δεν χρειάζονται συνήθως μπαταρία για την αποθήκευση ενέργειας, γεγονός που μειώνει το κόστος συντήρησης και βελτιώνει την αξιοπιστία τους.

Ωστόσο, τα επενδυτικά κόστη των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξακολουθούν να είναι υψηλά, γεγονός που περιορίζει την υιοθέτησή τους από κτηνοτροφικές μονάδες. Οι ηλιακές αντλίες είναι διαθέσιμες στην αγορά συστημάτων ύδρευσης του κτηνοτροφικού τομέα. Αυτή η αγορά

είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένη στη Δυτική Ευρώπη, την Αυστραλία, τη Βραζιλία, το Μεξικό και τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μια από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές φωτοβολταϊκών στο Μεξικό αφορούσε στις ηλιακές αντλίες ύδρευσης σε βοοτροφικές εκμεταλλεύσεις. Μάλιστα, η συγκεκριμένη αγορά κοστολογείται στα 297 εκατομμύρια δολάρια (Campen & Guidi, 2000). Το πλεονέκτημα του συστήματος αυτού σε χώρες όπως το Μεξικό είναι ότι λόγω της μεγάλης κλίμακας των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, οι κτηνοτρόφοι χρειάζονται συστήματα που επιτρέπουν την περιστροφή των ζώων. Μέχρι στιγμής, η αυξημένη παραγωγή γάλακτος και κρέατος, καθώς και η καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων αποτελούν τα βασικά άμεσα αποτελέσματα αντίστοιχων συστημάτων.

Συνεπώς, για τους επαγγελματίες του πρωτογενή τομέα υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την ενίσχυση των επιπέδων αυτάρκειάς τους, μειώνοντας την ανάγκη εξωτερικών εισροών, ειδικά όταν ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας. Η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όχι μόνο συντελεί στην μείωση του κόστους παραγωγής, αλλά συμβάλλει επίσης στον μετριασμό των συνεπειών της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Μέσω πόρων όπως η βιομάζα, η γεωθερμία, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια για σκοπούς φωτισμού, θέρμανσης και κίνησης σε γεωργο-κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις (Herbert κ.ά., 2014).

Βιομάζα: Εικάζεται ότι εάν τριπλασιαζόταν η χρήση βιομάζας στις ΗΠΑ για παραγωγή ενέργειας, το συνολικό πρόσθετο κέρδος των παραγωγών και των κτηνοτρόφων θα έφτανε τα 20 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ ταυτόχρονα θα μειώνονταν οι εκπομπές αερίων σε βαθμό όσο εάν απομακρύνονταν από την κυκλοφορία 70 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Ως βιομάζα ορίζονται οι πόροι που λαμβάνονται από φυτά και ζώα και μπορούν να αξιοποιηθούν ως καύσιμα. Η βιομάζα με βάση τα φυτά, όπως τα σάκχαρα και τα έλαια, μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας, μια διαδικασία γνωστή ως βιοενέργεια. Τα βιοκαύσιμα και το βιοντίζελ είναι δύο ευρέως διαδεδομένα παραδείγματα καυσίμων που παράγονται από βιομάζα (Herbert κ.ά., 2014).

Για την παραγωγή βιοκαυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες καλλιέργειες. Μια μερίδα των ειδικών υποστηρίζει ότι πολύτιμα καλλιεργήσιμα εδάφη θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν με σκοπό την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών αντί την παραγωγή τροφίμων. Σε αυτό το πλαίσιο ένα ποσοστό των παραγωγών επιλέγουν αντίστοιχες καλλιέργειες, όπως η κανόλα, ο ηλιάνθος ή η κράμβη, με στόχο την ταυτόχρονη παραγωγή βιοντίζελ και πρώτων υλών. Η καλλιέργεια ελαιούχων σπόρων μπορεί επίσης να είναι ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για την παραγωγή καυσίμων, αφού τα υποπροϊόντα που προκύπτουν από τη σύνθλιψη των σπόρων για την εξαγωγή λαδιού έχουν υψηλότερη αγοραστική αξία από το ίδιο το λάδι. Η κακή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η κατακάθιση ιζημάτων μετά από παρατεταμένη αποθήκευση αποτελούν ορισμένα μειονεκτήματα του βιοντίζελ. Οι κτηνοτρόφοι που χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα για τα μηχανήματά τους μπορούν επίσης να επαναχρησιμοποιούν το φυτικό λάδι που αποτελεί απόβλητο διαφόρων εστιατορίων.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον ατμό καύσης της βιομάζας ή του αερίου μέσω βιοαποικοδόμησης είναι γνωστή ως βιοενέργεια. Σε ένα σύστημα βιοαποικοδόμησης ουσιαστικά συλλέγονται και καίγονται τα αέρια που παράγονται κατά την διάσπαση της βιομάζας, όπως η κοπριά, από τους μικροοργανισμούς. Συνεπώς, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορισμένα υποπροϊόντα, όπως τα υπολείμματα αραβοσίτου, τα οποία θα μπορούσαν να υπάρχουν σε μια κτηνοτροφική εκμετάλλευση.

Γεωθερμία: Αν και γενικά η γεωθερμική ενέργεια συνδέεται με τις θερμές πηγές και το φυσικό ζεστό νερό, μια πολύ πιο προσιτή πηγή γεωθερμικής ενέργειας είναι απλώς η σταθερή θερμοκρασία της γης. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε οικιακό όσο και σε γεωργοκτηνοτροφικό επίπεδο για την ανταλλαγή θερμοκρασιών μεταξύ εδάφους και αέρα καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, διατηρώντας μια επιθυμητή θερμοκρασία (Herbert κ.ά., 2014).

Οι πιο πρόσφατες νομοθεσίες και μέτρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης ενθαρρύνουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης διαφόρων τομέων, συμπεριλαμβανομένης της γεωργοκτηνοτροφίας, στην οποία χρησιμοποιούνται βιοκαύσιμα αναμεμιγμένα με συμβατικά καύσιμα για την λειτουργία των μηχανημάτων. Συγκεκριμένα στις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, παρατηρούνται διάφορες άλλες ευκαιρίες αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτός από τα βιοκαύσιμα. Υπάρχουν διεργασίες της κτηνοτροφίας όπου υπάρχει συνεχής ανάγκη για ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια, όπως οι μύλοι ζωοτροφών, η ψύξη νεπού γάλακτος, τα συστήματα αερισμού ή οι κλωβοί γεννήσεων χοίρων. Τα φυτικά υπολείμματα, όπως το άχυρο των δημητριακών, θα μπορούσαν να καούν σε λέβητες για την παραγωγή βιοαερίου, ενώ διάφοροι τύποι οργανικής κοπριάς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαερίου. Την ίδια στιγμή, οι μεγάλες επιφάνειες στις οροφές των κτηνοτροφικών μονάδων μπορούν να εξοπλιστούν με φωτοβολταϊκά πάνελς.

Ο υπο-κλάδος της αγελαδοτροφίας γαλακτοπαραγωγής είναι ο πιο ενεργοβόρος και απαιτεί τα περισσότερα είδη ενέργειας από όλα τα είδη κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Σε έρευνα των Csatári και Vántus (2015), μελετήθηκαν 14 γαλακτοπαραγωγικές μονάδες που βρίσκονται στην κομητεία Hajdú-Bihar της Ουγγαρίας, οι οποίες στεγάζουν το 35% του συνολικού πληθυσμού των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής της κομητείας. Στο πλαίσιο της έρευνας εξετάστηκαν τα γενικά χαρακτηριστικά των εκμεταλλεύσεων καθώς και οι ιδιαιτερότητες της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκείνη την χρονική στιγμή ή στο μέλλον.

Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

- Τουλάχιστον μία μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιείται στο 50% των εκμεταλλεύσεων
- Όσον αφορά στον αντίκτυπο στην απασχόληση, αν και οι εγκαταστάσεις βιοαερίου δημιούργησαν μερικές θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης και η συντήρηση των λεβήτων βιομάζας απαιτεί κάποιες ώρες εργασίας, καμία από τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις δεν αύξησε το εργατικό δυναμικό της στην πραγματικότητα.
- Το 70% των εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιούσαν αντλίες κενού με ρύθμιση συχνότητας, γεγονός που συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος και
- Το 65% των εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιούσαν τη θερμότητα ψύξης του γάλακτος σε ένα σύστημα ανακύκλωσης για τη θέρμανση νερού.

Ένα σημαντικό κίνητρο για τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις είναι το πρόγραμμα στήριξης εκσυγχρονισμού κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Το 80 % των υπό εξέταση εκμεταλλεύσεων λάμβαναν στήριξη από περισσότερα από ένα προγράμματα στήριξης εκσυγχρονισμού κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων κατά την περίοδο Κοινής Αγροτικής Πολιτικής από το 2007 έως το 2014 (Csatári & Vántus, 2015).

Μια αυτόνομη κτηνοτροφική μονάδα θα μπορούσε να παρομοιαστεί με ένα ενεργειακό κύκλωμα εκτός δικτύου που ενσωματώνεται στη διαδικασία εκτροφής. Με άλλα λόγια πρόκειται για μια ενεργειακή διαδικασία που είναι αυτάρκης, λόγω του ότι συμπεριλαμβάνει, για παράδειγμα, μια μονάδα βιοαερίου για παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας, δημιουργώντας μια ενεργειακή ροή. Σε μια κτηνοτροφική μονάδα παράγεται σημαντική ποσότητα αποβλήτων κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, κυρίως με τη μορφή κοπριάς. Η κόπρος είναι υπεύθυνη όχι μόνο για βλαβερές εκπομπές στην εγγύς περιοχή (έκλυση αμμωνίας και δύσσομων οργανικών οξέων), αλλά και για την μόλυνση του εδάφους και των υδάτων με νιτρικά άλατα (νιτρορύπανση). Ωστόσο, μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή βιομεθανίου. Οι μονάδες συμπαραγωγής θερμικής και ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούν το μεθάνιο ως καύσιμο. Μέρος της θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καταναλώνεται από τους κατοίκους της περιοχής και μέρος της να επιστρέφει στην κύρια κτηνοτροφική δραστηριότητα. Συνεπώς, τόσο μια κτηνοτροφική μονάδα όσο και οι κάτοικοι της περιοχής μπορούν να επιτύχουν ενεργειακή αυτάρκεια ως ένα βαθμό και να μην εξαρτώνται από τα εθνικά δίκτυα.

Η παραγωγή βιοαερίου από κοπριά έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, κυρίως στη Γερμανία (Scarlat et al., 2011). Μόνο στη Γερμανία υπάρχουν τουλάχιστον 560

μικρές μονάδες βιοαερίου που χρησιμοποιούν κοπριά ως πρώτη ύλη- οι Scarlat et al. (2018) εκτιμούν την ποσότητα βιοαερίου που παράγεται από κοπριά σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα κτηνοτροφίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ίδιο δυναμικό υπάρχει και για την ανάπτυξη άλλων μονάδων ανανεώσιμης ενέργειας που τροφοδοτούνται από άλλα γεωργικά απόβλητα/ πρώτες ύλες. Πρόσφατες μελέτες στην Ελλάδα και τη Δανία έδειξαν ότι το βιομεθάνιο είναι πολύ πιο ακριβό από το φυσικό αέριο, αλλά με ορισμένα μέτρα πολιτικής θα μπορούσε να γίνει ανταγωνιστικό ως προς το κόστος (Lawson et al., 2021).

1.4 Διεθνείς συμφωνίες για το περιβάλλον

Το 1969 υπογράφηκε η Σύμβαση της Βιέννης για το «*δίκαιο των συνθηκών*». Έως τότε υπήρχε ένα, θα λέγαμε, «εθιμικό» δίκαιο, δηλαδή μια συμβατική σχέση μεταξύ των διεθνών νομικών φορέων (κρατών και διεθνών οργανισμών) με σκοπό την παραγωγή ορισμένων νομικών αποτελεσμάτων. Η Σύμβαση της Βιέννης αποτελεί ουσιαστικά την κωδικοποίηση του εθιμικού δικαίου που ίσχυε, ενώ προστέθηκαν και νέοι κανονισμοί. Η Διεθνής Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών με πρωτοβουλία της Επιτροπής Διεθνούς Δικαίου υιοθέτησε την Σύμβαση του 1986 για το δίκαιο των συνθηκών μεταξύ κρατών και διεθνών οργανισμών, η οποία είναι εξίσου έγκυρη με την Σύμβαση της Βιέννης (Ρούκουνας, 2011).

Το γεγονός ότι στον τομέα του περιβάλλοντος οι διμερείς συνθήκες έχουν περιορισμένη εφαρμογή οφείλεται στο ότι ο σημαντικότερος ίσως παράγοντας για την αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος είναι η συλλογικότητα. Συνεπώς, οι διμερείς συνθήκες, που αφορούν δηλαδή διασυνοριακές σχέσεις μικρής κλίμακας, δεν θεωρούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικές. Την ίδια στιγμή, οι διμερείς συνθήκες σπάνια αποτελούν το έναυσμα για την ύπαρξη και την αποκρυστάλλωση εθιμικών κανόνων διεθνούς εμβέλειας και την ανάπτυξη ενός διεθνούς δικαίου (Naskou-Perraki, 2011).

Σύμφωνα με τον Ρούκουνα (2011), ο αριθμός των διεθνών νομικών πράξεων σχετικών με το περιβάλλον, των διμερών ή πολυμερών συμβάσεων, των ιδρυτικών πράξεων διεθνών οργανισμών, των συνθηκών και άλλων διεθνών πράξεων μη νομικά δεσμευτικών είναι 900 και αυξάνεται. Η πλειονότητα των παραπάνω, πέραν εκείνων που κατοχυρώνουν τα περιβαλλοντικά δικαιώματα ως συστατικό στοιχείο των θεμελιωδών ανθρωπίνων δικαιωμάτων, χαρακτηρίζονται από μια γενικότερη ευελιξία και εμπίπτουν στο λεγόμενο «*ήπιο δίκαιο*» (soft law) (Ρούκουνας, 2011). Είχε υπολογιστεί ότι στις αρχές του 2000 υπήρχαν περισσότερες από 3.240 διεθνείς συμβάσεις που αφορούν στο περιβάλλον (Παναγόπουλος, 2004) και περισσότερες από 1.000 διεθνείς συμβάσεις (Kiss & Shelton, 1995) γενικότερα, οι οποίες περιέχουν περιβαλλοντικές ρυθμίσεις, χωρίς να έχουν έναν αμιγώς περιβαλλοντικό χαρακτήρα. Τα παραπάνω καθιστούν σαφές το ενδιαφέρον της διεθνούς κοινότητας για την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, πάντα υπάρχει ένα χάσμα μεταξύ των πρωτοβουλιών της διεθνούς κοινότητας και του τελικού αντικρίσματος που αυτές έχουν στην προστασία του περιβάλλοντος.

Εν μέρει, αυτό ίσως οφείλεται στην έλλειψη πολιτικής βούλησης για τη θέσπιση αυστηρών κανόνων και τον αυστηρό έλεγχο της εφαρμογής τους. Στο πλαίσιο αυτό, ιδιαίτερη σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο οι διεθνείς συνθήκες ενσωματώνονται στις επιμέρους έννομες τάξεις των συμμετεχόντων. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα μπορούσε να συμβάλει καθοριστικά στην προστασία του περιβάλλοντος τόσο εξασφαλίζοντας αποτελεσματικότερη εφαρμογή των διεθνών συνθηκών στις οποίες συμμετέχει όσο και συμμετέχοντας στην περαιτέρω εξέλιξη του διεθνούς δικαίου, ως θεσμικά κατοχυρωμένη οντότητα (Κατσάνος, 2017).

Η νομοθεσία για το περιβάλλον τόσο σε Διεθνές όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο διέπεται από τις εξής αρχές:

- Αρχή της πρόληψης
- Αρχή της προφύλαξης
- Αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης (αρχή της αειφορίας)
- Αρχή της ήπιας ανάπτυξης των ευπαθών οικοσυστημάτων
- Αρχή της φέρουσας ικανότητας των οικοσυστημάτων

- Αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»
- Αρχή της συμμετοχής και πληροφόρησης

1.4.1 Συμφωνίες για την Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή των τελευταίων δεκαετιών έχει αποδειχθεί ότι προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και την απελευθέρωση ανθρωπογενών αερίων στην ατμόσφαιρα. Αναμφίβολα, πρόκειται για ένα ολιστικό πρόβλημα με εμφανείς τις επιπτώσεις του. Συνεπώς, η διεθνής κοινότητα έχει κινητοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό ως προς την ανάπτυξη ενός σχετικού διεθνούς δικαίου. Κάποιες από τις συμφωνίες που αφορούν στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής είναι (Κατσάνος, 2017):

- Η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC)

Η σύμβαση αυτή, η οποία αποτελεί πρωτοβουλία του ΟΗΕ και υπογράφηκε το 1992, είναι αποτέλεσμα της Παγκόσμιας Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον. Η κλιματική αλλαγή ήταν ένας από τους κύριους άξονες συζήτησης που απασχόλησαν τη διάσκεψη. Άλλοι άξονες ήταν η προστασία της βιοποικιλότητας, η καταπολέμηση της ερημοποίησης και η προστασία της στιβάδας του όζοντος. Η κλιματική αλλαγή ήταν μέχρι πολύ πρόσφατα ο άξονας στον οποίο η διάσκεψη σημείωσε τη μικρότερη επιτυχία σε σύγκριση με τους άλλους άξονες. Λόγω αυτού, δημιουργήθηκε η ανάγκη για νέες δράσεις, οι οποίες υιοθετήθηκαν κάποια χρόνια μετά στο Παρίσι, το 2015.

Κύριος στόχος της παρούσας σύμβασης ήταν η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Το παραπάνω τέθηκε ως ειδικός στόχος για τη συνεργασία και την ενημέρωση μεταξύ των κρατών, χωρίς ωστόσο να αναφέρεται ένα πιο συγκεκριμένο ποσοστό.

- Το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997) και η Τροποποίηση της Ντόχα (2012)

Το πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί την πρώτη συμφωνία στην οποία τέθηκαν συγκεκριμένοι και ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση των επιβλαβών ανθρωπογενών αερίων, που αφορούσαν όμως μόνο τις βιομηχανικές χώρες. Υπογράφηκε το 1997 στην Ιαπωνία μετά τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Βερολίνο, 1995). Οι εκπομπές του 1990 χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτης αναφοράς και ως στόχος τέθηκε η μείωση των βασικών αερίων κατά 5% μεταξύ των ετών 2008 και 2012. Με το Πρωτόκολλο του Κιότο τέθηκαν ξεχωριστοί στόχοι μείωσης για κάθε κράτος, ανάλογα με το επίπεδο ανάπτυξης και τις ανάγκες του κάθε συμβαλλόμενου μέρους. Προτάθηκαν διάφορες εθνικές πολιτικές μείωσης των εκπομπών, όπως η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και της συνεργασίας μεταξύ των μερών, συμπεριλαμβανομένης της ανταλλαγής πληροφοριών και τεχνογνωσίας.

- Η Συμφωνία των Παρισίων (2015)

Η συμφωνία υπογράφηκε στη Διάσκεψη των Μερών (COP21) (United Nations, 2016) στο πλαίσιο της UNFCCC. Με την συμφωνία αυτή αναγνωρίζεται ότι κάθε κράτος θα πρέπει να συνεισφέρει στο πλαίσιο των δυνατοτήτων του, καθώς έχει αποδειχθεί ότι οι μονομερείς δεσμεύσεις δεν λειτουργούν. Ως μακροπρόθεσμος στόχος τέθηκε ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας σε επίπεδα κάτω των 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα (UNFCCC, 2016).

Με βάση τις κοινές αλλά διαφοροποιημένες ευθύνες, κάθε χώρα έθεσε τους δικούς της συγκεκριμένους στόχους για το επίπεδο των εκπομπών και την μείωσή τους, από τους οποίους προκύπτουν οι λεγόμενες εθνικές δεσμεύσεις. Με άλλα λόγια, οι δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών ισχύουν τόσο για τις αναπτυγμένες όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά πάντα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των χωρών αυτών, τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και τις αναπτυξιακές τους ανάγκες. Όσον αφορά στους ελεγκτικούς μηχανισμούς

εφαρμογής της συμφωνίας και διασφάλισης της συμμόρφωσης των κρατών μελών, έχει συσταθεί ειδική επιτροπή εμπειρογνομόνων για τη διενέργεια ετήσιων ελέγχων (UNFCCC, 2016)

Η συνεισφορά του πρωτογενούς τομέα στις συμφωνίες για το περιβάλλον επιτυγχάνεται μέσω της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ), η οποία στοχεύει στην (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2023):

- Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
- Προστασία των φυσικών πόρων
- Αύξηση της βιοποικιλότητας

Για παράδειγμα, στο πλαίσιο επίτευξης των παραπάνω στόχων, η βιολογική γεωργία και η υπεύθυνη διαχείριση των εισροών υποστηρίζονται και προωθούνται από την ΚΑΠ. Μέσω αυτής, σκοπός είναι να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι με κοινωνικά και οικονομικά βιώσιμο τρόπο ταυτόχρονα για τους γεωργούς, τις αγροτικές κοινότητες και την ΕΕ γενικότερα.

Εκτιμάται ότι συνολικά δαπανήθηκαν 104 δισεκατομμύρια ευρώ (ή 25%) της χρηματοδότησης της ΚΑΠ για την περίοδο 2014-20 για δράσεις αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, όπως:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (βελτίωση του τομέα της κτηνοτροφίας και προώθηση των επενδύσεων σχετικά με την αποθήκευση και την διαχείριση της κόπρου)
- Ενίσχυση της δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (πχ, διατήρηση του εδάφους και αναδάσωση)
- Συμβουλευτική υποστήριξη για νέες μεθόδους και τεχνολογίες

Στα πλαίσια εφαρμογής των παραπάνω μέτρων, οι εκπομπές που προέρχονται από τον γεωργικό τομέα μειώθηκαν κατά 21% στην περίοδο 1990 έως 2017. Η νέα ΚΑΠ 2023-27 περιλαμβάνει περαιτέρω στήριξη για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και προωθεί τον στόχο της κλιματικής δράσης της Πράσινης Συμφωνίας για την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ολόκληρη την ΕΕ έως το 2050. Δηλαδή όσα CO₂ eq εκπέμπονται, άλλα τόσα πρέπει να δεσμεύονται.

1.4.2 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – LRTAP

Η Σύμβαση του 1979 για τη Διαμεθοριακή Ρύπανση της Ατμόσφαιρας σε Μεγάλη Απόσταση (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution - LRTAP), αποτελεί την πρώτη πολυμερή συμφωνία για την διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση. Στο πλαίσιο αυτής δημιουργήθηκε ένα περιφερειακό πλαίσιο που εφαρμόζεται στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, την Ρωσία και τις χώρες του πρώην Ανατολικού Μπλοκ. Η LRTAP συνέβαλε σε σημαντική μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Η LRTAP αποτελεί σύμβαση της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE). Οι Ηνωμένες Πολιτείες προσχώρησαν στη Σύμβαση το 1981.

Η LRTAP σημείωσε μια σειρά επιτυχιών τα τελευταία χρόνια. Το 2012, οι συμμετέχοντες ενέκριναν τροποποιήσεις τόσο του πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ όσο και του πρωτοκόλλου που αφορά τα βαρέα μέταλλα. Οι τροποποιήσεις του Πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ περιλάμβαναν επικαιροποίηση των στόχων για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών ρύπων, καθώς και νέα μέτρα, σχετικά με τον μαύρο άνθρακα. Οι τροποποιήσεις αυτές εισήγαγαν επίσης μεγαλύτερη ευελιξία στον τρόπο εφαρμογής των υποχρεώσεων των μελών, χωρίς να μειωθεί η αποτελεσματικότητά τους (US Department of State, 2023).

1.5 Στόχος της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο αναγνώστης να αποκτήσει μια γενική εικόνα της ανασκόπησης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας σχετικά με την εφαρμογή της μεθοδολογίας AKZ, με σκοπό τον προσδιορισμό της περιβαλλοντικής και οικονομικής επίδοσης κτηνοτροφικών

συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία εστιάζει στην εφαρμογή της μεθοδολογίας σε χοιροτροφικά συστήματα.

2 Γενική περιγραφή σταδίων περιβαλλοντικής και οικονομικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

2.1 Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής

2.1.1 Στάδια

Η AKZ είναι μια συστηματική διαδικασία που αποτελείται από τέσσερα στάδια (Wolf κ.ά., 2012):

- προσδιορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope Definition),
- απογραφική ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory Analysis - LCI)
- αποτίμηση επιπτώσεων (Life Cycle Impact Assessment - LCIA) και
- ερμηνεία αποτελεσμάτων (Results Interpretation).

2.1.1.1 Προσδιορισμός του στόχου και του πεδίου εφαρμογής

Πρώτο στάδιο της διαδικασίας της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι ο προσδιορισμός του στόχου και του πεδίου εφαρμογής της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το στάδιο προσδιορίζονται τα όρια του πεδίου αυτού, ο λόγος διεξαγωγής της μελέτης, οι λειτουργικές μονάδες που θα χρησιμοποιηθούν, οι αντικειμενικοί στόχοι, η ποιότητα των δεδομένων, το προβλεπόμενο κοινό στο οποίο θα απευθυνθεί η μελέτη, καθώς και ο τρόπος διάδοσης των αποτελεσμάτων της. Σε αυτό το στάδιο επίσης προσδιορίζεται η διάρκεια της AKZ, οι απαιτούμενοι οικονομικοί πόροι και το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό. Μία μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής μπορεί να περιέχει απλοποιήσεις και παραδοχές, στο σημείο που αυτές δεν επιφέρουν σημαντική αλλοίωση στα απορρέοντα αποτελέσματα (Μουσιόπουλος κ.ά., 2015; Wolf κ.ά., 2012).

Οι αποφάσεις που πρόκειται να ληφθούν βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής, δηλαδή ο λόγος διεξαγωγής της και η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της καθορίζουν τους αντικειμενικούς στόχους της. Επίσης, είναι απαραίτητο να οριστεί κατά, την εκκίνηση της διαδικασίας, με σαφήνεια το είδος των απαιτούμενων πληροφοριών για την διεξαγωγή της μελέτης. Βασική πτυχή των αντικειμενικών στόχων της AKZ είναι το αν τα αποτελέσματα της θα αξιοποιηθούν, για παράδειγμα, για την βελτίωση μιας παραγωγικής διαδικασίας ως προς την περιβαλλοντική επίδοση ενός προϊόντος της ή το αν θα αξιοποιηθούν υποστηρικτικά ως προς την λήψη άλλων αποφάσεων, ακόμη και πολιτικών.

Οι λειτουργικές μονάδες πρέπει να καθορίζονται πλήρως, να είναι συγκρίσιμες, ακριβείς, μετρήσιμες και σχετικές με τις εισροές και εκροές του συστήματος, καθώς αποτελούν μέτρο της απόδοσης του συστήματος.

Στην περίπτωση που σκοπός μιας AKZ είναι η σύγκριση της περιβαλλοντικής επίδοσης δύο προϊόντων, τα κριτήρια σύγκρισης θα πρέπει να είναι ισοδύναμα. Για παράδειγμα, όταν χρειάζεται να προσδιοριστεί η ποσότητα καθαριστικών που απαιτείται για να καθαριστεί ένας συγκεκριμένος χώρος, ως λειτουργική μονάδα μπορεί να οριστεί το m² και όλα τα μεγέθη ανάγονται σε αυτό (Μουσιόπουλος κ.ά., 2015).

Ο καθορισμός των ορίων ενός συστήματος είναι μία υποκειμενική διαδικασία αφού σε αυτό το βήμα εμπλέκονται διάφοροι παράγοντες, όπως τα γεωγραφικά όρια της AKZ και του αντικειμένου της, ο κύκλος ζωής του εκάστοτε προϊόντος, ο βαθμός της απαιτούμενης ακρίβειας και άλλοι.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η τήρηση πλήρους διαφάνειας κατά την διαδικασία του προσδιορισμού των ορίων του συστήματος καθώς και κατά τον καθορισμό υποθέσεων και παραδοχών. Ωστόσο, πολλές φορές λόγω έλλειψης χρόνου, πόρων ή λόγω παράλληλης παραγωγής περισσότερων από δύο προϊόντων κατά την λειτουργία ενός συστήματος, είναι δύσκολος ο καθορισμός των εισροών και εκροών, οπότε θα πρέπει να ληφθούν σημαντικές αποφάσεις σχετικά με το ποιες διαδικασίες θα μοντελοποιηθούν. Στις περιπτώσεις που παραλείπονται κάποια από τα στάδια του κύκλου ζωής ή τίθενται κάποιες παραδοχές, όπως

αναφέρθηκε παραπάνω, θα πρέπει να υπάρχει πλήρης αιτιολόγηση, να μην αλλοιώνονται τα αποτελέσματα και να είναι πλήρως καθορισμένοι οι στόχοι της μελέτης. Για παράδειγμα, μια διαδικασία που συχνά παραλείπεται κατά τον καθορισμό των ορίων ενός σχετικού συστήματος είναι η διαδικασία της απόρριψης των παραγόμενων λυμάτων.

2.1.1.2 Ανάλυση απογραφής κύκλου ζωής

Στο στάδιο της ανάλυσης απογραφής κύκλου ζωής γίνεται η απογραφή όλων των δεδομένων εισόδου και εξόδου από το σύστημα, δηλαδή δημιουργείται ένα απόθεμα σχετικών εισροών και εκροών. Με άλλα λόγια, στο στάδιο αυτό καταγράφονται τα βασικά και τα βοηθητικά εργαλεία, οι πηγές ενέργειας και, γενικά, οι πόροι που καταναλώθηκαν (εισροές), καθώς και οι εκπομπόμενοι ρύποι, τα κύρια και δευτερεύοντα παραγόμενα προϊόντα κτλ (εκροές). Σύμφωνα με το πρότυπο 14041 (1998), στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται:

- Δημιουργία διαγράμματος ροής
- Συλλογή δεδομένων
- Χρήση των δεδομένων
- Μέθοδοι κατανομής περιβαλλοντικών φορτίων
- Υπολογισμός των περιβαλλοντικών φορτίων
- Αναγνώριση των σημαντικότερων σταδίων της ζωής του προϊόντος με βάση τα περιβαλλοντικά φορτία.

Δημιουργία διαγράμματος ροής

Εφαρμόζεται από την έναρξη των μελετών ΑΚΖ και συνεχίζουν να εφαρμόζονται μέχρι σήμερα. Το διάγραμμα ροής αποτελεί μία ποιοτική γραφική απεικόνιση όλων των περιλαμβανόμενων διεργασιών στον κύκλο ζωής του συστήματος ενδιαφέροντος. Χρήσιμο είναι να περιλαμβάνει μόνο τα σχετικά στάδια του κύκλου ζωής και όχι άλλα που βρίσκονται έξω από τα όρια του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα απεικονίζεται σαν ένα κουτί, του οποίου το περίγραμμα καθορίζει τα όριά του και το διαχωρίζει από τον περιβάλλοντα χώρο. Μέσα σε αυτό απεικονίζονται όλες οι σχετικές διεργασίες που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής του συστήματος.

Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων θεωρείται ως το σημαντικότερο και πιο απαιτητικό κομμάτι του σχεδιασμού μιας ΑΚΖ, ειδικά όταν απαιτείται συλλογή δεδομένων ξεχωριστά για κάθε μία από τις εξεταζόμενες διεργασίες του συστήματος. Είσοδος του κάθε ενός από τα καθορισμένα υποσύστημα είναι η έξοδος μιας διεργασίας που είχε προηγηθεί και αντίστοιχα η δική του έξοδος αποτελεί την είσοδο για την διεργασία που έπεται. Αντίστοιχα, υπολογίζονται όλες οι εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές, και ποσοτικοποιούνται οι συνολικές ροές μάζας και ενέργειας. Για να γίνει σωστά η συλλογή δεδομένων, είναι απαραίτητο να υπάρχουν και δεδομένα σχετικά με τις πρώτες ύλες που αφορούν τα εισρεόμενα υλικά. Ωστόσο, συχνά τέτοια δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα.

Χρήση δεδομένων

Σχετικά με αυτό το στάδιο της ΑΚΖ δεν υπάρχει κάποια επίσημη μέθοδος τυποποίησης. Κάποιες γενικές οδηγίες είναι αυτά να παρουσιάζονται με έναν τυποποιημένο τρόπο, ώστε να είναι συγκρίσιμα και επεξεργάσιμα.

Μέθοδοι κατανομής περιβαλλοντικών φορτίων

Όσο πιο πολύπλοκο γίνεται ένα σύστημα, τόσο πιο δύσκολη είναι η διαχείριση των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το τοπίο των εκροών στα

όρια του συστήματος γίνεται λιγότερο σαφές. Υπάρχουν δύο τρόποι για να αντιμετωπιστεί αυτό:

- 1) Με την επέκταση των ορίων του συστήματος, ώστε να μπορούν να συμπεριληφθούν όλες οι εκροές και οι εισροές, και
- 2) Με την ανάθεση των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε καθορισμένα στάδια εντός των ορίων του συστήματος. Η επέκταση των ορίων του συστήματος δεν είναι μόνο πολύ δαπανηρή όσον αφορά διαδικασίες όπως η συλλογή δεδομένων, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και η ανάλυση των επιπτώσεων, αλλά ενέχει επίσης τον κίνδυνο να καταστεί το σύστημα υπερβολικά πολύπλοκο. Συνεπώς, η κατανομή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι προτιμότερη από την επέκταση των ορίων του συστήματος.

Είναι σύνηθες να προκύπτουν ζητήματα κατανομής των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ διαφορετικών κοινών εισροών και εκροών. Για παράδειγμα, όταν υπάρχουν διάφορα προϊόντα στο σύστημα, όπως όταν μια γαλακτοβιομηχανία παράγει παράλληλα γάλα και γιαούρτι, ή όταν υπάρχουν κοινά συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων για διάφορα στάδια επεξεργασίας, ή όταν το σύστημα περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα κύκλωμα ανακύκλωσης. Όταν υπάρχουν τουλάχιστον δύο προϊόντα στο σύστημα, η κατανομή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ τους θα γίνεται σύμφωνα με την αναλογία της μάζας τους στο σύστημα. Δεύτερον, όταν τα απόβλητα από όλα τα στάδια της βιομηχανικής παραγωγής επεξεργάζονται σε ένα κοινό στάδιο, η κατανομή των ρύπων από αυτή τη διαδικασία θα γίνεται σύμφωνα με τη μάζα τους. Εάν το σύστημα περιέχει τουλάχιστον έναν ανοικτό βρόχο ανακύκλωσης, αυτός αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστό υποσύστημα εντός του κύριου συστήματος. Ωστόσο, εάν υπάρχουν περισσότεροι του ενός βρόχοι ανακύκλωσης εντός του συστήματος, ο καθένας θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστή οντότητα.

Σε κάθε περίπτωση, η μεθοδολογία κατανομής πρέπει να είναι λογική, συστηματική, σχετική με το αντικείμενο της μελέτης και να τεκμηριώνεται και να εξηγείται στην τελική έκθεση (ISO 14041, 1998).

2.1.1.3 Ανάλυση επιπτώσεων

Κατά τη διάρκεια του σταδίου LCIA, τα δεδομένα που αντλήθηκαν από το στάδιο LCI κατατάσσονται στις κατηγορίες επιπτώσεων που ορίστηκαν στο στάδιο του προσδιορισμού στόχου.

Το τρίτο στάδιο της ανάλυσης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος είναι η εκτίμηση και η ανάλυση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Η εκτίμηση των επιπτώσεων είναι μια ποιοτική και ποσοτική διαδικασία, η οποία προκύπτει από έναν κατάλογο δεδομένων και χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία που μπορεί να προκύψουν από την παραγωγή ενός προϊόντος. Η εκτίμηση επιπτώσεων αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα (Μουσιόπουλος κ.ά., 2015):

- Ταξινόμηση,
- Χαρακτηρισμός,
- Αξιολόγηση

Ταξινόμηση

Σε αυτό το στάδιο κατηγοριοποιούνται οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εισροές και εκροές ενέργειας και υλικών στο σύστημα. Ωστόσο, μια δεδομένη περιβαλλοντική επίπτωση μπορεί να προκαλεί περισσότερες από μία επιπτώσεις, για παράδειγμα η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα συμβάλλει τόσο στην εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών πόρων όσο και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ή τα NOx συμβάλλουν τόσο στον ευτροφισμό όσο και στην οξίνιση.

Χαρακτηρισμός

Αυτό το τρίτο στάδιο της AKZ ποσοτικοποιεί τις επιπτώσεις και συγκεντρώνει εκείνες που ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις για τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων (π.χ. μοντελοποίηση της έκθεσης και των επιπτώσεων, χρήση ισοδύναμων όρων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων). Για να διευκολυνθεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων από διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, σε αυτό το στάδιο το σύνολο δεδομένων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων κανονικοποιείται με βάση το πραγματικό μέγεθος της επίπτωσης που εμπίπτει στην εν λόγω κατηγορία (Μουσιόπουλος κ.ά., 2015).

Αξιολόγηση

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται προσπάθεια να διασφαλιστεί ότι οι διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων είναι κατάλληλα σταθμισμένες και συγκρίσιμες μεταξύ τους. Στην ουσία, η διαδικασία αξιολόγησης πραγματοποιείται με την ιεράρχηση και τη σύγκριση των κατηγοριών επιπτώσεων, έτσι ώστε, για παράδειγμα, ένα σύστημα που προκαλεί οξίνιση να μπορεί να συγκριθεί με ένα άλλο σύστημα που προκαλεί αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Οι προσεγγίσεις που υιοθετούνται για την όσο το δυνατόν πιο ορθολογική επίλυση των προβλημάτων μπορεί να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές. Στην ποσοτική διαδικασία, χρησιμοποιούνται ορισμένοι συντελεστές για να προκύψει ένα τελικό άθροισμα των επιπτώσεων. Στην ποιοτική προσέγγιση των προβλημάτων, δεν γίνονται υπολογισμοί ή μετρήσεις, αλλά τίθενται προτεραιότητες ανάλογα με το δημόσιο συμφέρον (Μουσιόπουλος κ.ά., 2015).

2.1.1.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Τέλος, στο στάδιο της ερμηνείας χρησιμοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας και άλλα εργαλεία για να εξεταστούν οι υποθέσεις που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα στάδια. Είναι σαφές πως η διαδικασία LCA επαναλαμβάνεται και όταν, για παράδειγμα, νέα δεδομένα καθίστανται διαθέσιμα ή εντοπίζεται ένα κενό στα απαιτούμενα (Klöpffer, 2006). Όταν μια μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με τις περιβαλλοντικές επίδοσης ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, απαιτεί συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα (ISO 14040, 2006) (McAuliffe κ.ά., 2016).

2.1.2 Μεθοδολογίες

2.1.2.1 ISO 14040

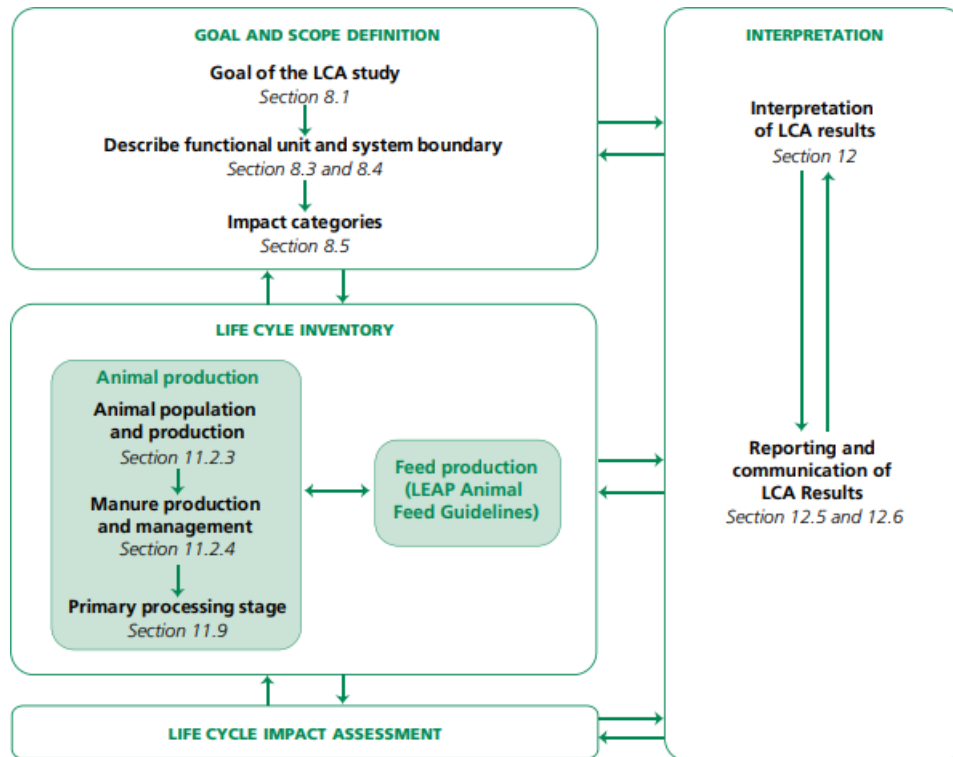
Τα πρότυπα ISO 14040-43 αναφέρονται στην AKZ ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και περιγράφουν τα στάδια που εφαρμόζονται για την πλήρη διεξαγωγή μιας AKZ. Πιο συγκεκριμένα (Mousiopoulos κ.ά., 2016):

- ISO 14040: Αρχές και οριοθέτηση συστήματος,
- ISO 14041: Προσδιορισμός σκοπού και στόχου και απογραφή δεδομένων,
- ISO 14042: Αποτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life cycle impact assessment),
- ISO 14043: Ερμηνεία αποτελεσμάτων.

Το πρότυπο ISO 14040:2006 ορίζει τα τέσσερα στάδια μια μελέτης AKZ:

- Προσδιορισμός του στόχου και του πεδίου εφαρμογής, καθώς και των αντίστοιχων δεικτών/μετρήσεων για τα αέρια του θερμοκηπίου, την ποσότητα των αποβλήτων κτλ,
- Απογραφική ανάλυση του κύκλου ζωής - συλλογή δεδομένων σχετικά με τις εισροές και τις εκροές του συστήματος,
- Αποτίμηση επιπτώσεων με χρησιμοποίηση κοινών δεικτών και μονάδων μέτρησης/αναφοράς,

- Ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 6 Σχηματική αναπαράσταση των σταδίων μιας ανάλυσης κύκλου ζωής με βάση το πρότυπο ISO 14040:2006, με αναφορά στις σχετικές οδηγίες του FAO (FAO, 2020).

Στο πρότυπο ISO 14044 αναφέρονται οι ακόλουθες κατευθυντήριες γραμμές, οι οποίες μπορούν να ακολουθηθούν σε μια πολυπαραγοντική ανάλυση κύκλου ζωής:

- Βήμα 1: Η κατανομή θα πρέπει να αποφεύγεται όπου είναι δυνατόν μέσω:
 - i) διαίρεσης της λειτουργικής μονάδας σε δύο ή περισσότερες υποδιαδικασίες και τη συλλογή των δεδομένων εισροών και των εκροών που σχετίζονται με αυτές τις υπομονάδες ή
 - ii) επέκταση του συστήματος προϊόντων, ώστε να περιλαμβάνει και τις πρόσθετες λειτουργίες που σχετίζονται με τα συμπροϊόντα.
- Βήμα 2: Όταν δεν είναι εφικτό να αποφευχθεί η κατανομή, οι εισροές και οι εκροές του συστήματος θα πρέπει να κατανεμηθούν μεταξύ των διαφόρων προϊόντων ή λειτουργιών του συστήματος, με τέτοιο τρόπο ώστε να καθίσταται σαφής η φυσική σύνδεση μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να αποτυπώνεται το κατά ποσό οι εισροές και οι εκροές επηρεάζονται από ποσοτικές μεταβολές στα προϊόντα ή τις λειτουργίες του συστήματος. Όπως αναφέρεται στο πρότυπο ISO 14040: "Η απογραφική ανάλυση βασίζεται στα ισοζύγια μεταξύ εισροών και εκροών".
- Βήμα 3: Όταν η φυσική σύνδεση που αναφέρθηκε παραπάνω δεν μπορεί να καθοριστεί ή να χρησιμοποιηθεί ως κοινή βάση μεταξύ των προϊόντων και των λειτουργιών του συστήματος, καλό είναι να αντανακλάται οποιαδήποτε άλλη σύνδεση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, οι εισροές και οι εκροές θα μπορούσαν να κατανεμηθούν μεταξύ των συμπροϊόντων με βάση την οικονομική τους αξία.

Στις περιπτώσεις που απαιτείται κατανομή των εισροών οι διαδικασίες κατανομής πρέπει να ακολουθούν την ιεραρχία κατανομής του προτύπου ISO 14044. Μια τέτοια περίπτωση είναι η κατανομή της ενέργειας μεταξύ των προϊόντων κρέατος που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και των προϊόντων που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Όταν οι επιλογές κατανομής μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα, πρέπει να

πραγματοποιείται ταυτόχρονα ανάλυση ευαισθησίας, ώστε να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των συμπερασμάτων.

Κάποιες κοινές διαδικασίες για την διαχείριση πολυλειτουργικών διεργασιών είναι:

- χρήση ισοζυγίων υλικών ή ενέργειας,
- φυσικές ιδιότητες, όπως η μάζα ή η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες
- οικονομικές αξίες.

Όταν διεξάγεται μια ανάλυση κύκλου ζωής, βάσει του ISO 14044, αυτή πρέπει να χαρακτηρίζεται από (FAO, 2020):

- αντιπροσωπευτικότητα: ποιοτική αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο το σύνολο των δεδομένων αντικατοπτρίζει τον πραγματικό πληθυσμό ενδιαφέροντος. Η αντιπροσωπευτικότητα εξαρτάται από τις κάτωθι πτυχές:
 - α. χρονική - ηλικία των δεδομένων και χρονική διάρκεια της συλλογής τους,
 - β. γεωγραφική - η περιοχή από την οποία συλλέχθηκαν τα δεδομένα και
 - γ. τεχνολογία – χρησιμοποιούμενη τεχνολογία,
- ακρίβεια: ο βαθμός της μεταβλητότητας των τιμών των δεδομένων για κάθε δεδομένο (τυπική απόκλιση),
- πληρότητα: ποσοστό των δεικτών που έχουν υπολογιστεί/συνεκτιμηθεί,
- συνέπεια: ποιοτική αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο εφαρμόζεται ομοιόμορφα η μέθοδος μελέτης στις διάφορες συνιστώσες,
- δυνατότητα αναπαραγωγής: ποιοτική αξιολόγηση του βαθμού στον οποίο οι πληροφορίες σχετικά με τη μέθοδο και τις τιμές των δεδομένων θα επέτρεπαν την αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων,
- πηγές δεδομένων,
- αβεβαιότητα ως προς τα δεδομένα, τα μοντέλα και τις παραδοχές.

2.1.2.2 Μεθοδολογία EU-PEF

Τον Δεκέμβριο του 2021, η Κομισιόν εξέδωσε αναθεωρημένες συστάσεις σχετικά με τη χρήση των μεθόδων προσδιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Αυτό αποσκοπούσε στο να βοηθηθούν οι ιδιωτικοί φορείς στον υπολογισμό των περιβαλλοντικών τους επιδόσεων με βάση αξιόπιστες και συγκρίσιμες πληροφορίες. Ταυτόχρονα, δόθηκε με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα σε δημόσιους φορείς (δημόσιες διοικήσεις, ΜΚΟ κτλ) να έχουν πρόσβαση στις παραπάνω πληροφορίες. Το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής έχει ως ρόλο την παρακολούθηση των επιστημονικών και μη εξελίξεων, με σκοπό την διασφάλιση της αξιοπιστίας και της αμεροληψίας (European Commission, 2023).

Η περίοδος που μεσολάβησε μεταξύ του τέλους της πιλοτικής φάσης και της αρχής της φάσης πιθανής υιοθέτησης πολιτικών που εφαρμόζουν τις μεθόδους του περιβαλλοντικού αποτυπώματος προϊόντων (Product Environmental Footprint - PEF) και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος οργανισμών (Organisation Environmental Footprint - OEF), χαρακτηρίζεται ως μεταβατική και περιλάμβανε τους εξής στόχους:

- την παρακολούθηση της εφαρμογής των υφιστάμενων κανόνων στην κατηγορία περιβαλλοντικού αποτυπώματος προϊόντος (Product Environmental Footprint Category Rules - PEFCR) και των τομεακών κανόνων σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα οργανισμών (Organisation Environmental Footprint Sector Rules - OEFSR)
- σχεδιασμός και ανάπτυξη νέων PEFCR/ OEFSRs
- σχεδιασμός και ανάπτυξη νέων μεθόδων

Το Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος (European Environmental Bureau) υποστηρίζει σε μεγάλο βαθμό πτυχές στην ανάπτυξη ενός προϊόντος, όπως ο οικολογικός σχεδιασμός, η ενεργειακή σήμανση, οι πράσινες δημόσιες συμβάσεις (Green Public Procurement - GPP) και το οικολογικό σήμα, καθώς και την σχετική νομοθεσία. Όλες αυτές οι πολιτικές βασίζονται σε κάποιου είδους ανάλυση κύκλου ζωής. Στο πλαίσιο αυτό, η μεθοδολογία PEF θα μπορούσε να

βοηθήσει στην αξιοποίηση επιστημονικών δεδομένων στον σχεδιασμό και εφαρμογή των παραπάνω πολιτικών, όταν πρόκειται για ίδιες ή συγκρίσιμες κατηγορίες προϊόντων.

Ο καταγισμός των καταναλωτών με ισχυρισμούς «πράσινου μάρκετινγκ» φάνηκε ότι προκαλεί σύγχυση στους ίδιους κατά την αγοραστική διαδικασία. Ως εκ τούτου, το ΕΕΒ έθεσε τα θεμέλια για τη δοκιμή της μεθοδολογίας PEF κατά τη διάρκεια μιας τριετούς πιλοτικής φάσης κατά την διάρκεια της οποίας αναπτύχθηκαν οι λεγόμενοι Κανόνες Κατηγοριών Προϊόντων (Product Category Rules - PCRs), στοχεύοντας στην άντληση αξιόπιστων δεδομένων σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων (με εφαρμογή σε περισσότερες από 20 διαφορετικές κατηγορίες προϊόντων), με βάση ένα σύνολο μεθόδων PEF. Κατά την διάρκεια της προαναφερθείσας πιλοτικής φάσης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή απευθύνθηκε σε μεγάλο αριθμό ενδιαφερομένων, ωστόσο ένας πολύ μικρός αριθμός εξ αυτών είχαν τη δυνατότητα να παρακολουθήσουν σε βάθος την όλη διαδικασία.

Οι Κανόνες Περιβαλλοντικού Αποτυπώματος Προϊόντος (Product Environmental Footprint Category Rules - PEFCRs) έχουν ως στόχο τον προσδιορισμό των κύριων κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανά κατηγορία προϊόντος στο πλαίσιο προσέγγισης ανάλυσης κύκλου ζωής. Οι αντλούμενες πληροφορίες αποτελούν σημαντικά δεδομένα για μια τελική (συγκεντρωτική) αξιολόγηση ή σύγκριση, τόσο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τις δημόσιες αρχές όσο και από τον ιδιωτικό τομέα.

Αν και αναγνωρίζεται σε ένα βαθμό η δυνητική συμβολή της PEF στα πλαίσια των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ, αρκετοί πολέμοι της επισημαίνουν την απουσία της κοινωνικής και οικονομικής της πτυχής (European Environmental Bureau, 2018).

Όπως προαναφέρθηκε, οι PEFCR έχουν ως κύριο στόχο τον προσδιορισμό των πιο σημαντικών κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, των πιο κρίσιμων σταδίων ζωής του κύκλου ζωής, των πιο κρίσιμων διεργασιών και δραστηριοτήτων, με ταυτόχρονο «αποκλεισμό» των λιγότερο καίριων. Η σημασία κάθε παραμέτρου μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση μόνο με βάση κάποιου ορίου, μετά την υπέρβαση του οποίου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις επηρεάζουν την συνολική αξιολόγηση.

Κύριος ρόλος της τωρινής έκδοσης της μεθοδολογίας PEF είναι να αντισταθμίσει το γεγονός ότι ορισμένες κατηγορίες επιπτώσεων, π.χ η βιοποικιλότητα, δεν αποτυπώνονται αντιπροσωπευτικά στις εφαρμοζόμενες μεθόδους AKZ. Για να διασφαλιστεί ότι όλες οι σημαντικές πτυχές μιας κατηγορίας προϊόντων περιλαμβάνονται στην περιβαλλοντική της αξιολόγηση, είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν και τα σχόλια των ενδιαφερομένων μερών στη διαδικασία εντοπισμού και ιεράρχησης, πέρα από την χρήση κανονικοποιημένων και σταθμισμένων μεθοδολογιών PEF. Για τα σημεία όπου εντοπίζονται κάποια κενά, στην μεθοδολογία PEF πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και άλλα κριτήρια περιβαλλοντικής αξιολόγησης, ακόμη και αν αυτά δεν μπορούν να βασιστούν σε κάποια ποσοτική μέθοδο.

Προκειμένου να σημειωθεί περαιτέρω βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων ενός συγκεκριμένου προϊόντος, η μεθοδολογία PEF πρέπει να διασφαλίσει ότι υπάρχει δυνατότητα διαφοροποίησης. Για την χάραξη πολιτικής μπορεί να χρειάζονται συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών προϊόντων για να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τις επιπτώσεις της υποκατάστασης, για παράδειγμα, του κρέατος με χορτοφαγικά τρόφιμα. Ταυτόχρονα, οι ίδιοι οι καταναλωτές μπορεί να επιθυμούν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με συγκεκριμένα συστατικά ή ιδιότητες ενός προϊόντος ή πιστοποιήσεις. Η μεθοδολογία PEF επιτρέπει την ενσωμάτωση πρόσθετων περιβαλλοντικών πληροφοριών, οι οποίες όμως δεν λαμβάνονται υπόψη στην συνολική αξιολόγηση (European Environmental Bureau, 2018).

2.2 Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής

2.2.1 Στάδια

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής είναι μια μεθοδολογία που παρέχει μια εκτίμηση του συνολικού κόστους κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης ενός περιουσιακού στοιχείου κατά τη διάρκεια της λειτουργικής του ζωής. Στόχος της είναι η βελτιστοποίηση αυτών των δαπανών

για την επίτευξη της μέγιστης ωφέλιμης ζωής και την μεγιστοποίηση του κέρδους. Τα σχετικά κόστη περιλαμβάνουν εκείνα για κάθε μία από τις φάσεις του κύκλου ζωής του σχεδιασμού, της απόκτησης, της εγκατάστασης, της συντήρησης, της επισκευής, της αντικατάστασης, της απόσυρσης, καθώς και κάθε άλλο κόστος που συνδέεται άμεσα με την ιδιοκτησία, την λειτουργία ή την χρήση ενός περιουσιακού στοιχείου.

Ένα περιουσιακό στοιχείο περνά από πολλές φάσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Για κάθε μια από αυτές τις φάσεις, υπάρχουν κόστη που την συνοδεύουν. Η κατανόηση του πλήρους κόστους κύκλου ζωής βελτιστοποιεί την διαδικασία λήψης απόφασης και βελτιστοποιεί τα οικονομικά οφέλη. Τα διακριτά στάδια που εξετάζονται σε μια ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι (Southwest Environmental Finance Center, 2016):

- Ο Σχεδιασμός (planning και design)
- Η Εγκατάσταση (installation)
- Η Λειτουργία (operations)
- Η Συντήρηση (maintenance)
- Η Επισκευή (repair)
- Η Αντικατάσταση (rehabilitation)

Σχεδιασμός

Στην πραγματικότητα, ο σχεδιασμός (planning) αποτελεί την έναρξη του κύκλου ζωής του κάθε υπό εξέταση συστήματος. Είναι πολύ πιθανό σε αυτό το στάδιο, το υπό εξέταση σύστημα να αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου συνόλου συστημάτων και να μην είναι ένα μεμονωμένο και ανεξάρτητο σύστημα. Ένα μεμονωμένο περιουσιακό στοιχείο θα συζητηθεί εδώ, με την κατανόηση ότι τα περιουσιακά στοιχεία σχεδιάζονται γενικά συλλογικά. Είτε πρόκειται για ένα μεμονωμένο σύστημα είτε για ένα υπο-σύστημα ενός ευρύτερου συνόλου, ακολουθούνται οι ίδιες αρχές.

Ο σχεδιασμός απαιτεί προσεκτική και λεπτομερή ανάλυση τόσο των τρεχουσών όσο και των μελλοντικών αναγκών, καθώς και μια ενδελεχή αξιολόγηση του τι απαιτεί ο εκάστοτε ωφελούμενος από το συγκεκριμένο σύστημα και για πόσο χρονικό διάστημα.

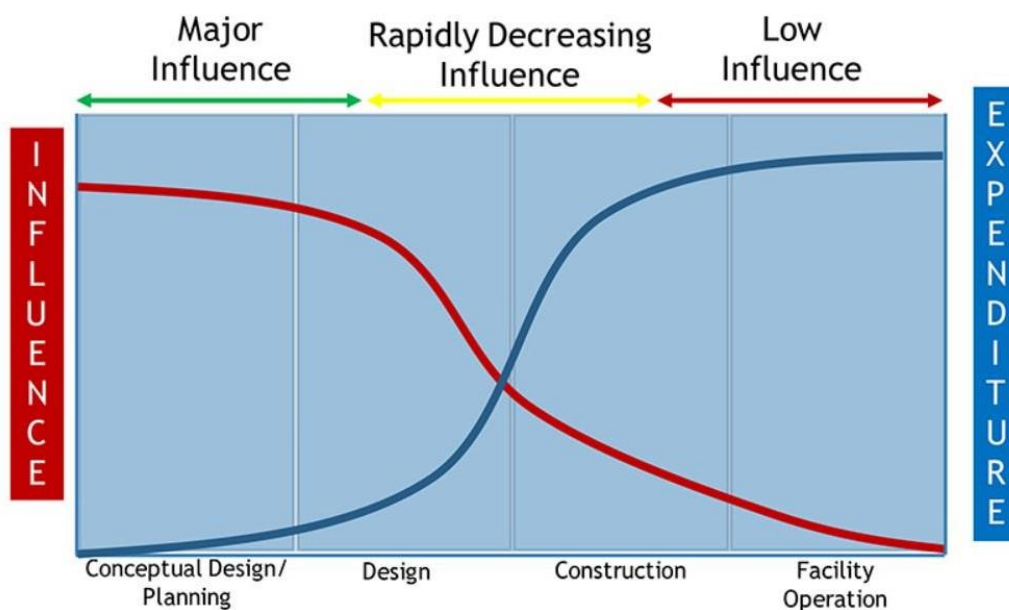
Κατά τη φάση του σχεδιασμού, θα πρέπει να συλλέγονται σχετικές πληροφορίες που θα βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων στο μέλλον. Σε αυτές τις πληροφορίες περιλαμβάνονται τα εξής:

- Ιστορικό – λεπτομέρειες σχετικά με το τι λειτούργησε καλά στο παρελθόν και τι όχι
- Περιβάλλον
- Παρεχόμενες υπηρεσίες
- Αναμενόμενα οφέλη
- Κόστος έναρξης λειτουργίας
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του
- Κόστος εξειδικευμένων εκπαιδεύσεων που μπορεί να απαιτούνται για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος
- Κόστος ανακύκλωσης/απόρριψης/παύσης λειτουργίας

Στην φάση του σχεδιασμού θα πρέπει να συνεργαστούν στελέχη από κάθε τμήμα του συστήματος. Για παράδειγμα, είναι σημαντικό να συμπεριληφθεί το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για την λειτουργία του συστήματος, καθώς αυτή η ομάδα ανθρώπων θα επιφορτιστεί με την λειτουργία και την συντήρηση του αμέσως μετά την εγκατάσταση. Η έγκαιρη συμμετοχή αυτών των ατόμων τους επιτρέπει να επισημάνουν πιθανά προβλήματα ή να προτείνουν εναλλακτικές λύσεις προτού επενδυθεί σημαντικό κεφάλαιο.

Από πολλές απόψεις, το στάδιο σχεδιασμού της διαχείρισης του κύκλου ζωής ενός συστήματος είναι ίσως το πιο σημαντικό. Αυτό είναι το μέρος της διαδικασίας όπου επιτρέπεται η μεγαλύτερη «επιρροή» με το μικρότερο κόστος. Σε αυτό το στάδιο, το σύστημα βρίσκεται μόνο σε φάση σχεδιασμού, χωρίς να έχει υλοποιηθεί μέρος του πρακτικά, γεγονός που δίνει το περιθώριο αναπροσαρμογών με μικρό κόστος.

Όπως είναι κατανοητό, είναι πολύ πιο δύσκολο να προβεί κανείς σε προσαρμογές, μετά την εγκατάσταση του συστήματος. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ο βαθμός επιρροής (δηλαδή η ικανότητα προσαρμογών) και το κόστος που σχετίζεται με την κάθε αλλαγή σε κάθε φάση (Gibson & Hamilton, 1994):



Εικόνα 7 Ικανότητα επιρροής και σχετικά κόστη σε κάθε φάση του κύκλου ζωής ενός συστήματος (Gibson & Hamilton, 1994)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται καμπύλες κόστους και επιρροής, καθώς εξελίσσονται οι φάσεις του κύκλου ζωής ενός συστήματος. Το κόστος είναι αρχικά χαμηλό και αυξάνεται καθώς το έργο προχωρά σε λειτουργία. Η καμπύλη επιρροής κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση από εξαιρετικά υψηλή στη φάση σχεδιασμού έως εξαιρετικά χαμηλή στη φάση λειτουργίας. Οι γραμμές διασταυρώνονται κατά τη φάση του σχεδιασμού.

Κατά τη φάση σχεδιασμού, αξιολογείται μια μεγάλη ποικιλία εναλλακτικών λύσεων που μπορεί να είναι ικανές να επιτύχουν ή να διατηρήσουν το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης. Ταυτόχρονα, δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης του κόστους της καθεμιάς. Είναι σημαντικό πάντα να γίνεται μια τριπλή αξιολόγηση (triple bottom line assessment) για να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη του περιουσιακού στοιχείου λαμβάνονται πλήρως υπόψη και βελτιστοποιούνται. Για παράδειγμα, δύο εναλλακτικές λύσεις μπορεί να είναι και οι δύο εφαρμόσιμες και συμβατές, αλλά η μία από αυτές να παρέχει πρόσθετα οφέλη έναντι της άλλης. Σε αυτή την περίπτωση, η εναλλακτική με τα πρόσθετα οφέλη μπορεί να είναι καλύτερη για το σύστημα. Το παραπάνω έχει ιδιαίτερη σημασία για τα λεγόμενα «green assets», δηλαδή για τα περιουσιακά στοιχεία που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με περιβαλλοντικές και βιώσιμες πρακτικές. Η αξιολόγηση αυτών των πρόσθετων πλεονεκτημάτων και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν το τριπλό τελικό αποτέλεσμα και τους συνολικούς στόχους του συστήματος μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις που λαμβάνονται. Μερικά από τα οφέλη περιλαμβάνουν τον μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών, τη βελτίωση της ποιότητας του νερού, την απορρόφηση των εκπομπών άνθρακα κτλ.

Ταυτόχρονα κατά την φάση του σχεδιασμού (design), εξετάζονται οι πιθανές λύσεις υλοποίησης του εκάστοτε συστήματος. Αυτή η φάση θα επηρεάσει όλες τις άλλες φάσεις του κύκλου ζωής του συστήματος, καθώς και τα σχετικά κόστη. Τυχόν λάθη ή προβλήματα που δεν λήφθηκαν υπόψη κατά τη φάση του σχεδιασμού θα διαρκέσουν σε όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος. Ως εκ τούτου, όπως προαναφέρθηκε, είναι και εδώ σημαντικό να συνεργαστούν υπεύθυνοι από τα διάφορα τμήματα.

Άλλες εκτιμήσεις κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού είναι οι αναμενόμενες προσφερόμενες υπηρεσίες και εάν αυτές θα ικανοποιηθούν μετά την ολοκλήρωση του έργου. Πάντα ενδέχεται να χρειαστούν αλλαγές, για αυτό είναι σημαντικό να υπάρχει το απαιτούμενο κεφάλαιο. Σε κάθε περίπτωση, οι αλλαγές σε αυτή την φάση έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος από ότι μετά την εγκατάσταση.

2.2.1.1 Εγκατάσταση

Η φάση εγκατάστασης ουσιαστικά είναι η φάση υλοποίησης του συστήματος. Η φύση του συστήματος είναι αυτή που καθορίζει το μήκος και την πολυπλοκότητα της κατασκευής και την ανάγκη για μερικά από τα πιθανά επιπλέον βήματα που αναφέρονται παρακάτω.

Για να προβεί κανείς στην υλοποίηση ενός έργου/συστήματος, πρέπει πρώτα να αναζητήσει και να εξετάσει τις σχετικές προσφορές

Συχνά υπάρχουν προβλεπόμενα πρότυπα κατασκευής, εξατομικευμένα για το εκάστοτε σύστημα. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός χοιροστασίου διαφέρει από την κατασκευή ενός πτηνοτροφείου. Σκοπός αυτών των προτύπων είναι να διασφαλίσουν ότι παρόμοια συστήματα τηρούν παρόμοιες προϋποθέσεις

Είναι λογικό πως τα πρότυπα εγκατάστασης συχνά αναθεωρούνται με βάση τις συνθήκες της εγκατάστασης. Η δυνατότητα αναθεώρησης προτύπων εγκατάστασης θα πρέπει να συζητηθεί με τους ειδικούς πριν το στάδιο παραλαβής των προσφορών, καθώς σχετικά επιπλέον κόστη πρέπει να συνυπολογιστούν.

Είναι σαφές πως η τήρηση σχετικών αρχείων από την διάρκεια της κατασκευής είναι απαραίτητη. Αυτό συνδέεται άμεσα με την ανάλυση κόστους κύκλου ζωής, καθώς, για παράδειγμα, τα εγχειρίδια χρήσης και οι εγγυήσεις του εξοπλισμού διαθέτουν πληροφορίες σχετικά με μελλοντικά κόστη συντήρησης, κόστη επισκευής κ.ά.

2.2.1.2 Λειτουργία

Ο σκοπός της φάσης λειτουργίας είναι να διασφαλιστεί ότι το σύστημα λειτουργεί όπως προβλεπόταν, εντός των προδιαγραφών σχεδιασμού, με μέγιστο χρόνο λειτουργίας μέχρι να φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του. Σε αυτή τη φάση, οι δραστηριότητες λειτουργίας εκτελούνται και παρακολουθούνται. Η συλλογή δεδομένων σε αυτή τη φάση βοηθά στη λήψη αποφάσεων για όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του συστήματος.

Οι λειτουργίες ή οι επιχειρησιακές δραστηριότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Τυπικές διαδικασίες λειτουργίας – Λειτουργίες που εκτελούνται τακτικά για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα λειτουργεί όπως αναμένεται.
- Εναλλακτικές διαδικασίες λειτουργίας – Διαδικασίες που εκτελούνται όταν το σύστημα δεν λειτουργεί με τον συνήθη τρόπο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ανάγκη συντήρησης, για παράδειγμα.
- Διαδικασίες έκτακτης ανάγκης – Αυτές οι ενέργειες χρησιμοποιούνται ως απόκριση σε ένα συγκεκριμένο γεγονός που ενέχει άμεσο κίνδυνο για το ίδιο το σύστημα ή το περιβάλλον.

Οι λειτουργίες του συστήματος μπορεί να είναι ενεργές ή παθητικές. Στην πρώτη περίπτωση, απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση ή χρήση τεχνολογίας για να ξεκινήσει/σταματήσει μια λειτουργία και να προσαρμοστεί ώστε να πληροί τις συνθήκες και τις απαιτήσεις ανά πάσα στιγμή. Για παράδειγμα, σε ένα κτηνοτροφικό σύστημα μια τέτοια λειτουργία θα μπορούσε να είναι αυτή των αντλιών.

Αντίθετα, όταν μια λειτουργία είναι παθητική, δεν απαιτεί τακτική ανθρώπινη παρέμβαση. Για παράδειγμα, σε μια κτηνοτροφική εκμετάλλευση μια παθητική λειτουργία είναι αυτή των δεξαμενών.

Βέβαια, υπάρχουν λειτουργίες με ταυτόχρονα ενεργητικό και παθητικό χαρακτήρα. Ένα παράδειγμα θα ήταν μια βαλβίδα απομόνωσης σε ένα σύστημα διανομής νερού. Η βαλβίδα είναι συνήθως σε ανοιχτή ή κλειστή θέση και λειτουργεί ως παθητικό στοιχείο αφού δεν

απαιτείται παρέμβαση για να παραμείνει σε αυτή τη θέση. Ωστόσο, εάν ο σωλήνας έσπαγε, η βαλβίδα θα έπρεπε να κλείσει με ανθρώπινη παρέμβαση. Σε αυτήν την περίπτωση, η λειτουργία θα ήταν ενεργητική.

2.2.1.3 Συντήρηση

Ο σκοπός της συντήρησης είναι να διασφαλίσει ότι το σύστημα είναι πλήρως λειτουργικό και αποδίδει βέλτιστα μέχρι να φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του. Σε αυτή τη φάση, όλες οι δραστηριότητες εκτελούνται και παρακολουθούνται. Η συλλογή δεδομένων σε αυτή τη φάση βοηθά στη λήψη αποφάσεων για όλες τις φάσεις της ζωής του συστήματος.

Η συντήρηση περιλαμβάνει εκείνες τις δραστηριότητες που βοηθούν στη διατήρηση του συστήματος σε καλή κατάσταση. Η συντήρηση εμπίπτει στις ευρείες κατηγορίες που αναφέρονται παρακάτω (Gibson & Hamilton, 1994):

- Συντήρηση ρουτίνας – τακτικά προγραμματισμένη συντήρηση, που ολοκληρώνεται βάσει χρονοδιαγράμματος ημερολογίου ή χρήσης (δηλαδή κάθε μήνα ή κάθε 1.000 ώρες χρόνου λειτουργίας). Αυτή η συντήρηση περιγράφεται σε ένα σχέδιο συντήρησης που περιλαμβάνει τις απαιτούμενες εργασίες, εργασία, υλικά κ.λπ.
- Συντήρηση μετά από πρόβλεψη – παρακολούθηση κατάστασης με σκοπό να προβλεφθεί πότε είναι πιθανό να συμβεί κάποια αστοχία. Αυτή η πρόβλεψη μπορεί να απαιτεί ειδικό εξοπλισμό, γεγονός που συνοδεύεται από σχετικά κόστη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η προγνωστική συντήρηση είναι εύκολη και ανέξοδη. Σε άλλα, μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη και δαπανηρή. Το κόστος είναι αυτό που καθορίζει ποιο είδος προγνωστικής συντήρησης είναι χρήσιμο και ο κίνδυνος είναι αυτός που καθορίζει σε ποιες περιπτώσεις έχει νόημα αυτό το είδος συντήρησης.
- Προληπτική Συντήρηση – διενεργείται για τη διατήρηση της κατάστασης λειτουργίας και την καθυστέρηση της φθοράς. Η προληπτική συντήρηση θα πρέπει να προγραμματίζεται με γνώμονα τον περιορισμό του χρόνου διακοπής λειτουργίας.
- Συντήρηση που σχετίζεται με την εγγύηση – η συντήρηση που απαιτείται για να μην ακυρωθεί η εγγύηση. Αυτή η συντήρηση θα πρέπει να εκτελείται σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα και τον τρόπο που προβλέπεται από την εγγύηση.
- Διορθωτική Συντήρηση – ολοκληρώνεται μετά την αποτυχία μιας συγκεκριμένης λειτουργίας. Είναι το αποτέλεσμα ενός απροσδόκητου συμβάντος, της έλλειψης συντήρησης ή της εφαρμογής της στρατηγικής Run-to-Failure ή Plan-to-Replace.
- Backlog Maintenance – προληπτική συντήρηση που δεν είναι ακόμη στο χρονοδιάγραμμα. Οι εκκρεμότητες αυτές μπορεί να οφείλονται σε εποχιακές δραστηριότητες ή καιρικά φαινόμενα. Ο αριθμός των εκκρεμών δραστηριοτήτων πρέπει να διατηρείται σε λογικά επίπεδα, ώστε αυτές να μπορούν τελικά να ολοκληρωθούν ως μέρος της προγραμματισμένης συντήρησης και κατά προτίμηση εντός ενός έτους (εκτός εάν η συντήρηση είναι πιο μακροπρόθεσμη από την ετήσια).

2.2.1.4 Επισκευή

Ο ορισμός της «επισκευής» σύμφωνα με το International Infrastructure Management Manual είναι: *«Εργασίες για την ανακατασκευή ή την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή ολόκληρου εξοπλισμού ενός συστήματος, για την επαναφορά του στην απαιτούμενη λειτουργική κατάσταση και την παράταση της διάρκειας ζωής του, γεγονός που μπορεί να απαιτεί κάποια τροποποίηση».*

Η αντικατάσταση μέρους ενός μηχανήματος με την αγορά ενός καινούριου εξαρτήματος μπορεί να είναι πιο ακριβή από την επισκευή του προϋπάρχοντος. Βέβαια, σε περίπτωση που συμβεί, θα πρέπει να αυξήσει το προσδόκιμο ζωής του συγκεκριμένου μηχανήματος περισσότερο από όσο θα το αύξανε η επισκευή.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ωστόσο, όπως η επένδυση των σωλήνων, η αναμενόμενη ωφέλιμη ζωή του ανασχεδιασμένου σωλήνα μπορεί να είναι σχεδόν ίση με έναν εντελώς καινούριο σωλήνα.

2.2.1.5 Αντικατάσταση

Η αντικατάσταση ορίζεται ως "η πλήρης αντικατάσταση ενός υπάρχοντος περιουσιακού στοιχείου που έχει φθάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του". Το κόστος αντικατάστασης ορίζεται ως "το συνεχές κόστος αντικατάστασης ενός υφιστάμενου περιουσιακού στοιχείου με ένα νέο, σύγχρονο ισοδύναμο περιουσιακό στοιχείο που παρέχει το ίδιο ή παρόμοιο επίπεδο ικανότητας εξυπηρέτησης".

Ο προσδιορισμός του χρόνου αντικατάστασης ενός περιουσιακού στοιχείου είναι μια πολύπλοκη απόφαση. Παράγοντες όπως το σχετικό κόστος επισκευής, ανακαίνισης και αντικατάστασης και η διάρκεια ζωής του αντικατασταθέντος περιουσιακού στοιχείου σε σύγκριση με τη διάρκεια ζωής μετά την επισκευή ή την ανακαίνιση είναι σημαντικοί για τη λήψη αυτής της απόφασης.

Χρησιμοποιώντας μια ανάλυση κόστους κύκλου ζωής του συστήματος, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί πότε ένα περιουσιακό στοιχείο πρέπει να επισκευαστεί, να ανακαινιστεί ή να αντικατασταθεί για να βελτιστοποιηθεί η διάρκεια ζωής του και να ελαχιστοποιηθεί το κόστος. Για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος, πρέπει να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ λειτουργίας, συντήρησης και αντικατάστασης. Εάν τα περιουσιακά στοιχεία αναλώνονται σωστά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, η αντικατάσταση μπορεί να αποφευχθεί. Ωστόσο, εάν η αντικατάσταση είναι πιο συχνή, είναι επιθυμητό να δαπανάται λιγότερα για συντήρηση και επισκευή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, η αντικατάσταση είναι πολύ πιο δαπανηρή, οπότε η πιο αποτελεσματική στρατηγική είναι αυτή που επικεντρώνεται κυρίως στη συντήρηση και όχι στην αντικατάσταση.

2.2.2 Μεθοδολογίες

Σκοπός μιας ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Costing ή LCC) είναι ο προσδιορισμός του συνολικού κόστους ενός έργου (υπηρεσίας, προϊόντος κτλ) καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του και της αποδοτικότητας κόστους εναλλακτικών έργων, με σκοπό την παροχή πληροφορίας για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και αξιολόγησης (Norris, 2001). Η LCC είναι μια μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης στο πλαίσιο της οποίας συνυπολογίζονται όλες οι δαπάνες και οι ταμειακές ροές που προκύπτουν για όσο διαρκεί ένα έργο (υπηρεσία, προϊόν κτλ) (Ammar κ.ά., 2013), από το κόστος σχεδιασμού έως και το κόστος συντήρησης, για παράδειγμα.

Στην βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλες συνήθεις μέθοδοι που σκοπό έχουν την οικονομική αξιολόγηση έργων και προϊόντων, όπως η ανάλυση κόστους-οφέλους (Cost-Benefit Analysis ή CBA) και η κοστολόγηση ολόκληρου του κύκλου ζωής (Whole Life Costing ή WLC) (Benis κ.ά., 2018). Ωστόσο, επειδή τα χαρακτηριστικά και οι διαδικασίες των CBA και WLC μοιάζουν αρκετά με αυτά της LCC, πολλές φορές οι συγγραφείς αναφέρονται στη μεθοδολογία τους ως CBA ή WLC, ενώ η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην πραγματικότητα είναι η LCC (Peña & Rovira-Val, 2020).

Ενώ η LCC άρχισε να γίνεται δημοφιλής στα μέσα της δεκαετίας του 1960, ως σημείο εκκίνησης θεωρείται το 1996, επειδή τότε δημοσιεύθηκε το πρώτο επίσημο έγγραφο στο οποίο περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο της LCC, ο "Οδηγός κοστολόγησης κύκλου ζωής για προγράμματα της ομοσπονδιακής κυβέρνησης των ΗΠΑ" (Fuller and Petersen, 1996). Αυτό οφείλεται στη δημοσίευση του εγχειριδίου με τίτλο "Life Cycle Costing Guide for US Federal Government Programmes" (Fuller & Petersen, 1996). Στις μέρες μας, η ανάλυση κόστους κύκλου ζωής είναι ευρέως διαδεδομένη σε παγκόσμιο επίπεδο και αποτελεί μια από τις πιο συχνά εφαρμοζόμενες μεθόδους οικονομικής αξιολόγησης σε διάφορους τομείς.

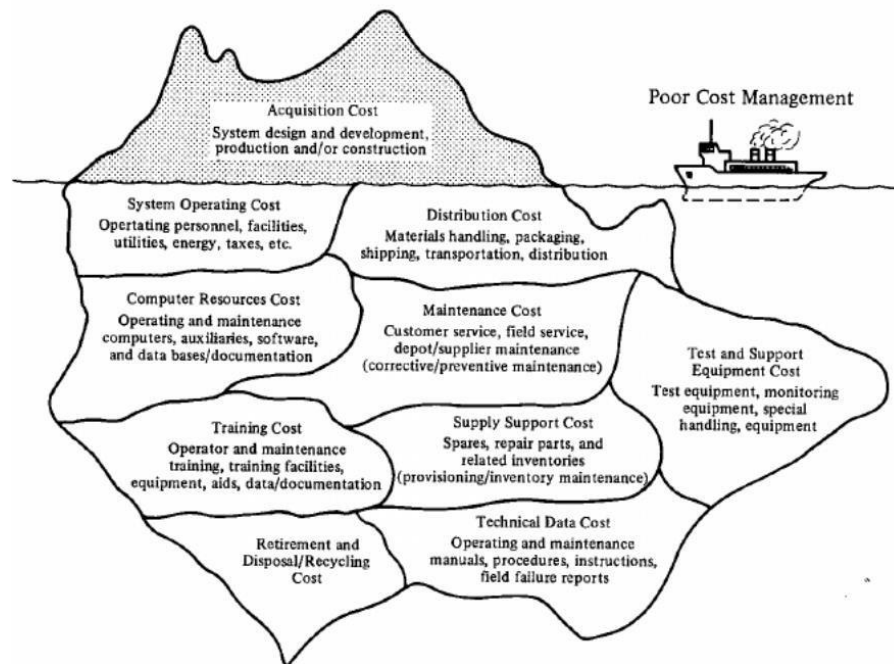
Όταν πρόκειται για LCC σε περιβαλλοντικά και ζωικά συστήματα είναι σημαντικό να μην διπλοϋπολογίζονται συγκεκριμένες επιπτώσεις, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό

επίπεδο. Ο κύριος σκοπός μιας LCC σε ένα περιβαλλοντικό ή ζωικό σύστημα είναι να προσδιορίσει πλήρως τις περιβαλλοντικές πτυχές του κύκλου ζωής και το οικονομικό κόστος των επιπτώσεων που προκύπτουν από τις αποφάσεις που ελήφθησαν. Αυτό μπορεί να γίνει με την εσωτερίκευση του κόστους, δηλαδή την εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» ή τη χρήση των κατάλληλων πληροφοριών για την απεικόνιση του αντίκτυπου μια δεδομένη χρονική στιγμή. Σε γενικές γραμμές, οι δαπάνες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι μόνο αυτές που σχετίζονται την δεδομένη χρονική στιγμή με την απόφαση. Οι δαπάνες αυτές θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν μόνο τις πραγματικές χρηματοοικονομικές ροές που σχετίζονται με 1 ή περισσότερους παράγοντες του υπό εξέταση συστήματος (Swart κ.ά., 2011).

Η ανάλυση απογραφής μιας LCC αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα πρόσβασης και ποιότητας δεδομένων με μια LCA. Τα δεδομένα κόστους λαμβάνονται συχνά από πολλές διαφορετικές πηγές και μπορεί να είναι δύσκολο να δημιουργηθεί ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο δεδομένων προς εξέταση. Ταυτόχρονα, ορισμένα δεδομένα ενδέχεται να είναι δύσκολο να αντληθούν, καθώς είναι εμπορικά εμπιστευτικά. Συχνά χρειάζεται οι διάφοροι τομείς της βιομηχανίας να αναπτύσσουν προσαρμοσμένα μοντέλα και συνθήκες κόστους και να τις αναπροσαρμόζουν. Μια άλλη πρόκληση είναι ότι τα δεδομένα κόστους μπορεί να είναι ασταθή και, συνεπώς, οι αναλυτές θα πρέπει να φροντίσουν να εξασφαλίσουν ένα επίπεδο συνέπειας καθ'όλη την διάρκεια της ανάλυσης.

Κατά τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής ενός συγκεκριμένου είδους, οι υπεύθυνοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία κόστους:

- Κόστος κτήσης: για παράδειγμα, η τιμή αγοράς ή το κόστος μίσθωσης,
- Μεταφορικά έξοδα (αν δεν περιλαμβάνονται ήδη στο κόστος αγοράς),
- Κόστος εγκατάστασης: για συστήματα θέρμανσης και φωτισμού, για παράδειγμα,
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης: κόστος ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα, βενζίνη, ντίζελ), κόστος για την παροχή πόσιμου νερού και την αποχέτευση (π.χ. για υπηρεσίες καθαρισμού), κόστος χαρτιού και άλλων αναλώσιμων υλικών, φόροι, έξοδα ασφάλισης, έξοδα εκπαίδευσης, έξοδα συντήρησης, έξοδα επισκευής (ανταλλακτικά, ώρες εργασίας), κόστος απαραίτητων αξεσουάρ,
- Κόστος απόθεσης: κόστος μεταφοράς στον χώρο απόθεσης των απορριμμάτων και κόστος επεξεργασίας και διάθεσης απορριμμάτων
- Υπολειμματική αξία: έσοδα από την πώληση του προϊόντος μετά το τέλος της περιόδου χρήσης και αξία του αντικειμένου μετά το τέλος της ωφέλιμης ζωής του υπολογισμού κόστους του κύκλου ζωής, εάν αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω



Εικόνα 8 Η συμπερίληψη όλων των δαπανών στη διαδικασία ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής

Κάποιοι δείκτες κόστους που χρησιμοποιούνται συχνά στην βιβλιογραφία είναι (Asselin-Balençon & Jolliet, 2014):

- Life Cycle Cost Differential
- Internal Rate of Return – IRR
- Modified Internal Rate of Return – MIRR
- Breakeven Price of Electricity

Κάποιοι δείκτες επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται συχνά στην βιβλιογραφία είναι (Asselin-Balençon & Jolliet, 2014):

- Life Cycle Impact Differential
- Impact Savings Ratio

Κάποιο συνδυαστικοί δείκτες κόστους και επιπτώσεων είναι οι εξής (Asselin-Balençon & Jolliet, 2014):

- Διαγραμματική αναπαράσταση
- GHG Abatement Cost

3 Εφαρμογή περιβαλλοντικής και οικονομικής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σε χοιροτροφικά συστήματα

3.1 Περιβαλλοντική Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Είναι ευρέως γνωστό πως η κτηνοτροφική παραγωγή εμπορικής κλίμακας επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα η χοιροτροφία είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που περιλαμβάνει την παραγωγή ζωοτροφών και την μεταφορά τους, την εκτροφή ζώων και την διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων. Ένα εργαλείο για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης τέτοιων πολύπλοκων συστημάτων είναι, η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA). Καθίσταται σαφές από την βιβλιογραφία πως μέχρι στιγμής η LCA έχει ήδη εφαρμοστεί σημαντικά σε χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις (McAuliffe κ.ά., 2016).

Το γεγονός πως η χοιροτροφία εντατικής μορφής έχει αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον οφείλεται στο γεγονός ότι η αλυσίδα εφοδιασμού των χοίρων απαιτεί σημαντικές εισροές ζωοτροφών, ενέργειας και νερού, ενώ ταυτόχρονα μέσω αυτής εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες αερίων CH₄, NH₃.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ένα εργαλείο μοντελοποίησης σύνθετων συστημάτων τροφίμων είναι η ανάλυση κύκλου ζωής (LCA). Η LCA αξιολογεί την περιβαλλοντική επίδοση ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας εντοπίζοντας τα σημεία εκείνα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, των οποίων οι εκπομπές θα πρέπει να μειωθούν (McAuliffe κ.ά., 2016).

Οι μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής που συναντώνται στην βιβλιογραφία πάντα συμμορφώνονται με το πρότυπο ISO14040 (Harris & narayanaswamy, 2009).

Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικός πίνακας των κύριων σημείων κάποιων μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής του γεωργοκτηνοτροφικού τομέα (Harris & narayanaswamy, 2009):

Parameters/Issues	Poultry	Piggeries	Sugar	Grains/ Feedlot	Red meat and Livestock	Consensus Points	Divergent Points	Comments & areas for industry input
LCA Goal	Assess env. impacts of seafood products and compare with chicken farming.	Compare environmental impacts of different feed types.	Compare environmental benefits of electricity from bagasse and bagasse derived ethanol.	Assess contribution of key stages in grain life cycle.	Compare three farming practices for GHG emissions	All compare environmental impacts of products or farming practices.	While most studies compare a range of environmental impacts, several compared only 1 or 2.	The likely goal(s) of the LCA's for the Australian rural industries need to be established. Is the goal to compare agricultural practices, feed choices or identify environmental improvements, or are all of these potential goals?
Overall Purpose	Find reference levels for env performance and identify hotspots for improvement.	Identify hotspots for each method	To inform sugar producers	To inform consumers and stakeholders	Assess whether moving toward more extensive methods of production could reduce GHG	Improve environmental performance	A range of purposes from informing stakeholders to academic endeavour.	The overall purpose of performing the Australian LCA's needs to be determined. Hence, would LCA be required to help farmers and primary producers: market their products, identify environmental improvements or help with reporting e.g. future requirements such as NGER or similar. If they are intended to be disclosed to the public for comparability or marketing purposes they must undergo a critical review according to ISO14040.
System Boundary	Farm to fork	cradle-to-farm gate	Cradle-to-gate	Cradle-to-fork	Cradle to farm gate	Largely cradle to farm gate	A few consider up until the consumers fork	System boundary will depend on the goal of the study. E.g. is it for environmental improvement of the farm or the whole supply chain to fork. There could be opportunities to collaborate with others in the supply chain, e.g. retailers and transporters. If preparing for eco-labelling a full life-cycle may be required. For completeness and coverage, the life cycle materiality threshold discussed in the draft British standard for greenhouse life cycle assessment [72] could be considered as a starting point for a discussion.
Functional Unit	Mass of fillet, Norwegian study	Kg of growth between 29-115 kgs and hectare of land use	Basket of products* that can be derived from the sugarcane harvested from onehectare of land in one year.	1 loaf white bread, from wheat grown and consumed in WA. 1 hectolitre beer from barley, 1 litre cooking oil from canola	1 kg of liveweight during 1 yr	1 kg of product or land use e.g. hectare depending on the goals and factors being compared	No agreed FU for livestock.	The FU is dependent on the goal of the study, and the system boundary. There is a particular need for consensus of the FU for livestock, as this varied in the studies. FU choice can help avoid allocation

Parameters/ Issues	Poultry	Piggeries	Sugar	Grains/ Feedlot	Red meat and Livestock	Consensus Points	Divergent Points	Comments & areas for industry input
Allocation methods	Mass basis	Mass and price of products	System expansion to include alternative routes to produce products	Economic	None needed, because choice of FU (live weight) meant co-products emerged outside farm gate.	System expansion is increasingly used as data availability increases	System expansion is not always possible, and can require extensive data.	The order of preference is: system expansion; physical relationships / causality; composition; and economic value. Current data availability and potential issues in obtaining the necessary data need careful consideration. Allocation was not needed in one beef study because of functional unit choice (live weight) and system boundary (cradle to farm gate) meant by-products occurred outside the farm gate (by-products occur post-processing). Allocation rules given in clause 8 of the draft British greenhouse life cycle assessment standard [72] could be considered as a starting point. However, it would require stakeholder inputs to extend these rules to water and energy use impact categories.
Foreground data	Fishing data	Simulated data	Sugarcane processing data was obtained from a local milling company	Farm data	Farm data gathered, calculated (IPCC method) livestock emissions	Farm data gathered in most cases	Some studies are using only existing data	For accuracy, input processes, farm processes and production processing need to be foregrounded.
Background data	All other stages in fishing and poultry	Average data on prices and other grain production systems	All data	All other data	All other data	All other stages. Medicines, insecticides, machines, buildings and roads are often excluded.	Some studies are using only existing data. Some studies do include fertilisers, pesticides, tractor fuel and machines.	Details such as transport, fertiliser, composting etc, may be background but main processes should be foregrounded (data should be collected). Medicines, insecticides, machines, buildings and roads are often excluded. Industry input is needed on whether to include these. This will to some extent be dependant on the study, e.g. whether comparing two farming systems with similar machinery.
Data Quality Assessment	No	No	All systems for which data was sourced from literature were checked for consistency, and were adjusted, where necessary.	Yes	Yes	Data quality is not always considered, but is considered in the most robust studies.	Some studies did not discuss quality.	The data quality should comply with ISO14040 standards and therefore LCA's should include a description of data quality so that the audience can understand the reliability of the study results and properly interpret the outcome.

Parameters/ Issues	Poultry	Piggeries	Sugar	Grains/ Feedlot	Red meat and Livestock	Consensus Points	Divergent Points	Comments & areas for industry input
Data Variability	Average data, variability not considered	Uncertainty considered	Assumptions made where no data existed. Sensitivity analyses were conducted in order to verify the effect of all major assumptions.	Yes consideration given to hotspot analysis and evaluation	Yes variation analysis GHG emissions on emission factors	Uncertainty is often considered, but full uncertainty analysis is rare.	Some studies did not discuss variability.	LCA should perform uncertainty analysis to quantify the uncertainty of the results due to cumulative effects of model imprecision, input uncertainty and data variability.
LCA Computation	Simapro	proprietary, Simapro	LCA software Team®	Simapro	Not discussed	Simapro used in four cases but surprisingly software received limited mention	Excel model was developed in one recent significant study of 10 commodities	Simapro is suggested as an appropriate platform to perform agricultural LCA, this would help with tracking changes and updating data.
Life cycle impact categories	Fossil fuels, acidification, carcinogens, climate change, respiratory inorganics	Energy, global warming, acidification, eutrophication	Acidification, non-renewable resources, eutrophication, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, acidification, eutrophication.	Resource energy, global warming, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, acidification, eutrophication.	GHG emissions	A wide range of impact categories are usually considered	A few studies concentrated on specific aspects, mostly GHG emissions.	Australian industry should consider going beyond, only the consideration of water, GHG and energy, to meet future requirements or comparisons with other countries. Eutrophication is widely noted as one of the major environmental impacts of agriculture. Eutrophication also has GHG implications, so its inclusion or exclusion needs to be considered carefully. Toxicity has prominent consideration in Europe and if comparisons with other countries are likely this may need to be included. Treatment of land use change in the draft British greenhouse life cycle assessment standard [72] could be taken as a starting point to seek and consolidate industry inputs.
Water	No	No	No	Yes	No	Not considered in nearly all studies	The concept of virtual water has not received attention in the LCA literature, but may need close consideration	LCA involving water requires careful consideration on what types of water to include, e.g. surface, treated surface, groundwater, scheme water. Should infrastructure be included, in order to recognise rainwater capture and reuse?
Energy	Yes, fossil fuels	Yes	No	Yes	No	Considered in many		Energy can be measured per kg of product or per hectare

Parameters/ Issues	Poultry	Piggeries	Sugar	Grains/ Feedlot	Red meat and Livestock	Consensus Points	Divergent Points	Comments & areas for industry input
Greenhouse Emissions	Yes, global warming potential	Yes	Yes	Yes	Yes	Considered in most		GHG can be measured per kg of product or per hectare. The greatest uncertainty is often noted as nitrous emissions.
Life cycle evaluation	Contribution	Contribution and scenario analyses	Comparative	Contribution and hotspot	Contribution	Mostly contribution and hotspot analysis		Contribution and comparative analysis (e.g. comparing farming systems or feed choice) are appropriate for water, energy and GHG.
Compliance with ISO 14040 & 14044	Not stated	Yes	Not stated	Yes	Yes	Yes in the majority of cases	Full compliance with ISO14040 & 14044 is rarely discussed, and generally not a goal of most studies.	The study should comply with ISO14040 & 14044 in order to be recognised as robust, and be comparable with other studies. The robustness must also be tested.
Key findings/ conclusions	Sea food products generally have greater environmental impacts as compared to land based products - chicken	Impact of feed choice on the environmental life cycle profile of pig production system - being significant	Electricity option preferred on energy, carbon, acidification & eutrophication whilst the liquid fuel option preferred in terms of resource depletion and toxicity concerns	Canola production and cooking oil most important for impact reduction, and thereafter wheat, and finally barley.	Extensive farming has lower emissions than conventional and organic even less GHG emissions, although production per hectare is much lower.	LCA is a useful and appropriate method to assess and compare environmental impact of products and practices. There are several additional complexities to LCA use in agriculture over its initial use in industry. Nitrous oxide emissions introduce the largest uncertainties.	LCA can be utilised to examine several aspects such as hotspots analysis, environmental performance improvement or as a reporting tool.	LCA studies should comply with ISO 14040 in order for LCA studies to be internationally acceptable. The comparison of LCA studies remains a difficult and uncertain exercise given the different methodologies and assumptions. Therefore the task to bring consensus and a standard methodology to LCA application in Australia is a commendable and worthwhile exercise.

Εικόνα 9 Σύνοψη των κυριότερων σημείων ΑΚΖ της μελέτης των (Harris & narayananawamy, 2009)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα σημεία μιας AKZ μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης (Harris & narayanaswamy, 2009):

Πίνακας 1 Τα κυριότερα σημεία μιας AKZ μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης. Προσαρμογή από τον πίνακα των (Harris & narayanaswamy, 2009)

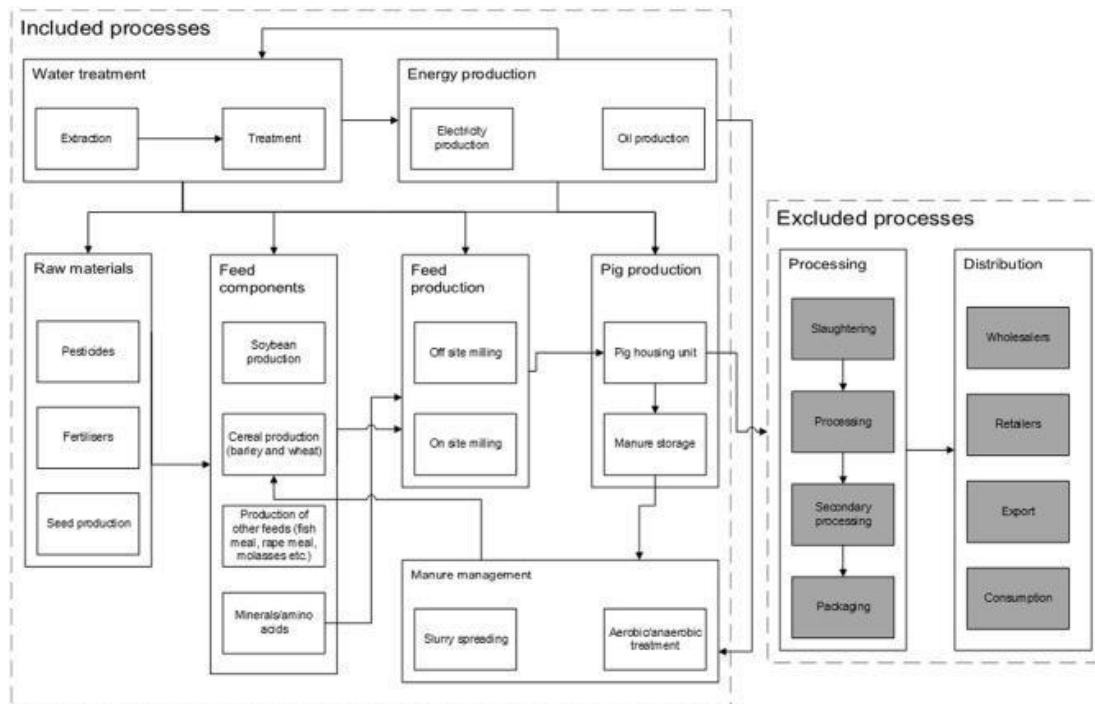
<i>Παράμετροι</i>	<i>Χοίροι</i>
<i>Στόχος AKZ</i>	Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφόρων τύπων ζωοτροφών
<i>Απώτερος σκοπός</i>	Προσδιορισμός των καίριων σημείων (hotspots)
<i>Όρια συστήματος</i>	Από την στιγμή της σποράς των ζωοτροφών, μέχρι και την πώληση του τελικού προϊόντος (cradle-to-farm gate)
<i>Λειτουργική μονάδα</i>	Κιλά ζώντος βάρους και έκταση χρήσης γης
<i>Μέθοδος κατανομής</i>	Μάζα και τιμή των προϊόντων
<i>Πρωτογενή δεδομένα</i>	Συνδυαστικά με δεδομένα προσομοίωσης
<i>Δευτερογενή δεδομένα</i>	Μέσοι όροι τιμών
<i>Παραλλακτικότητα δεδομένων</i>	Αβεβαιότητα
<i>Λογισμικά AKZ</i>	SimaPro, Proprietary
<i>Κατηγορίες επιπτώσεων</i>	Ενέργεια, υπερθέρμανση, οξίνιση, ευτροφισμός
<i>Συμμόρφωση με ISO 14040 & 14044</i>	Ναι
<i>Συμπεράσματα</i>	Επίδραση της επιλογής συγκεκριμένων ζωοτροφών στην περιβαλλοντική επίδοση μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης

Προσδιορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope Definition),

Η χοιροτροφία είναι ένα εξαιρετικά περίπλοκο σύστημα στο οποίο περιλαμβάνονται διάφορες διαδικασίες, όπως η παραγωγή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων κατά την παραγωγή ζωοτροφών, η μεταφορά από και προς τα χοιροστάσια, η ενέργεια για φως, θέρμανση, πόσιμο νερό για τα ζώα και νερό για άλλες χρήσεις, καθώς και η διαχείριση των αποβλήτων. Η LCA αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό της δυνητικής περιβαλλοντικής επίδοσης μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης και έχει εφαρμοστεί εκτενώς μέχρι σήμερα.

Απογραφική ανάλυση κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory Analysis - LCI)

Ορισμένες μελέτες επικεντρώνονται στο σύνολο μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης, ενώ άλλες εξετάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από μεταβολές στη σύνθεση των ζωοτροφών ή στις στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των ορίων ενός χοιροτροφικού συστήματος (McAuliffe κ.ά., 2016).



Εικόνα 10 Διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα χοιροτροφίας (McAuliffe κ.ά., 2016)

Τα κτηνοτροφικά προϊόντα αξιοποιούνται με διάφορους τρόπους. Μπορεί να είναι ενδιάμεσα ή τελικά προϊόντα, εάν δίνονται για περαιτέρω επεξεργασία ή εάν δίνονται απευθείας στους καταναλωτές. Για τα προϊόντα κρέατος, η λειτουργική μονάδα στο στάδιο όπου το ζώο εγκαταλείπει την εκμετάλλευση είναι το ζων βάρος, ενώ όταν πρόκειται για σφάγιο, λειτουργική μονάδα είναι το βάρος του προϊόντος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το βάρος του σφαγίου αναφέρεται γενικά στο βάρος του μετά την αφαίρεση του δέρματος, του κεφαλιού, των ποδιών και των εσωτερικών οργάνων.

Η περιεκτικότητα σε οστά του προϊόντος κρέατος θα πρέπει να καθορίζεται με βάση παραδοχές σχετικές με τη χώρα που ερευνάται. Για μια παραγωγή μικρής κλίμακας, μια κατάλληλη λειτουργική μονάδα θα ήταν 1 kg ζωντανού βάρους ή βάρους σφαγίου.

Η συμφωνία μεταξύ της λειτουργικής μονάδας και των ορίων του συστήματος είναι σημαντική και η κατάλληλη λειτουργική μονάδα στην πύλη της εκμετάλλευσης θα πρέπει να είναι το "ζωντανό βάρος του ζώου".

Το όριο του συστήματος θα πρέπει να ορίζεται σύμφωνα με τη γενική λογική της αλυσίδας εφοδιασμού, καλύπτοντας όλες τις φάσεις από την εξόρυξη της πρώτης ύλης έως το σημείο παραγωγής της λειτουργικής μονάδας (FAO, 2020).

Οι κατευθυντήριες οδηγίες LEAP για τις ζωοτροφές περιλαμβάνουν εκτιμήσεις για τις εκπομπές από τη μεταφορά και την εφαρμογή της κοπριάς, καθώς και για τις εκπομπές από την κτηνοτροφική παραγωγή, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλές εκμεταλλεύσεις. Τα στάδια πρωτογενούς επεξεργασίας περιλαμβάνουν τη σφαγή των ζώων, την άμεση μεταποίηση και την πώληση ζωντανών ζώων στους καταναλωτές. Περιλαμβάνονται οι εκπομπές για όλο τον κύκλο ζωής, ανεξάρτητα από την τοποθεσία.

Για τα προϊόντα χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων, πρέπει να εξετάζεται μια περίοδος τουλάχιστον 12 μηνών, στην οποία να καλύπτονται όλα τα στάδια ζωής. Το χρονικό πλαίσιο των δεδομένων πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό του μέσου περιβαλλοντικού αντίκτυπου που συνδέεται με το προϊόν. Εάν οι εισροές, η παραγωγή και οι εκπομπές ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, η περίοδος των 12 μηνών θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τον μέσο όρο των δεδομένων τριών ετών, ώστε να πληρούται το κριτήριο της αντιπροσωπευτικότητας. Μπορούν να διεξαχθούν τομεακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της συνεισφοράς, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών από τις εισροές (FAO, 2020).

Αποτίμηση επιπτώσεων (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)

Στις περιβαλλοντικές αναλύσεις κύκλου ζωής, τα αποτελέσματα της ανάλυσης απογραφής συνδέονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα περιβαλλοντικών μοντέλων ως συντελεστές χαρακτηρισμού (Bjørn κ.ά., 2018). Ανάλογα με τη φύση της κατηγορίας επιπτώσεων, οι συντελεστές χαρακτηρισμού μπορεί να είναι γενικοί και συμπεριληπτικοί ή διαφοροποιημένοι. Για παράδειγμα, οι συντελεστές χαρακτηρισμού σχετικά με την κλιματική αλλαγή είναι γενικοί και συμπεριληπτικοί σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η θέση εκπομπής δεν έχει σημασία για την ίδια την επίπτωση, ενώ οι συντελεστές χαρακτηρισμού για τη χρήση νερού πρέπει γενικά να είναι χωρικά προσαρμοσμένοι (π.χ. σε επίπεδο λεκάνης απορροής) (Bjørn κ.ά., 2020).

Οι ολοκληρωμένες μέθοδοι περιβαλλοντικής ανάλυσης κύκλου ζωής που συναντώνται στην βιβλιογραφία συνήθως περιέχουν ένα σύνολο περιβαλλοντικών δεικτών που καλύπτουν τις κατηγορίες επιπτώσεων που σχετίζονται με την ποιότητα των οικοσυστημάτων και τους φυσικούς πόρους (Verones κ.ά., 2017).

Ορισμένες κατηγορίες επιπτώσεων μεσαίου σημείου (mid-point) ανήκουν ταυτόχρονα και στις δύο κατηγορίες τελικού σημείου (end-point). Για παράδειγμα, η κλιματική αλλαγή αποτελεί απειλή τόσο για τη σταθερότητα του συστήματος της γης όσο και για τα ίδια τα είδη. Αντίθετα, άλλες κατηγορίες επιπτώσεων μεσαίου σημείου υπάγονται μόνο στην μία. Για παράδειγμα, η χρήση μη ανανεώσιμων πόρων επηρεάζει αρνητικά τα αποθέματα, ωστόσο η εξάντλησή τους δεν απειλεί άμεσα την σταθερότητα του συστήματος της γης (Steffen κ.ά., 2020).

Στις περιβαλλοντικές αναλύσεις κύκλου ζωής που απαντώνται στην βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως ο ευτροφισμός, η οξίνιση, η βιοποικιλότητα. Δηλαδή, οι κατηγορίες αυτές είναι ορισμένες με ακρίβεια, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι στόχοι και οι μέθοδοι θα οδηγήσουν σε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Πλήρως ποσοτικές μελέτες, για παράδειγμα, απαιτούνται για μια συγκριτική αξιολόγηση. Αντίθετα, σε μελέτες που στόχος τους είναι η ανάλυση κάποιων hotspots απαιτείται μια λιγότερο ποσοτική προσέγγιση (FAO, 2020).

Τα όρια του συστήματος ορίζονται βάσει των γενικών αρχών μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, καλύπτοντας δηλαδή όλες τις φάσεις από την παραλαβή της πρώτης ύλης έως την παραγωγή του τελικού προϊόντος (λειτουργική μονάδα). Οι περιπτώσεις πλήρων AKZ περιλαμβάνουν την μεταποίηση, την διανομή, την κατανάλωση και την τελική διαχείριση του προϊόντος μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής του (FAO, 2020). Συνήθως, δημιουργείται ένα διάγραμμα ροής όλων των διαδικασιών που αξιολογούνται, καθώς και τον εισροών και εκροών που συναντώνται.

Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την περιβαλλοντική επίδοση στις χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις είναι (Djekic κ.ά., 2015):

- η απόδοση σε κρέας (μερίδιο άπαχου κρέατος σε ζωντανό χοίρο ή/και σε σφάγιο),
- η παραγωγή στερεών αποβλήτων (κατά την εκτροφή τα στερεά αναφέρονται κυρίως στην κοπριά, ενώ στην σφαγή σε υποπροϊόντα όπως π.χ., οστά, λίπος και δέρμα),
- η κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) και ο λόγος ενέργειας προς κρέας,
- η κατανάλωση νερού,
- η απόρριψη λυμάτων και το φορτίο τους και
- η χρήση χημικών ουσιών.

Οι δείκτες υπολογίζονται συνήθως ανά 1 kg κρέατος (τελικό προϊόν) (IPCC, 2006).

Μια ενδιαφέρουσα πληροφορία είναι ότι σύμφωνα με την παγκόσμια μελέτη AKZ για την εφοδιαστική αλυσίδα χοίρων του FAO, η παραγωγή ζωοτροφών συνεισφέρει περίπου στο 60% των εκπομπών που προκύπτουν από τις εφοδιαστικές αλυσίδες χοίρων παγκοσμίως, ενώ η αποθήκευση και η επεξεργασία κοπριάς στο 27%. Το υπόλοιπο 13% προκύπτει από τις επεξεργασίες μετά την εκτροφή, την μεταφορά κρέατος (6%), την άμεση και έμμεση κατανάλωση ενέργειας (3%) και την εντερική ζύμωση (3%) (FAO, 2013).

Οι κύριες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή χοιρινού κρέατος είναι (Reckmann κ.ά., 2012).

- το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), δηλαδή οι εκπομπές μεθανίου, οξειδίου του αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα,

- το δυναμικό οξίνισης και ευτροφισμού, καθώς και
- η χρήση φυσικών πόρων, δηλαδή νερού και ενέργειας.

Από περιβαλλοντική άποψη, οι πιο επιβλαβείς εκπομπές από την κοπρία είναι το υποξείδιο του αζώτου (που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη), τα νιτρικά (που συμβάλλουν στον ευτροφισμό) και η αμμωνία (που συμβάλλει στον ευτροφισμό και την οξίνιση) (Dalgaard κ.ά., 2007).

Σύμφωνα με μελέτη των Gislason et al., προσδιορίστηκε ότι σε μελέτες LCA χοιροτροφικών εκμεταλλεύσεων:

- η κλιματική αλλαγή έλαβε τιμές μεταξύ 0.60 kg CO₂-eq και 11.2 kg CO₂-eq/kg LW
- η οξίνιση έλαβε τιμές μεταξύ 14.7 και 241 g SO₂-eq/kg LW
- ο ευτροφισμός του φρέσκου νερού έλαβε τιμές μεταξύ 0 and 13 g of P-eq, του θαλασσινού νερού μεταξύ 3.0 και 86 g of N-eq και ο ευτροφισμός εκτός νερού έλαβε τιμές μεταξύ 0.18 και 0.51 mol of N-eq
- η χρήση γης έλαβε τιμές μεταξύ 18 και 36 m².y/kg LW
- η κατανάλωση νερού έλαβε τιμές μεταξύ 0.010 και 87 m³/kg LW

Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Results Interpretation).

Όσον αφορά στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, μια κοινή πρακτική που χρησιμοποιείται στην βιβλιογραφία είναι, αρχικά, ο προσδιορισμός των βασικών διαδικασιών, παραμέτρων, παραδοχών κτλ. Στη συνέχεια, τα ζητήματα αυτά αξιολογούνται ως προς την συμβολή τους στα τελικά αποτελέσματα της AKZ. Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται για τη διατύπωση των συμπερασμάτων, αλλά και των συστάσεων που προκύπτουν. Στις περιπτώσεις που οι μελέτες περιλαμβάνουν συγκρίσεις δύο ή περισσότερων συστημάτων, συμπεριλαμβάνονται επιπρόσθετες εκτιμήσεις (European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability., 2010).

Οι ενέργειες που περιλαμβάνονται στο συγκεκριμένο στάδιο, με βάση το πρότυπο ISO 14040-14044, είναι οι ακόλουθες:

- Η ανάλυση των αποτελεσμάτων
- Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων
- Η εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων
- Η διατύπωση προτάσεων.

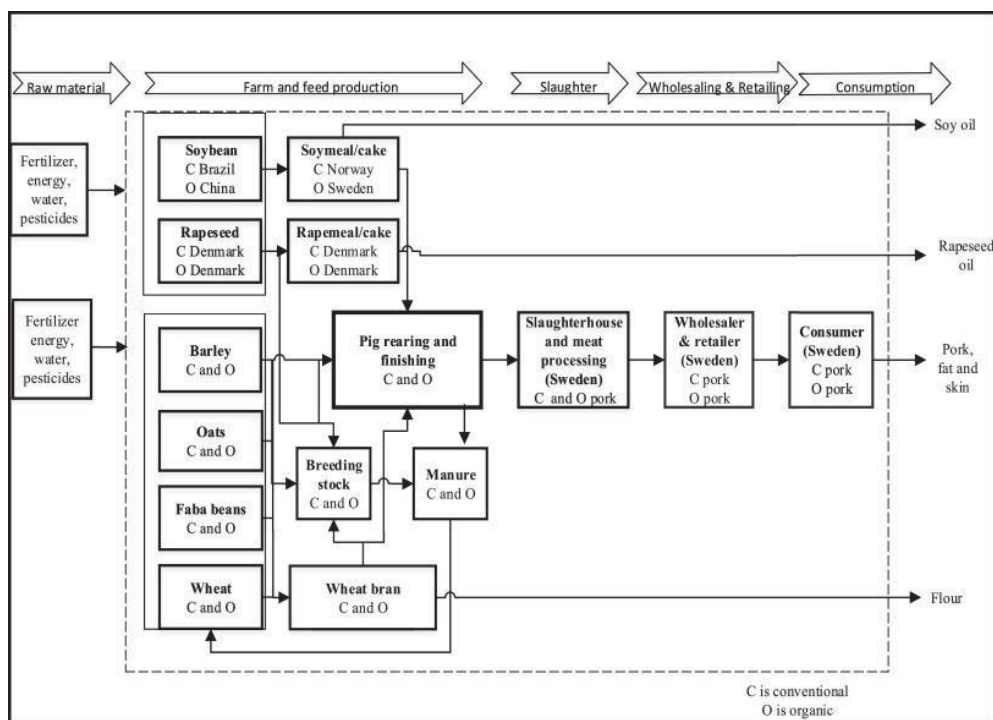
Συμπερασματικά, ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα μιας AKZ δίνεται η δυνατότητα να προσδιοριστούν και να πραγματοποιηθούν τα απαραίτητα βήματα, με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν οι επιβλαβείς επιπτώσεις τόσο ως προς το περιβάλλον όσο και ως προς τον άνθρωπο (Pennington κ.ά., 2004).

3.2 Οικονομική Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Για την αξιολόγηση της κερδοφορίας μιας προβλεπόμενης επένδυσης χρησιμοποιείται ο δείκτης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value – NPV). Ο λόγος αυτός είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας όλων των εισροών (ταμειακές εισροές) και της παρούσας αξίας όλων των εκροών (ταμειακές εκροές). Η ΚΠΑ μιας επένδυσης είναι συνάρτηση των καθαρών ταμειακών εισροών και εκροών, ενός καθορισμένου χρονικού ορίζοντα και του προεξοφλητικού επιτοκίου που εφαρμόζεται στις ταμειακές ροές κατά τη διάρκεια του εν λόγω χρονικού ορίζοντα (Brent, 2009). Εάν μια επένδυση έχει θετική ΚΠΑ, αυτό σημαίνει ότι είναι μια ευνοϊκή επιλογή κατά τη διάρκεια της περιόδου που αξιολογείται. Από την άλλη πλευρά, εάν η ΚΠΑ είναι αρνητική, υποδηλώνει ότι οι ταμειακές εκροές θα υπερβούν τις αποδόσεις μακροπρόθεσμα (Hoogmartens & Dubois, 2014). Η AEV (Ετήσια Ισοδύναμη Αξία) αντιπροσωπεύει την ετήσια ταμειακή απόδοση της επένδυσης και προκύπτει από την ετήσια

ΚΠΑ. Γενικά, ευνοούνται οι επενδύσεις με υψηλότερη ΑΕV. Αυτή η μέτρηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη επειδή είναι ευκολότερο να ερμηνευτεί από ένα τυποποιημένο μέτρο του ετήσιου γεωργικού και κτηνοτροφικού εισοδήματος, καθώς μετατρέπει την ΚΠΑ σε ετήσιο εισόδημα. Κατά συνέπεια, το ΑΕV επιτρέπει μια πιο αντιπροσωπευτική σύγκριση της οικονομικής απόδοσης των επενδύσεων διαφορετικού μεγέθους. Για παράδειγμα, αυτό συμβαίνει όταν συγκρίνονται οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης (μεγάλη επένδυση) με την τεχνολογία διαχείρισης της κοπριάς (μικρή επένδυση) ως πιθανά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από τα συστήματα κτηνοτροφικής παραγωγής. Ένας άλλος δείκτης είναι ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR), ο οποίος είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο (%) με το οποίο η ΚΠΑ μιας επένδυσης είναι μηδενική- κατά τη σύγκριση δύο επενδύσεων, η μία μπορεί να έχει υψηλή ΚΠΑ αλλά χαμηλή ΚΠΑ για την άλλη. Αυτό οφείλεται στο προφίλ των ταμειακών ροών (συμπεριλαμβανομένου του κόστους κεφαλαίου) που συνδέεται με την υλοποίησή της. Όσον αφορά στις χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις, μέχρι σήμερα οι αναλύσεις κύκλου ζωής έχουν επικεντρωθεί περισσότερο στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Συνεπώς, προκειμένου να καταστούν γνωστά τα περιθώρια βελτίωσης του τομέα αυτού απαιτούνται περισσότερες ολιστικές προσεγγίσεις που θα εξετάζουν και τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Ένα παράδειγμα συστήματος χοιροτροφικής εκμετάλλευσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Zira κ.ά., 2021):



Εικόνα 11 Σύστημα συμβατικής και βιολογικής παραγωγής χοιρινού κρέατος σε εκμετάλλευση στην Σουηδία. Απεικονίζονται και τα τέσσερα υποσυστήματα προμηθειών, εκτροφής, παραγωγής ζωοτροφών, σφαγής, χονδρικής και λιανικής πώλησης και κατανάλωσης (Zira κ.ά.,

Σε μια LCC συστήματος κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης, το κόστος παραγωγής προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα κόστη που αναφέρονται στη διατροφή, την ηλεκτρική ενέργεια, τη χρήση γης, καθώς και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στο κόστος της διατροφής και στον τύπο της διατροφής κάθε συστήματος, με σαφή αναφορά στις ποσότητές τους (Ruviano κ.ά., 2020).

Στην βιβλιογραφία αναφέρεται πως σε μια ανάλυση κόστους ζωής μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης κάποιοι εξεταζόμενοι δείκτες, για παράδειγμα ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος, σε γενικές γραμμές μπορεί να είναι (Zira κ.ά., 2021):

- Λειτουργικά έξοδα
- Εργατικά έξοδα
- Κόστος αγοράς/παραγωγής ζωοτροφών
- Κόστος μεταφοράς κ.ά.

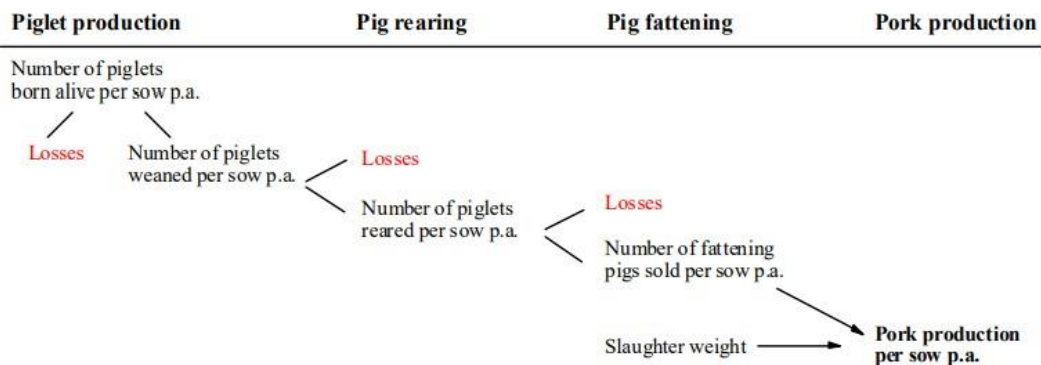
Για να αξιολογήσουμε την περιβαλλοντική απόδοση και το κόστος ενός δείκτη σε ένα περιβαλλοντικό σύστημα, όπως είναι μια κτηνοτροφική εκμετάλλευση, κατά τη διάρκεια ζωής του, υιοθετούμε μια προσέγγιση των επιπτώσεων, αλλά και μια εκτίμηση κόστους καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής, προσθέτοντας επιπλέον δείκτες που συμπληρώνουν τις περιβαλλοντικές και οικονομικές απόλυτες τιμές (Asselin-Balenzon & Jolliet, 2014).

Οι κύριες κατηγορίες κόστους που μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια LCC είναι αυτές που σχετίζονται με τα ακόλουθα πέντε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής:

- Έρευνα, ανάπτυξη και σχεδιασμός
- Πρωτογενής παραγωγή
- Μεταποίηση
- Χρήση
- Απόρριψη

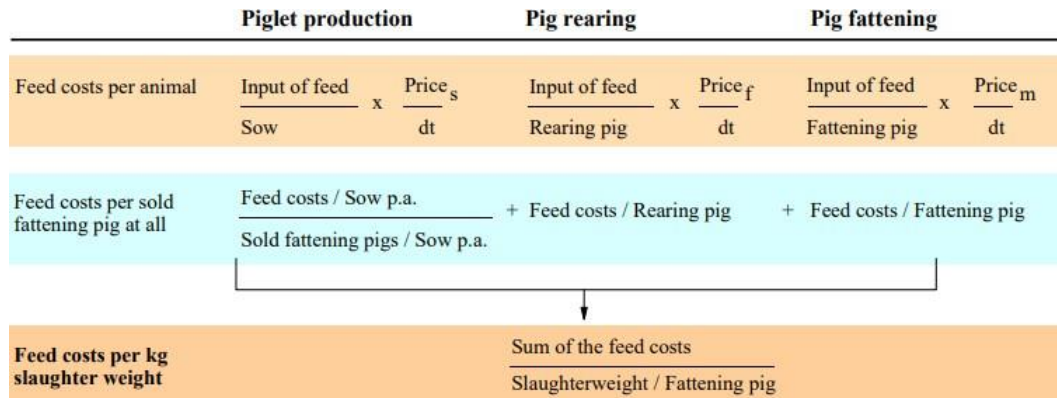
Σύμφωνα με τους Haxsen και Gerhard (2008), ο υπολογισμός του κόστους παραγωγής προϊόντων βάσει του μοντέλου InterPIG αφορά ολόκληρη τη διαδικασία σε επίπεδο χοιροτροφικής εκμετάλλευσης πώλησης χοίρων πάχυνσης, από τη γονιμοποίηση της χοιρομητέρας έως την παράδοση του χοίρου για σφαγή.

Ξεκινώντας, υπολογίζεται η παραγωγή, εκτροφή, πάχυνση των χοίρων και τέλος η παραγωγή χοιρινού κρέατος ανά χοιρομητέρα ετησίως. Το μοντέλο θεωρεί την παραγωγή χοίρων ένα κλειστό σύστημα. Ωστόσο, λαμβάνει επίσης υπόψη τις εκμεταλλεύσεις που ειδικεύονται στην παραγωγή χοιριδίων ή στην πάχυνση χοίρων και το κόστος μεταφοράς χοιριδίων.

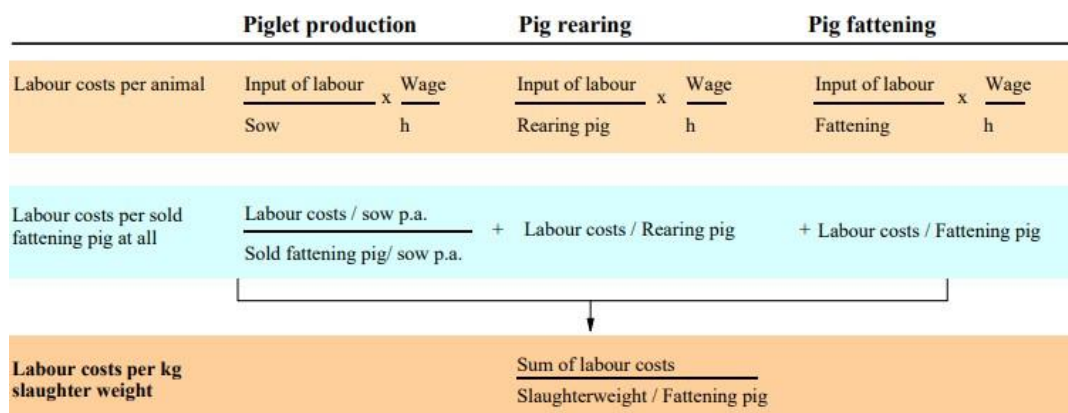


Εικόνα 12 Απεικόνιση των σταδίων παραγωγής χοιροτροφικών προϊόντων στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008)

Ο υπολογισμός του κόστους παραγωγής καθορίζει το κόστος ανά χοιρομητέρα και ανά έτος, ανά εκτρεφόμενο χοίρο και ανά παχυνόμενο χοίρο για κάθε σημαντική εισροή. Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται ενδεικτικά ο υπολογισμός του κόστους διατροφής και του κόστους εργασίας. Το μοντέλο καταγράφει επίσης την ποσότητα των ζωοτροφών ανά ζώο, της εργασίας ανά ζώο, καθώς και τις τιμές των ζωοτροφών και τον μισθό των εργαζομένων. Στο επόμενο βήμα, το μοντέλο διαιρεί το κόστος ανά χοιρομητέρα με τον αριθμό των χοίρων πάχυνσης που πωλούνται ανά έτος και προσθέτει αυτό το αποτέλεσμα στο κόστος ανά χοίρο εκτροφής και στο κόστος ανά χοίρο πάχυνσης. Η διαίρεση αυτού του ποσού με το βάρος σφαγής του καταλήγει τελικά στο κόστος ανά κιλό βάρους σφαγής. Στις περιπτώσεις των κτηνιατρικών υπηρεσιών, της ενέργειας, του νερού και της γονιμοποίησης το μοντέλο καταχωρεί μόνο τη χρηματική εισροή.



Εικόνα 13 Απεικόνιση του υπολογισμού κόστους παραγωγής στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008)



Εικόνα 14 Απεικόνιση του υπολογισμού του κόστους των εργατικών στο μοντέλο InterPIG (Haxsen, 2008)

Το καθαρό κόστος αναπαραγωγής ανά χοιρομητέρα K_b υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη διαφορά μεταξύ της τιμής αγοράς της χοιρομητέρας και της τιμής του σφάγιού της ($p_j - e_a$) με το ποσοστό αντικατάστασης της (r): $K_b = r(p_j - e_a)$

Ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής του χώρου αναπαραγωγής προκύπτει από το κεφάλαιο που απαιτείται για τη δημιουργία μιας νέας θέσης για την χοιρομητέρα, τον χοίρο εκτροφής και τον χοίρο πάχυνσης. Το ετήσιο κόστος βασίζεται σε περίοδο απόσβεσης 20 ετών για τα κτίρια και 10 ετών για τον εξοπλισμό. Τα επιτόκια αναφέρονται στα επιτόκια υποθηκών. Επιπλέον, το μοντέλο InterPIG λαμβάνει υπόψη τη χρήση του κεφαλαίου με την καταγραφή της διάρκειας θηλασμού, της ημερήσιας αύξησης βάρους και του τελικού βάρους των χοιριδίων κατά την ανάπτυξη και την πάχυνση.

Έχοντας πάντα υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας χοιροτροφικής εκμετάλλευσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες και εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης που έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη βιωσιμότητα των χοιροτροφικών συστημάτων. Ωστόσο, οι μέθοδοι αυτές δεν είναι πάντα οικονομικά βιώσιμες. Για το λόγο αυτό, έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας τέτοιων στρατηγικών μετριασμού σε συστήματα παραγωγής χοίρων με τη χρήση της μεθόδου ανάλυσης περιβαλλοντικού κόστους μείωσης (EAC-analysis).

Στην διδακτορική διατριβή του Pexas (2021), μελετήθηκαν τέσσερα χοιροστάσια (με βελτιωμένη μόνωση, αυξημένη απόδοση αερισμού, συχνή αφαίρεση κοπριάς) και τρεις στρατηγικές μείωσης που σχετίζονται με τη διαχείριση της κοπριάς (αναερόβια χώνευση, οξίνιση, διαχωρισμός). Το βασικό σύστημα βάσει του οποίου διεξήχθη η ανάλυση ήταν ένα τυπικό σύστημα εκτροφής χοίρων στην Δανία, με ωφέλιμη ζωή 25 ετών.

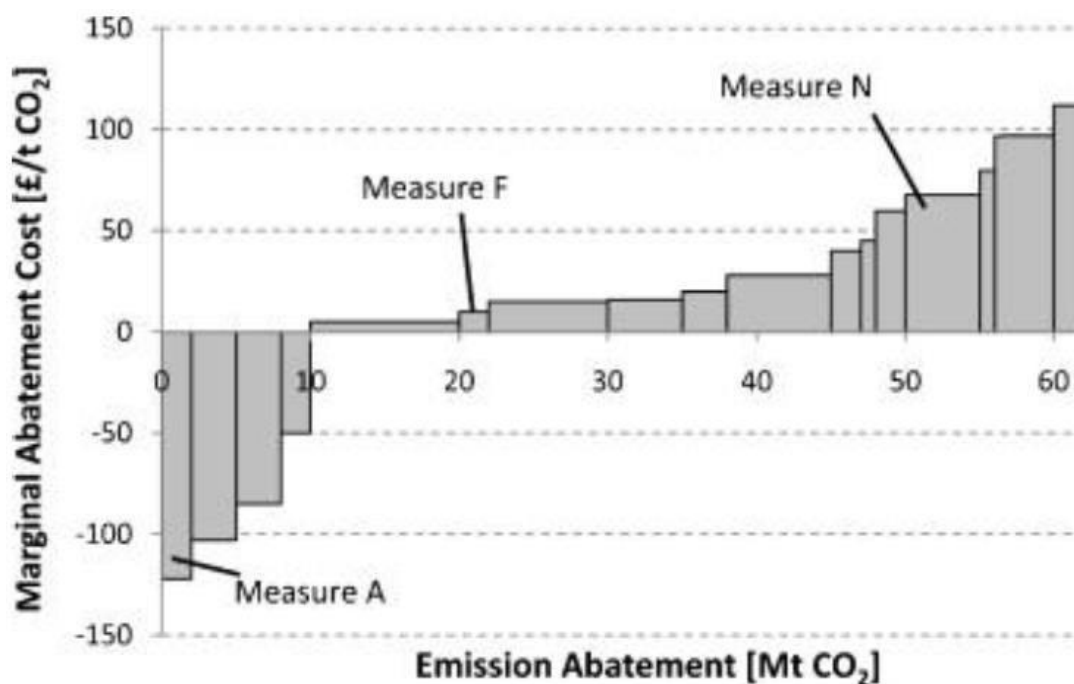
Οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εξετάστηκαν ήταν οι εξής:

- η χρήση μη ανανεώσιμων πόρων και πηγών ενέργειας,
- το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη,

- το δυναμικό ευτροφισμού και
- το δυναμικό οξύτητας.

Αρχικά, διεξήχθη ανάλυση των Προεξοφλημένων Ταμειακών Ροών, όπου υπολογίστηκε η ΑΕV ολόκληρης της εκμετάλλευσης για κάθε μεμονωμένη επένδυση και για κάθε πιθανό συνδυασμό υλοποίησής της. Επιλέχθηκαν οι 10 καλύτεροι συνδυασμοί με βάση την ΑΕV τους. Στη συνέχεια, το ετήσιο δυναμικό μείωσης κάθε επένδυσης που αποσκοπούσε στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο αξιολόγησης του κύκλου ζωής «cradle to farm». Μέσω της EAC, αξιολογήθηκε η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των επιλεγμένων λύσεων μετριασμού (συγκεκριμένα, των 10 κορυφαίων συνδυασμών) και μελετήθηκε για κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Η ανάλυση του κόστους της μείωσης, εκφρασμένου σε νομισματικές μονάδες (δηλαδή σε €) ανά μονάδα ρύπου που μειώνεται (σε τόνο CO₂-eq), αποτελεί αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας σε περιβαλλοντικές επενδύσεις, προκειμένου να μειωθούν συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων.

Για να διευκολυνθεί η επικοινωνία πληροφοριών σχετιζομένων με το κόστος της μείωσης σε περιπτώσεις αξιολόγησης πολλαπλών και διαφορετικών στρατηγικών, εισήχθη η έννοια των καμπυλών κόστους περιβαλλοντικής μείωσης. Ένα προσδιορισμένο μοντέλο, η καμπύλη οριακού κόστους μείωσης, έχει καταστεί ευρέως δημοφιλές ως εργαλείο για τον προσδιορισμό πολιτικής στους τομείς της γεωργίας και της ενέργειας (Tomaschek, 2015). Μέσω αυτού του τύπου ανάλυσης, επιδιώκεται η διάδοση πληροφοριών σχετικά με στρατηγικές για τον έλεγχο των εκπομπών του συστήματος, είτε με επενδύσεις σε τεχνολογίες περιβαλλοντικής μείωσης, είτε με μείωση της παραγωγής/εκπομπής. Οι καμπύλες παρουσιάζουν το κόστος που σχετίζεται με την τελευταία μονάδα –οριακή μείωση – μετριασμού των ρύπων, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα:



Εικόνα 15 Παράδειγμα καμπύλης οριακού κόστους μείωσης για τον μετριασμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (Kesicki & Strachan, 2011)

Τα αποτελέσματα της μελέτης του Rexas (2021) έδειξαν πως ο συνδυασμός στέγασης χοίρων και η αναερόβια χώνευση κοπριάς ήταν οι πιο οικονομικές επιλογές ως προς τον μετριασμό του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πόρων.

Το πλαίσιο που αναπτύχθηκε στην παραπάνω μελέτη μπορεί ενδεχομένως να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων για την επιλογή περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμων τροποποιήσεων μιας κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης.

Η μελλοντική έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στην ενίσχυση της γνώσης και της διαθεσιμότητας πληροφοριών σχετικά με πιθανές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές, που σχετίζονται με διάφορες πολιτικές και στρατηγικές εφαρμογής.

Η ανάπτυξη προηγμένων αξιολογήσεων βιωσιμότητας αναδεικνύεται ως κρίσιμη παράμετρος που μπορεί σημαντικά να συμβάλει στη διαμόρφωση αποτελεσματικών στρατηγικών σχεδίων για τη διαχείριση των συστημάτων χοιροτροφίας και τη γενικότερη διαχείριση του κλάδου εκτροφής χοίρων. Λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν την επενδυτική συμπεριφορά των κτηνοτρόφων μαζί με τους γεωγραφικούς, χρονικούς και οικονομικούς παράγοντες, οι γεωργο-περιβαλλοντικές πολιτικές και οι χρηματοδοτήσεις θα μπορούσαν να προσαρμοστούν ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις οικονομικές ανάγκες των ωφελούμενων για υποστήριξη της υιοθέτησης τεχνολογικών καινοτομιών.

Ένα εναλλακτικό μονοπάτι για την έρευνα με στόχο τη βελτίωση της βιωσιμότητας του συστήματος χοιροτροφίας προκύπτει μέσω της ανάπτυξης και δοκιμής νέων τεχνολογιών και στρατηγικών διαχείρισης ακριβείας. Ο στόχος είναι η πραγματοποίηση αποτελεσματικότερης χρήσης των πόρων και η μείωση των απορριμμάτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Μια κρίσιμη πτυχή αυτής της γραμμής για μελλοντική έρευνα είναι η αποφυγή κατασπατάλησης πολύτιμων πόρων για την ανάπτυξη λύσεων που μπορεί να είναι ωφέλιμες μόνο για έναν πυλώνα βιωσιμότητας (π.χ. μετριασμός της περιβαλλοντικής ρύπανσης) ενώ ταυτόχρονα είναι επιζήμιες για έναν άλλο (π.χ. εξαιρετικά υψηλό κόστος εφαρμογής).

4 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία αποτελεί βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία παρείχε μια παρουσίαση της τρέχουσας κατάστασης της έρευνας σχετικά με την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (LCA). Καθίσταται σαφές πως υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αντιμετώπιση της περίπλοκης αλληλεπίδρασης μεταξύ γεωργικών δραστηριοτήτων, οικολογικών επιπτώσεων και οικονομικών αποτελεσμάτων στο πλαίσιο της κτηνοτροφίας.

Η πλειοψηφία των σχετικών ερευνών υπογραμμίζει την περιβαλλοντική σημασία της κτηνοτροφίας, με ιδιαίτερη έμφαση στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στην εξάντληση των πόρων και στη ρύπανση. Η LCA αναδεικνύεται ως πολύτιμο εργαλείο για τον ποσοτικό προσδιορισμό και την ανάλυση αυτών των επιπτώσεων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της κτηνοτροφικής παραγωγής, επιτρέποντας να καταστούν κατανοητοί οι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Μια αξιοσημείωτη πτυχή της βιβλιογραφίας είναι η αναγνώριση των οικονομικών προκλήσεων που σχετίζονται με την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών στην κτηνοτροφία. Ενώ οι φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές ενδέχεται να συνεπάγονται ένα υψηλό αρχικό κόστος, είναι εμφανή τα μακροπρόθεσμα οφέλη, όπως η αυξημένη απόδοση, η μειωμένη χρήση εισροών και η ισχυρή θέση στην αγορά. Η οικονομική βιωσιμότητα των βιώσιμων γεωργικών πρακτικών είναι ένας κρίσιμος τομέας εξερεύνησης, όχι μόνο για μελλοντική έρευνα, αλλά και για χάραξη πολιτικής. Από την βιβλιογραφία υποστηρίζεται σθεναρά η ενσωμάτωση της AKZ στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων για τη διαχείριση των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες AKZ, οι κτηνοτρόφοι μπορούν να εντοπίσουν τομείς προς βελτίωση, να εφαρμόσουν στοχευμένες παρεμβάσεις και να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις που ευθυγραμμίζονται τόσο με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα όσο και με την οικονομική ευημερία.

Παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί στην κατανόηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών διαστάσεων της κτηνοτροφίας μέσω της AKZ, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετά ερευνητικά κενά. Πιθανότατα, οι μελλοντικές μελέτες να πρέπει να στοχεύσουν στη βελτίωση των μοντέλων AKZ, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε εκμετάλλευσης και στην διερεύνηση του συνδυασμού των αναδυόμενων τεχνολογιών και των βιώσιμων πρακτικών. Επιπλέον, η ανάπτυξη περαιτέρω κατευθυντήριων γραμμών και συστάσεων πολιτικής με βάση τα ευρήματα της AKZ θα μπορούσε να διευκολύνει την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στον κτηνοτροφικό κλάδο.

Τέλος, η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση υπογραμμίζει τη σημασία της υιοθέτησης μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και οικονομικής απόδοσης των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Εξετάζοντας με κριτικό και πολύπλευρο τρόπο την υπάρχουσα έρευνα, επισημάνθηκαν οι δυνατότητες των μεθοδολογιών AKZ σχετικά με την συνεισφορά πολύτιμων γνώσεων και πρακτικών στον κλάδο της κτηνοτροφίας. Στο εξής θα είναι χρήσιμο οι συλλογικές προσπάθειες μεταξύ ερευνητών, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και επαγγελματιών να είναι ουσιαστικές για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας της διατήρησης του περιβάλλοντος και της οικονομικής βιωσιμότητας στην κτηνοτροφία.

5 Βιβλιογραφία

- Ανέστης, Β. (2020). Ανέστης Βασίλειος (2020 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας) Ολοκληρωμένη αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της πρωτογενούς παραγωγής κτηνοτροφικών προϊόντων στην Ελλάδα.
<https://freader.ekt.gr/eadd/index.php?doc=49744&lang=el>
- Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1221/2009, (2009). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=celex%3A32009R1221>
- Κατσάνος, Α. (2017). Διεθνείς συμβάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και η ενσωμάτωσή τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.
- Μουσιόπουλος, Ν., Ντζιαχρήστος, Λ., & Σλίνη, Θ. (2015). Ανάλυση κύκλου ζωής. Στο Τεχνική προστασία περιβάλλοντος.
- Παναγόπουλος, Θ. (2004). ΔΙΚΑΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.
<https://www.politeianet.gr/books/9786185304621-panagopoulos-i-theodoros-stamoulis-dikaio-periballontos-49946>
- Ρούκουνας, Ε. (2011). ΔΗΜΟΣΙΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΔΙΚΑΙΟ.
<https://www.politeianet.gr/books/9789606228353-roukounas-emmanouil-nomiki-bibliothiki-dimosio-diethnes-dikaio-187024>
- Ammar, M., Zayed, T., & Moselhi, O. (2013). Fuzzy-Based Life-Cycle Cost Model for Decision Making under Subjectivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(5), 556–563. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000576](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000576)
- Anastas, P. T., & Zimmerman, J. B. (2018). The United Nations sustainability goals: How can sustainable chemistry contribute? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 150–153. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.017>
- Andretta, I., Hickmann, F., & Remus, A. (2021). *Frontiers | Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review*.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.750733/full>
- Asselin-Balencçon, A. C., & Jolliet, O. (2014). Metrics and indices to assess the life cycle costs and greenhouse gas impacts of a dairy digester. *Journal of Cleaner Production*, 79, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.024>
- Axon, & James. (2018). The UN Sustainable Development Goals: How can sustainable chemistry contribute? A view from the chemical industry—ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223618300208?via%3Dihub>
- Benis, K., Turan, I., Reinhart, C., & Ferrão, P. (2018). Putting rooftops to use – A Cost-Benefit Analysis of food production vs. Energy generation under Mediterranean climates. *Cities*, 78, 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.02.011>
- Benoît, C., Norris, G. A., Valdivia, S., Ciroth, A., Moberg, A., Bos, U., Prakash, S., Ugaya, C., & Beck, T. (2010). The guidelines for social life cycle assessment of products: Just in time! *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(2), 156–163.
<https://doi.org/10.1007/s11367-009-0147-8>
- Bjørn, A., Chandrakumar, C., Boulay, A.-M., Doka, G., Fang, K., Gondran, N., Hauschild, M. Z., Kerkhof, A., King, H., Margni, M., McLaren, S., Mueller, C., Owsianiak, M., Peters, G., Roos, S., Sala, S., Sandin, G., Sim, S., Vargas-Gonzalez, M., & Ryberg, M. (2020). Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications. *Environmental Research Letters*, 15(8), 083001.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7>
- Bjørn, A., Kalbar, P., Nygaard, S. E., Kabins, S., Jensen, C. L., Birkved, M., Schmidt, J., & Hauschild, M. Z. (2018). Pursuing necessary reductions in embedded GHG emissions

- of developed nations: Will efficiency improvements and changes in consumption get us there? *Global Environmental Change*, 52, 314–324.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.001>
- Bouwman, L., Daniel, J. S., Davidson, E. A., de Klein, C., Holland, E., Ju, X., Kanter, D., Oenema, O., Ravishankara, A. R., Skiba, U. M., van der Sluis, S., Sutton, M. A., van der Werf, G. R., Wallington, T. J., Wiesen, P., & Winiwarter, W. (2013, Νοέμβριος). Drawing down N₂O to protect climate and the ozone layer. A UNEP Synthesis Report [Publication - Report]. United Nations Environment Programme (UNEP).
<http://www.unep.org/pdf/UNEPN2Oreport.pdf>
- Bozzo, G., Barrasso, R., Grimaldi, C. A., Tantillo, G., & Roma, R. (2019). Consumer attitudes towards animal welfare and their willingness to pay. *Veterinaria Italiana*, 55(4), 289–297. <https://doi.org/10.12834/VetIt.1209.6739.4>
- Brent. (2009). Handbook of Research on Cost–Benefit Analysis. <https://www.e-elgar.com/shop/usd/handbook-of-research-on-cost-benefit-analysis-9781847200693.html>
- Campen, & Guidi, D. (2000). Solar Photovoltaics for Sustainable Agriculture and Rural Development.
https://www.researchgate.net/publication/273697943_Solar_Photovoltaics_for_Sustainable_Agriculture_and_Rural_Development
- Clark, M. A., Domingo, N. G. G., Colgan, K., Thakrar, S. K., Tilman, D., Lynch, J., Azevedo, I. L., & Hill, J. D. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705–708.
<https://doi.org/10.1126/science.aba7357>
- Csatári, N., & Vántus, A. (2015). The role of renewable energy on animal farms. 5163.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015EGUGA..17.5163C>
- Dalgaard, R., Halberg, N., & Hermansen, J. (2007). Danish pork production. An environmental assessment. *DJF Anim. Sci.*, 82, 1–34.
- Djekic, I., Radovic, C., Lukic, M., Stanišić, N., & Slobodan, L. (2015). Environmental life-cycle assessment in production of pork products. *Meso*, XVII, 469–476.
- Dopelt, K., Radon, P., & Davidovitch, N. (2019). Environmental Effects of the Livestock Industry: The Relationship between Knowledge, Attitudes, and Behavior among Students in Israel. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(8), 1359. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081359>
- Dourmad, J. Y., Ryschawy, J., Trousson, T., Bonneau, M., González, J., Houwers, H. W. J., Hviid, M., Zimmer, C., Nguyen, T. L. T., & Morgensen, L. (2014). Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8(12), 2027–2037. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002134>
- Dye, K. (2001). Aligning Accountability and Awareness for Environment Performance in Operations. *Production and Operations Management*, 10, 276–291.
<https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00375.x>
- European Commission. (2023). Environmental Footprint methods. https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods_en
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook :general guide for life cycle assessment: Detailed guidance. Publications Office.
<https://data.europa.eu/doi/10.2788/38479>
- European Environmental Bureau. (2018). The EU Product Environmental Footprint (PEF) Methodology.

- Fantin, V., Righi, S., Rondini, I., & Masoni, P. (2017). Environmental assessment of wheat and maize production in an Italian farmers' cooperative. *Journal of Cleaner Production*, P2(140), 631–643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.136>
- FAO. (2013). Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment.
- FAO. (2020). Environmental performance of pig supply chains. <https://www.fao.org/partnerships/leap/resources/guidelines/ru/>
- Finkbeiner, Schau, Lehmann, & Traverso. (2010). Sustainability | Free Full-Text | Towards Life Cycle Sustainability Assessment. <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/10/3309>
- Fuller, S., & Petersen, S. (1996). LIFE-CYCLE COSTING MANUAL for the Federal Energy Management Program, NIST Handbook 135, 1995 Edition. NIST. <https://www.nist.gov/publications/life-cycle-costing-manual-federal-energy-management-program-nist-handbook-135-1995>
- Gerber, P. J. (Επιμ.). (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., & Henderson, B. (2013). Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. <https://library.wmo.int/records/item/48098-tackling-climate-change-through-livestock-a-global-assessment-of-emissions-and-mitigation-opportunities>
- Gibson, G. E., & Hamilton, M. R. (1994). Analysis of Pre-project Planning Effort and Success Variables for Capital Facility Projects. The Institute.
- Gislason, S., Birkved, M., & Maresca, A. (2023). A systematic literature review of life cycle assessments on primary pig production: Impacts, comparisons, and mitigation areas. *Sustainable Production and Consumption*, 42, 44–62. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.09.005>
- Harris, S., & narayanaswamy, venky. (2009). A Literature Review of Life Cycle Assessment in Agriculture.
- Haxsen, G. (2008). Calculating costs of pig production with the InterPIG network.
- Henri, J.-F., & Journeault, M. (2008). Environmental Performance Indicators: An Empirical Study of Canadian Manufacturing Firms. *Journal of environmental management*, 87, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.009>
- Herbert, S., Hashemi, M., & Chickering-Sears, C. (2014, Οκτώβριος 27). Renewable Energy Production on Farms [Text]. Center for Agriculture, Food, and the Environment.
- Herrero, M., Thornton, P. K., Gerber, P., & Reid, R. S. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: Understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.003>
- Hoogmartens, R., & Dubois, M. (2014). Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 48. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2014.05.001>
- IFAD. (2012). Livestock and Renewable Energy. <https://www.ifad.org/documents/38714170/39148759/Livestock+and+renewable+energy.pdf/61af921d-a886-4558-b2d1-b97a0650ce06>
- Ilea, R. C. (2009). Intensive Livestock Farming: Global Trends, Increased Environmental Concerns, and Ethical Solutions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 22(2), 153–167. <https://doi.org/10.1007/s10806-008-9136-3>
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Jahangir, M. H., Montazeri, M., Mousavi, S. A., & Kargarzadeh, A. (2022). Reducing carbon emissions of industrial large livestock farms using hybrid renewable energy systems. *Renewable Energy*, 189, 52–65. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.022>
- Kesicki, F., & Strachan, N. (2011). Marginal abatement cost (MAC) curves: Confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1195–1204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004>
- Kiss, A., & Shelton, D. (1995). *Manual of European environmental law (Reprinted)*. Cambridge Univ. Press.
- Klöpffer, W. (2006). The Hitch Hiker's Guide to LCA - An orientation in LCA methodology and application. *International Journal of Life Cycle Assessment - INT J LIFE CYCLE ASSESS*, 11, 142–142. <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.008>
- Kuhre, W. (1998). *ISO 14031—Environmental Performance Evaluation (EPE) Book 4: Practical Tools and Techniques for Conducting an Environmental Performance Evaluation*: Kuhre, W. Lee: 9780132681865: Amazon.com: Books. <https://www.amazon.com/ISO-14031-Environmental-Performance-Evaluation/dp/0132681862>
- Lawson, N., Alvarado-Morales, M., Tsapekos, P., & Angelidaki, I. (2021). Techno-Economic Assessment of Biological Biogas Upgrading Based on Danish Biogas Plants. *Energies*, 14(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/en14248252>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M. A., De Vries, W., Weiss, F., & Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J. P., & Westhoek, H. (2014). The nitrogen footprint of food products in the European Union. *The Journal of Agricultural Science*, 152(S1), 20–33. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000786>
- Leitzmann, C. (2003). Nutrition ecology: The contribution of vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 657S-659S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.657S>
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5691-7>
- McAuliffe, G. A., Chapman, D. V., & Sage, C. L. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>
- McKinsey. (2020). *Climate risk and response | McKinsey*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/climate-risk-and-response-physical-hazards-and-socioeconomic-impacts>
- Meier, M., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*, 149, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>
- Mousiopoulos, N., Ntziachristos, L., Slini, T., Μουσιόπουλος, Ν., Ντζιαχρήστος, Λ., & Σλίνη, Θ. (2016). ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ. <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/1022>
- Naskou-Perraki, P. (Paroula). (2011). *Το Δίκαιο των Διεθνών Οργανισμών. Η θεσμική διάσταση*. 5η Έκδοση, Εκδόσεις Αντ.Ν.Σάκκουλα, Αθήνα-Κομοτηνή, 2011.
- Nationen: *Millenniums-Entwicklungsziele. Bericht 2015—Μελετητής Google*. (2010). https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Milleniums-

entwicklungsziele%20bericht%202015&author=Vereinte%20Nationen&publication_year=2015

- Norris, G. A. (2001). Integrating life cycle cost analysis and LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(2), 118–120. <https://doi.org/10.1007/BF02977849>
- Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., Castellani, V., & Sala, S. (2017). Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 140, 753–765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.080>
- Olsthoorn, X., Tyteca, D., Wehrmeyer, W., & Wagner, M. (2001). Environmental indicators for business: A review of the literature and standardisation methods. *Journal of Cleaner Production*, 9, 453–463. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00005-1)
- Peña, A., & Rovira-Val, M. R. (2020). A longitudinal literature review of life cycle costing applied to urban agriculture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(8), 1418–1435. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01768-y>
- Pennington, D. W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliet, O., Rydberg, T., & Rebitzer, G. (2004). Life Cycle Assessment Part 2: Current Impact Assessment Practice. *Environment international*, 30, 721–739. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.009>
- Pigmeat statistics. (2023, Οκτώβριος 6). https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/market-observatories/meat/pigmeat-statistics_en
- Reckmann, K., Traulsen, I., & Krieter, J. (2012). Environmental Impact Assessment—Methodology with special emphasis on European pork production. *Journal of Environmental Management*, 107, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.015>
- Renzulli, P. A., Bacenetti, J., Benedetto, G., Fusi, A., Ioppolo, G., Niero, M., Proto, M., Salomone, R., Sica, D., & Supino, S. (2015). Life Cycle Assessment in the Cereal and Derived Products Sector. Στο B. Notarnicola, P. A. Renzulli, R. Salomone, R. Roma, L. Petti, & A. K. Cerutti (Επιμ.), *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector* (σσ. 185–250). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3_4
- Ruckli, A. K., Hörtenhuber, S. J., Ferrari, P., Guy, J., Helmerichs, J., Hoste, R., Hubbard, C., Kasperczyk, N., Leeb, C., Malak-Rawlikowska, A., Valros, A., & Dippel, S. (2022). Integrative Sustainability Analysis of European Pig Farms: Development of a Multi-Criteria Assessment Tool. *Sustainability*, 14(10), 5988. <https://doi.org/10.3390/su14105988>
- Russel, S. (2014). Everything You Need to Know About Agricultural Emissions | World Resources Institute. World Resources Institute. <https://www.wri.org/insights/everything-you-need-know-about-agricultural-emissions>
- Ruviaro, C. F., de Leis, C. M., Florindo, T. J., de Medeiros Florindo, G. I. B., da Costa, J. S., Tang, W. Z., Pinto, A. T., & Soares, S. R. (2020). Life cycle cost analysis of dairy production systems in Southern Brazil. *Science of The Total Environment*, 741, 140273. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140273>
- Scarlat, N., Fahl, F., & Dallemand. (2018). A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe—ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118304714>
- Sohnius, F., Iglauer, M., Gussen, L. C., & Schmitt, R. H. (2023). Quantification of sustainability in production systems through a conceptual input-output model. *Procedia CIRP*, 118, 1016–1021. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.174>
- Southwest Environmental Finance Center. (2016). Life Cycle Costing / Life Cycle Phases / Overview. Integrated Asset Management Framework. <https://swefc.unm.edu/iamf/life-cycle-costing-life-cycle-phases-overview/>

- Statista. (2023). Global livestock GHG emissions 1990-2021. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1423069/global-livestock-ghg-emissions/>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Schellnhuber, H. J., Dube, O. P., Dutreuil, S., Lenton, T. M., & Lubchenco, J. (2020). The emergence and evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0005-6>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales M., M., & Haan, C. de. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Sutton, M., Howard, C., & Erisman, J. W. (2011). The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988>
- Swarr, T. E., Hunkeler, D., Klöpffer, W., Pesonen, H.-L., Ciroth, A., Brent, A. C., & Pagan, R. (2011). Environmental life-cycle costing: A code of practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(5), 389–391. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0287-5>
- Terlouw, E. M. C., Lawrence, A. B., & Illius, A. W. (1991). Influences of feeding level and physical restriction on development of stereotypies in sows. *Animal Behaviour*, 42(6), 981–991. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80151-4](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80151-4)
- Theofanidou, K. (2008). Περιβαλλοντική Επίδοση.
- Tomaschek, J. (2015). Marginal abatement cost curves for policy recommendation – A method for energy system analysis. *Energy Policy*, 85(C), 376–385. https://econpapers.repec.org/article/eeeene/pol/v_3a85_3ay_3a2015_3ai_3ac_3ap_3a376-385.htm
- UNDP. (2008). Expanding Energy Access in Developing countries: The role of mechanical power. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/Mechanical_Power_Report.pdf
- UNDP. (2015). Sustainable Development Goals | United Nations Development Programme. UNDP. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- UNFCCC. (2016). The Paris Agreement | UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United Nations. (2016). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 11 December 2015. Addendum. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session.
- US Department of State. (2023). Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. United States Department of State. <https://www.state.gov/key-topics-office-of-environmental-quality-and-transboundary-issues/convention-on-long-range-transboundary-air-pollution/>
- Valros, A., & Heinonen, M. (2015). Save the pig tail. *Porcine Health Management*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2055-5660-1-2>
- Van Stappen, F., Lories, A., Mathot, M., Planchon, V., Stilmant, D., & Debode, F. (2015). Organic Versus Conventional Farming: The Case of wheat Production in Wallonia (Belgium). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.047>
- Vanham, D., Bouraoui, F., Leip, A., Grizzetti, B., & Bidoglio, G. (2015). Lost water and nitrogen resources due to EU consumer food waste. *Environmental Research Letters*, 10(8), 084008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084008>

- Veronesi, F., Bare, J., Bulle, C., Frischknecht, R., Hauschild, M., Hellweg, S., Henderson, A., Joliet, O., Laurent, A., Liao, X., Lindner, J. P., Maia de Souza, D., Michelsen, O., Patouillard, L., Pfister, S., Posthuma, L., Prado, V., Ridoutt, B., Rosenbaum, R. K., ... Fantke, P. (2017). LCIA framework and cross-cutting issues guidance within the UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. *Journal of Cleaner Production*, 161, 957–967. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.206>
- Wolf, M., Pant, R., Chomkamsri, & Sala, S. (2012). *The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook—Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC66506>
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., & Watson, R. (2006). Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science*, 314(5800), 787–790. <https://doi.org/10.1126/science.1132294>
- Zira, S., Rydhmer, L., Ivarsson, E., Hoffmann, R., & Rööf, E. (2021). A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.028>