



Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Διπλωματική εργασία: Αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα
(carbon farms). Λειτουργία και χωροθέτησή τους στην
περιφέρεια Ηπείρου

Carbon sequestration farms (carbon farms). Operation and
location in the region of Epirus

Επιμέλεια: Λάζαρος Στράτος

Επιβλέπων καθηγήτρια: Όλγα Χριστοπούλου

Βόλος, Ιούλιος 2024

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤμΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: 08/07/2024

Ονοματεπώνυμο: Λάζαρος Στράτος

Υπογραφή:

Ευχαριστίες

Θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς την οικογένειά μου για την στήριξη και την ευκαιρία να περάσω και να σπουδάσω στο ΤΜΧΠΠΑ στον Βόλο. Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου, θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Όλγα Χριστοπούλου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους καθηγητές της σχολής για όσα έμαθα όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1. Διαδικασία της δέσμευσης.....	14
1.1 Οι εκπομπές CO ₂ από τη γεωργία – Ο κύκλος του άνθρακα	14
1.2 Η διαδικασία της δέσμευσης.....	15
1.3 Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα C.....	17
1.4 Διαφορετικές γεωργικές πρακτικές που δεσμεύουν άνθρακα στα εδάφη	19
1.4.1 Διαχείριση τυρφώνων.....	21
1.4.2 Αγροδασοπονία.....	23
1.4.3 Διατήρηση και ενίσχυση του οργανικού άνθρακα τους εδάφους σε ορυκτά εδάφη	30
1.4.4 Διαχείριση κτηνοτροφικών ειδών και κοπριάς	32
1.4.5 Διαχείριση θρεπτικών ουσιών σε καλλιέργειες και λιβάδια	34
1.5 Λόγοι που οδηγούν στις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα	35
Κεφάλαιο 2. Προκλήσεις σχετικές με τις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα	37
2.1 Οφέλη και κίνδυνοι των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα	37
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφορετικών πρακτικών των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα.....	38
2.3 Παραδείγματα από εφαρμογές αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα	39
Κεφάλαιο 3. Μηχανισμοί δέσμευσης άνθρακα του εδάφους.....	44
3.1 Προστασία του εδάφους από την οργανική ύλη.....	44
3.2 Εδαφικά αδρανή	45
3.3 Η διαχείριση των οικοσυστημάτων, η διατήρηση της οργανικής ύλης και η δέσμευση άνθρακα C.....	46
Κεφάλαιο 4. Θεσμικό Πλαίσιο	48
4.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό πλαίσιο	48
4.2 Η καλλιέργεια άνθρακα και οι σύνδεσμοι της με βασικούς τομείς πολιτικής της ΕΕ.....	49
4.2.1 Η γεωργία στο πλαίσιο της πολιτικής για το κλίμα της ΕΕ 2030	49
4.2.2 Το πακέτο Fit for 55 για την πράσινη μετάβαση.....	50
4.3 Το μέλλον των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα στα ελληνικά εδάφη	52
Κεφάλαιο 5. Μελέτη Περίπτωσης.....	53
5.1 Παρουσίαση της περιφέρειας Ηπείρου	53
5.2 Έδαφος της περιφέρειας Ηπείρου	55
5.3 Κλίμα της περιφέρειας Ηπείρου.....	55
5.4 Χρήσεις γης της περιφέρειας Ηπείρου.....	56

5.5 Δασοκομία	57
5.6 Φυσικό περιβάλλον και προστατευόμενες περιοχές Περιφέρειας Ηπείρου.....	58
5.7 Υπέδαφος της Περιφέρειας Ηπείρου	59
5.8 Χωροθέτηση εκτάσεων αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα	59
Κεφάλαιο 6. Συζήτηση	66
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	68
Βιβλιογραφία.....	70

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Επίδραση της διαχείρισης της γεωργικής γης στις ποσότητες άνθρακα του εδάφους	15
Εικόνα 2: Οι κύριες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και οι διαδικασίες διαχείρισης της γεωργικής γης.	18
Εικόνα 3: Αγροδασοκομικές πρακτικές στη Βόρεια Αμερική.	27
Εικόνα 4: Ανωμαλίες παγκόσμιας θερμότητας.	36
Εικόνα 5: Χάρτης της Περιφέρειας Ηπείρου στον οποίο απεικονίζεται το ανάγλυφο της περιοχής.	54
Εικόνα 6: Χρήσεις γης ανά περιφερειακή ενότητα στην Περιφέρεια Ηπείρου.	56
Εικόνα 7: Χάρτης χρήσεων γης στην Περιφέρεια Ηπείρου κατά Corine 2018.	57
Εικόνα 8: Δασικές εκτάσεις Περιφέρειας Ηπείρου ανά περιφερειακή ενότητα ΠΕΠ Ηπείρου 2020.	57
Εικόνα 9: Απεικόνιση Δασικών εκτάσεων στην Περιφέρεια Ηπείρου.	58
Εικόνα 10: Παράδειγμα Αγροκτήματος δέσμευσης άνθρακα περιοχή Ρωμανό.	62
Εικόνα 11: Παράδειγμα Αγροκτήματος δέσμευσης άνθρακα στην ΠΕ Ιωαννίνων περιοχή Κουμαριά.	63
Εικόνα 12: Ο πύργος καταγραφής των ποσοτήτων CO ₂ και οι δενδροφυτείες δέσμευσης άνθρακα.	65

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Επισκόπηση των διαφορετικών επιλογών καλλιέργειας άνθρακα.....	20
Πίνακας 2: Σημαντικές αγροδασοκομικές πρακτικές στις τροπικές περιοχές.....	28
Πίνακας 3: Αναφερόμενες τιμές δέσμευσης άνθρακα στη βλάστηση ορισμένων αγροδασοπονικών συστημάτων.....	29

Ευρετήριο όρων

A & R	Afforestation & Reforestation
AFSs	Agroforestry Systems
AFTA	Association for Temperate Agroforestry
ATP	Adenosine Triphosphate
CDM	Clean Development Mechanism
COFORMIT	Contribution Forest Mitigation
CS	Carbon Storage
Fit for 55	Πακέτο μέτρων της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια
GHG	Greenhouse Gases (αέρια του θερμοκηπίου)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MPTs	Multi-Purpose Trees
LULUCF	Land Use Land Use Change Forestry
NPP	Net Primary Production
SCSP	Soil Carbon Sequestration Potential
SOC	Soil Organic Carbon
SOM	Soil Organic Matter
POM	Particulate Organic Matter
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα που έχει τραβήξει την προσοχή του κόσμου κατά την ο πρόσφατο παρελθόν. Έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται σε όλο τον κόσμο τεράστιες προσπάθειες (συνέδρια και συζητήσεις, ερευνητικές δραστηριότητες, σχέδια αντιμετώπισης) σε διάφορα επίπεδα και κλίμακες για την κατανόηση της πολυπλοκότητας και της σοβαρότητας της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ακόμα περισσότερη σκέψη έχει αφιερωθεί στους τρόπους προσαρμογής στις αλλαγές και στο μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κλιματικής γίνονται προσπάθειες να μειωθεί η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας.

Τέτοιες μειώσεις, επιτυγχάνονται από τη δέσμευση άνθρακα (CS), τη διαδικασία απομάκρυνσης του άνθρακα (C) από την ατμόσφαιρα και την εναπόθεσή του σε μια δεξαμενή (UNFCCC, 2007).

Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα αναφέρονται σε γεωργικές πρακτικές οι οποίες δεσμεύουν τον άνθρακα από την ατμόσφαιρα και τον αποθηκεύουν στο έδαφος, στη βλάστηση και σε άλλη βιομάζα πάνω από το έδαφος. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πρακτικές όπως όργωμα διατήρησης, καλλιέργειες, αγροδοασοπονία και διαχειριζόμενη βόσκηση. Αυτές οι πρακτικές μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη βελτίωση της υγείας του εδάφους και της βιοποικιλότητας. Η καλλιέργεια άνθρακα μπορεί επίσης να συμβάλει στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των γεωργικών συστημάτων στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και κατά συνέπεια στο μετριασμό των ακραίων καιρικών φαινομένων ή των μεταβαλλόμενων προτύπων βροχοπτώσεων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θεσπίσει διάφορες οδηγίες και πολιτικές για την υποστήριξη των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα καθώς και άλλες πρακτικές που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί το πλαίσιο ανάπτυξης των εν λόγω αγροκτημάτων και επίσης θα διερευνηθεί το ενδεχόμενο ανάπτυξης και λειτουργίας των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα στην περιφέρεια της Ηπείρου.

Abstract

Climate change is a significant environmental issue that has drawn the world's attention in recent times. Enormous efforts have been and continue to be made globally at various levels and scales, including conferences, discussions, research activities, and mitigation plans, to understand the complexity and severity of the climate change caused by human activities. Even more thought has been given to ways of adapting to changes and mitigating negative impacts. In order to address the problem of climate change, efforts are being made to reduce the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Such reductions are achieved through carbon sequestration (CS), the process of removing carbon (C) from the atmosphere and depositing it in a reservoir (UNFCCC, 2007).

Carbon sequestration crops refer to agricultural practices that capture carbon from the atmosphere and store it in the soil, vegetation, and other biomass above the soil. This can include practices such as conservation tillage, cover crops, agroforestry, and managed grazing. These practices can help reduce the amount of greenhouse gases in the atmosphere, mitigate climate change, and improve soil health and biodiversity. Carbon farming can also contribute to improving the resilience of agricultural systems to the impacts of climate change and therefore mitigate extreme weather events or changing rainfall patterns.

The European Union (EU) has established various guidelines and policies to support carbon sequestration crops and other practices that can contribute to reducing greenhouse gas emissions and mitigating climate change.

This study will examine the framework for the development of these farms and also explore the possibility of developing and operating carbon sequestration farms in the region of Epirus.

Εισαγωγή

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, που συνήθως αναφέρεται ως υπερθέρμανση του πλανήτη, είναι ένα σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα που επηρεάζει τις ανθρώπινες ζωές και ολόκληρη τη Γη σήμερα. Η έννοια της υπερθέρμανσης του πλανήτη αναφέρεται στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης και των ωκεανών τις τελευταίες δεκαετίες. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, ιδρύθηκε το 1988 μια Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) υπό την αιγίδα του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO) με σκοπό την παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιστημονικών, τεχνικών και κοινωνικοοικονομικών πληροφοριών που σχετίζονται με τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η IPCC βασίζει την αξιολόγησή της κυρίως στη δημοσιευμένη και επιστημονική βιβλιογραφία. Οι πρώτες αξιολογήσεις της IPCC (1992), υποστήριξαν τη θέσπιση της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον.

Τα κράτη υπέγραψαν τη μεγάλη διεθνή συμφωνία για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη η οποία αποτέλεσε το θεμέλιο των διεθνών πολιτικών προσπαθειών προς αυτή την κατεύθυνση. Οι εκθέσεις της IPCC ασκούν επιρροή στις διασκέψεις των Μερών (COP) της Σύμβασης για το Κλίμα και κάθε έκθεση αξιολόγησης της, περιλαμβάνει όγκους εργασιών, αναφορών σύνθεσης οι οποίες αντιπροσωπεύουν τη λεπτομερή κατάσταση της κλιματικής αλλαγής.

Η δεύτερη αξιολόγηση της IPCC το 1996 και οι διαπραγματεύσεις οι οποίες την ακολούθησαν, οδήγησαν στην υιοθέτηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στην UNFCCC το 1997. Το εν λόγω Πρωτόκολλο επικυρώθηκε από 190 χώρες στο τέλος του 2009 (UNFCCC, 2010) και αποτελεί διεθνή συμφωνία η οποία θεσπίζει δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών θερμικής παγίδευσης των λεγόμενων αερίων θερμοκηπίου (GHG) από τις βιομηχανικές χώρες.

Μεταξύ των αερίων του θερμοκηπίου GHG, το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ πιστεύεται ότι είναι το πιο σημαντικό (άλλα σημαντικά αέρια είναι το μεθάνιο CH₄ και το υποξείδιο του αζώτου N₂O) που προκαλεί υπερθέρμανση του πλανήτη (Lorenz και Lal, 2010). Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ έχει αυξηθεί από την προβιομηχανική εποχή και την ποσότητα των περίπου 280 ppm, η οποία στη σημερινή εποχή υπολογίζεται σε περίπου 380 ppm. Εκτιμάται δε, ότι αυξάνεται με ρυθμό 2 ppm ετησίως (Tans, 2009) και ότι η μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη εξαρτάται από τη μείωση των

ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου GHG, ιδιαίτερα του CO₂. Επιπρόσθετα βρέθηκε ότι τέτοιες μειώσεις προκαλούνται από τη δέσμευση άνθρακα (CS), τη διαδικασία απομάκρυνσης του άνθρακα (C) από την ατμόσφαιρα και την εναπόθεσή του σε μια δεξαμενή (UNFCCC, 2007).

Μία άλλη προσέγγιση που έγινε δημοφιλής στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο ήταν η Αλλαγή Χρήσης Γης και η Δασοκομία (LULUCF), η οποία επέτρεπε τη δάσωση και την αναδάσωση (A & R) ως δραστηριότητες αντιστάθμισης των αερίων του θερμοκηπίου GHG. Η διαχείριση των δασών, των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων και η αναβλάστηση προστέθηκαν στον λεπτομερή κατάλογο των δραστηριοτήτων της προσέγγισης LULUCF το 2001 ως σημαντικό μέσο για τη δέσμευση και αποθήκευση ατμοσφαιρικού CO₂ από τη βλάστηση, τα εδάφη και τα προϊόντα βιομάζας. Κατά συνέπεια, η αγροδασοπονία αναγνωρίστηκε ως δραστηριότητα δέσμευσης άνθρακα (CS) στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων A & R, και τα αγροδασοπονικά συστήματα (AFSs) τράβηξαν την προσοχή ως στρατηγική δέσμευσης άνθρακα (CS) τόσο από τις βιομηχανικές όσο και από τις αναπτυσσόμενες χώρες (Albrecht & Kandji, 2003; Haile et al., 2008; Nair et al., 2009a; Sharrow & Ismail, 2004; Takimoto et al., 2008a,b).

Δεδομένου ότι ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (CDM) στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο επέτρεπε στις βιομηχανικές χώρες για τη δέσμευση του άνθρακα και τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου να επενδύσουν σε έργα μετριασμού στις αναπτυσσόμενες χώρες, αυτό αποτέλεσε μια ελκυστική ευκαιρία. Η ελκυστική ευκαιρία ήταν ευκαιρία επιβίωσης για τους αγρότες των αναπτυσσόμενων χωρών, οι οποίοι ασχολούνταν κυρίως με την αγροτοδασοπονία και μπορούσαν να επωφεληθούν οικονομικά από τις αγροδασικές πρακτικές. Έτσι, ο ρόλος της αγροδασοπονίας ως στρατηγικής δέσμευσης του άνθρακα CS, έχει δημιουργήσει σημαντικές προσδοκίες. Δεδομένου ότι τα εδάφη αποτελούν σημαντική δεξαμενή C, η κατανόηση της σχετικής με την αποθήκευση άνθρακα C διαδικασίας, σε εδάφη αγροδασοπονικών συστημάτων AFSs είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Ενώ είναι εξίσου σημαντικό από την πλευρά της γονιμότητας του εδάφους, ο παραδοσιακός ρόλος του άνθρακα C στη χρήση γης. Πολλές έρευνες πραγματοποιήθηκαν για να εντοπιστεί το δυναμικό της αγροδασοπονίας ως βιολογικής προσέγγισης της δέσμευσης του άνθρακα CS ώστε να αναδειχθούν τα διαθέσιμα επιστημονικά αποτελέσματα και να εξεταστούν οι προσεγγίσεις διαχείρισης για την αξιοποίηση του φαινομενικά υποεκμεταλλευμένου δυναμικού της αγροδασοπονίας.

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, τα αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα είναι μια σχετικά νέα ιδέα που κερδίζει έδαφος ως τρόπος αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης. Η ιδέα πίσω από τη δέσμευση άνθρακα είναι να χρησιμοποιηθούν γεωργικές πρακτικές που

δεσμεύουν τον άνθρακα από την ατμόσφαιρα και τον αποθηκεύουν στο έδαφος, στη βλάστηση και σε άλλη βιομάζα πάνω από το έδαφος. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη βελτίωση της υγείας του εδάφους και της βιοποικιλότητας (Foley et al., 2005).

Μία από τις βασικές πρακτικές στις εν λόγω καλλιέργειες άνθρακα είναι το όργανο συντήρησης, το οποίο περιλαμβάνει τη χρήση μεθόδων καλλιέργειας που ελαχιστοποιούν τις διαταραχές στο έδαφος. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πρακτικές όπως μη άροση ή μειωμένη άροση, που μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση της δομής του εδάφους και στη βελτίωση της κατακράτησης νερού. Με τη μείωση της ποσότητας της άροσης, η καλλιέργεια άνθρακα μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της ποσότητας οργανικής ύλης στο έδαφος, η οποία με τη σειρά της μπορεί να βοηθήσει στη δέσμευση άνθρακα.

Μια άλλη σημαντική πρακτική στη γεωργία άνθρακα είναι η καλλιέργεια κάλυψης, η οποία περιλαμβάνει τη φύτευση μιας ποικιλίας καλλιεργειών που μπορούν να καλλιεργηθούν μεταξύ των κύριων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αυτού του είδους μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της υγείας του εδάφους προσθέτοντας οργανική ύλη, μειώνοντας τη διάβρωση και βελτιώνοντας την κατακράτηση νερού. Η δέσμευση του άνθρακα συντελείται από τη συσσώρευση της βιομάζας στο έδαφος (Carvalho et al., 2009).

Η αγροδασοπονία είναι μια άλλη πρακτική που επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα, η οποία περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των δέντρων στα αγροτικά τοπία, με τη φύτευσή τους παράλληλα με τις καλλιέργειες. Τα δέντρα μπορούν να βοηθήσουν στη δέσμευση του άνθρακα απορροφώντας διοξείδιο του άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης και μπορούν επίσης να προσφέρουν μια σειρά από άλλα οφέλη, όπως τη βελτίωση της υγείας του εδάφους, την παροχή σκιάς και την παροχή ενδιαιτημάτων για την άγρια ζωή (Conant et al., 2001).

Τέλος η διαχειριζόμενη βόσκηση είναι μια άλλη πρακτική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ζώων που βόσκουν με τρόπο που μιμείται τα φυσικά πρότυπα βοσκής, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της υγείας των λιβαδιών. Χρησιμοποιώντας τη διαχειριζόμενη βόσκηση, οι αγρότες μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση του δυναμικού δέσμευσης άνθρακα αυτών των εκτάσεων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι η καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα μπορεί επίσης να συμβάλει στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των γεωργικών συστημάτων στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Βελτιώνοντας την υγεία του εδάφους, αυξάνεται η βιοποικιλότητα, μειώνεται η διάβρωση και γενικότερα βελτιώνεται η ποιότητα του εδάφους.

Η παρούσα εργασία θα εστιάσει στον ρόλο των γεωργικών εδαφών για η δέσμευση των εκπομπών CO₂, μελετώντας τις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα η οποία είναι μια πολλά

υποσχόμενη στρατηγική για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης και τη βελτίωση της υγείας των γεωργικών συστημάτων. Αρχικά θα περιγράψει τη διαδικασία δέσμευσης άνθρακα από το έδαφος και πώς μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO₂ από τη γεωργία. Σε ένα δεύτερο μέρος θα εξεταστεί πώς μπορεί να προωθηθεί η δημιουργία τέτοιων καλλιεργειών από τον αγροτικό κλάδο.

Αναλυτικά θα εξεταστεί το πλαίσιο ανάπτυξης τέτοιων πρακτικών με απώτερο σκοπό την ανάδειξη αγροκτημάτων της περιφέρειας Ηπείρου στις οποίες θα μπορούσαν να χωροθετηθούν και να λειτουργήσουν οι συγκεκριμένες πρακτικές.

Η δομή της εργασίας έχει ως ακολούθως:

Στο πρώτο Κεφάλαιο δίνονται ο σκοπός και το αντικείμενο της λειτουργίας των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα, αναπτύσσεται η προβληματική του θέματος και παρουσιάζονται αναλυτικά οι πρακτικές οι οποίες ακολουθούνται .

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή τους στην πράξη, στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, ενώ αναπτύσσονται τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα από την εν λόγω διαδικασία, χρησιμοποιώντας κάποια παραδείγματα και εφαρμογές της συγκεκριμένης στρατηγικής. Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μηχανισμοί με τους οποίους συμβαίνει η δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος ενώ αναλύονται οι διαφορετικοί τρόποι διαχείρισης του εδάφους και η επίδρασή τους στη δέσμευση του άνθρακα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στο θεσμικό πλαίσιο της λειτουργίας των αγροκτημάτων άνθρακα καθώς και στις ευρωπαϊκές πολιτικές και οδηγίες που έχουν θεσπιστεί για να την υποστηρίξουν. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιφέρεια της Ηπείρου ως μελέτη περίπτωσης, ερευνώντας το δυναμικό της και τις προοπτικές που υπάρχουν ώστε να αναπτυχθούν σε αυτή οι υπό εξέταση καλλιέργειες. Στο έκτο κεφάλαιο συζητούνται λεπτομερώς όλα τα ζητήματα που εξετάστηκαν στην παρούσα ενώ στο έβδομο κεφάλαιο βγαίνουν σημαντικά συμπεράσματα για τη διαδικασία και για την ανάπτυξη των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα στην περιφέρεια της Ηπείρου.

Κεφάλαιο 1. Διαδικασία της δέσμευσης

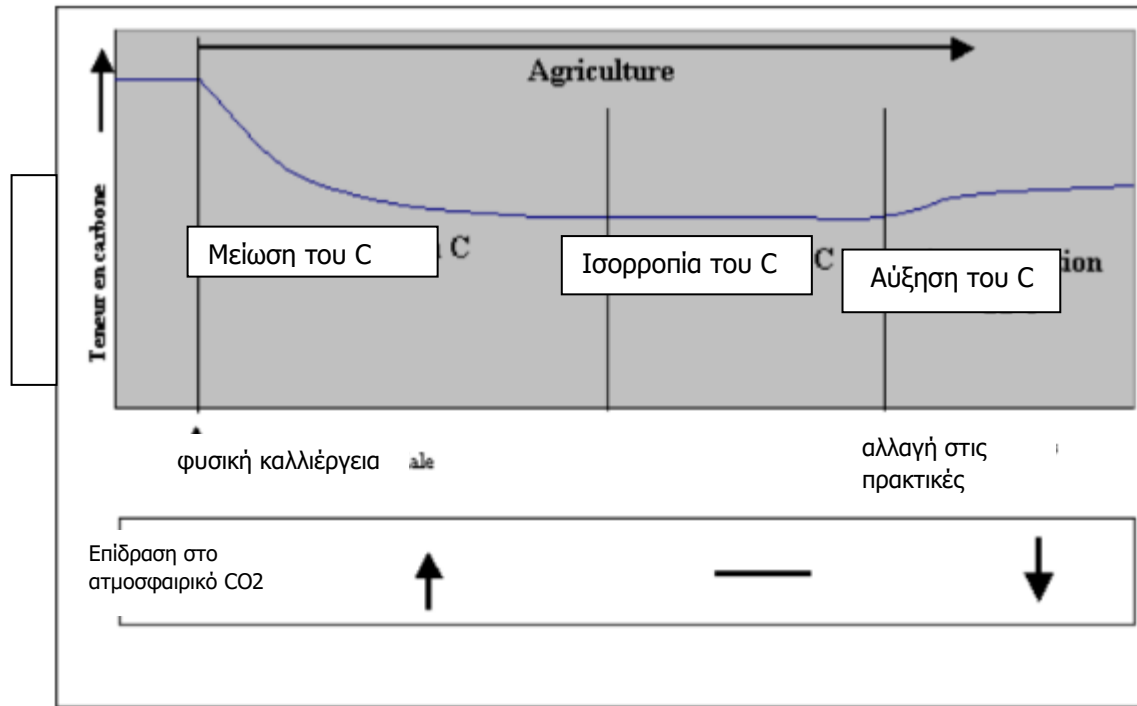
1.1 Οι εκπομπές CO₂ από τη γεωργία – Ο κύκλος του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ που απελευθερώνεται από τη γεωργία προέρχεται, αρχικά από αλλαγές που επηρεάζουν τα αποθέματα άνθρακα του εδάφους και από την ποσότητα CO₂ που απελευθερώνεται με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στο αγρόκτημα. Επίσης προέρχεται από τις έμμεσες εκπομπές οι οποίες συνδέονται με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή εισροών όπως φυτοφάρμακα και λιπάσματα.

Για να κατανοήσει κανείς τις εκπομπές CO₂ από τα εδάφη, είναι απαραίτητο να εξετάσει τον κύκλο του άνθρακα στα γεωργικά συστήματα. Σε γενικές γραμμές, το CO₂ από την ατμόσφαιρα απορροφάται από τα φυτά που το μετατρέπουν σε σάκχαρα όπως οι υδατάνθρακες και η κυτταρίνη. Το φυτό χρησιμοποιεί ορισμένες από τις ενώσεις του για τις ενεργειακές του ανάγκες και τις μετατρέπει ξανά σε CO₂. Μέρος του άνθρακα που απομένει στο φυτό αφαιρείται στη συνέχεια από το σύστημα κατά τη συγκομιδή του φυτού, το υπόλοιπο καταλήγει στο έδαφος και μετατρέπεται ξανά σε CO₂ από τα μικρόβια του εδάφους. Αυτός ο κύκλος είναι πανομοιότυπος σε όλα τα συστήματα καλλιέργειας, αλλά οι ποσότητες CO₂ που ανταλλάσσονται ποικίλλουν ανάλογα με το κλίμα, το έδαφος και τον τύπο του φυτού που καλλιεργείται. Αυτός ο κύκλος είναι λίγο πιο περίπλοκος όπου ασκείται κτηνοτροφία αφού αντί να αφαιρεθεί από το σύστημα, ένα μεγάλο μέρος της φυτικής ύλης χρησιμοποιείται ως χορτονομή για την τροφή του ζώου. Ένα μέρος αυτού του άνθρακα απελευθερώνεται από τα ζώα με τη μορφή CO₂, ένα άλλο μέρος αφαιρείται με τη μορφή ζωικών προϊόντων (κρέας για παράδειγμα) και μια σημαντική ποσότητα επιστρέφει στο έδαφος με τη μορφή κοπριάς.

Σε γη που έχει υποστεί ελάχιστη αλλαγή με τα χρόνια (ένα φυσικό λιβάδι ή ένα αγροτεμάχιο που χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο για αρκετές δεκαετίες, για παράδειγμα), υπάρχει μια ορισμένη ισορροπία μεταξύ του άνθρακα που δεσμεύεται από τα φυτά και αυτού που επιστρέφει προς το έδαφος, ή την ατμόσφαιρα, οπότε οι ποσότητες άνθρακα που αποθηκεύονται στο έδαφος δεν αλλάζουν. Ωστόσο, οποιαδήποτε αλλαγή στη διαχείριση της γης έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη του κύκλου του άνθρακα. Για παράδειγμα, όταν τα φυσικά δάση και τα λιβάδια καθαρίζονται για να ανοίξει ο δρόμος για τη γεωργία, μεγάλη ποσότητα της αρχικής οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CO₂ και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, όταν το έδαφος καλλιεργηθεί για μερικές δεκαετίες, οι ποσότητες που αποθηκεύονται στο έδαφος σταθεροποιούνται ξανά. Ωστόσο, όταν αλλάζουν οι γεωργικές πρακτικές για να αυξηθεί η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, συμβαίνει το αντίθετο φαινόμενο: το έδαφος δεσμεύει περισσότερο CO₂ από ό,τι εκπέμπει, το CO₂

επομένως απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα και αποθηκεύεται στο έδαφος. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται δέσμευση άνθρακα ενώ η γεωργική γη που συσσωρεύει άνθρακα χαρακτηρίζεται ως καταβόθρα. Η Εικόνα 1 απεικονίζει τις αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα του εδάφους στη γεωργική γη σε διάφορες χρονικές στιγμές.



Εικόνα 1: Επίδραση της διαχείρισης της γεωργικής γης στις ποσότητες άνθρακα του εδάφους
Πηγή: Desjardins, 1998

Επομένως, μια χώρα θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την ικανότητα των γεωργικών εδαφών της, για τη δέσμευση άνθρακα ώστε να μειωθεί το ισοζύγιο εκπομπών GHG της. Ωστόσο, αυτή η χωρητικότητα δεν είναι απεριόριστη, καθώς οι αποθήκες άνθρακα στο έδαφος φτάνουν σε μια νέα σταθερή κατάσταση μετά από αρκετά χρόνια όταν δεν συμβαίνουν και αλλαγές στη διαχείριση της γης.

1.2 Η διαδικασία της δέσμευσης

Η δέσμευση άνθρακα είναι η διαδικασία απομάκρυνσης του C από την ατμόσφαιρα και εναπόθεσής του σε μια δεξαμενή. Συνεπάγεται τη μεταφορά του ατμοσφαιρικού C, ιδιαίτερα του CO₂, και την ασφαλή αποθήκευσή του σε πισίνες μεγάλης διάρκειας ζωής (UNFCCC, 2007). Ο μακροπρόθεσμος παγκόσμιος κύκλος C, ο οποίος περιγράφει τον βιογεωχημικό κύκλο του C μεταξύ επιφανειακών συστημάτων που αποτελούνται από ωκεανούς, ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα και έδαφος, ελέγχει τη συγκέντρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα σε γεωλογικές χρονικές κλίμακες

άνω των 100.000 ετών (Berner, 2003). Ο βραχυπρόθεσμος κύκλος C για δεκαετίες και αιώνες έχει μεγαλύτερη σημασία από τον μακροπρόθεσμο κύκλο στα δάση, τα AFS και τα γεωργικά οικοσυστήματα. Οι σημαντικές διαδικασίες αυτού του κύκλου είναι η στερέωση του ατμοσφαιρικού CO₂ στα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης και η επιστροφή μέρους αυτού του C στην ατμόσφαιρα μέσω της αναπνοής φυτών, ζώων και μικροβίων ως CO₂ υπό αερόβιες συνθήκες και CH₄ υπό αναερόβιες συνθήκες. Οι πυρκαγιές στη βλάστηση και η καύση και ο καθαρισμός της γης για καλλιέργεια για γεωργικούς και δασικούς σκοπούς, μπορούν επίσης να απελευθερώσουν σημαντικές ποσότητες CO₂ (και CH₄) στην ατμόσφαιρα. αλλά μεγάλο μέρος αυτού του C συλλαμβάνεται ξανά σε επακόλουθη αναγέννηση της βλάστησης (Lorenz and Lal, 2010; Nair et al., 2010).

Οι δεξαμενές άνθρακα σε τέτοια επίγεια συστήματα περιλαμβάνουν την υπέργεια φυτική βιομάζα, ανθεκτικά προϊόντα που προέρχονται από βιομάζα όπως ξυλεία και υπόγεια βιομάζα όπως ρίζες, μικροοργανισμούς του εδάφους και τις σχετικά σταθερές μορφές οργανικού και ανόργανου C σε εδάφη και βαθύτερα υπόγεια περιβάλλοντα. Έτσι, από την άποψη της αγροδασοπονίας, το CS περιλαμβάνει κυρίως την πρόσληψη ατμοσφαιρικού CO₂ κατά τη φωτοσύνθεση και τη μεταφορά του σταθερού C στη βλάστηση και τα υπολείμματα στο έδαφος για «ασφαλή» αποθήκευση.

Μάλιστα η Επιστημονική Κοινότητα Εδαφους Αμερικής (Soil Science Society of America SSSA) αναγνώρισε ότι ο άνθρακας C απομονώνεται στα εδάφη με δύο τρόπους: τον άμεσο και τον έμμεσο (SSSA, 2001). Η άμεση δέσμευση του άνθρακα CS του εδάφους συμβαίνει με ανόργανες χημικές αντιδράσεις που μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ σε ανόργανες ενώσεις άνθρακα C του εδάφους, όπως το ανθρακικό ασβέστιο. Η έμμεση δέσμευση του άνθρακα CS του φυτού εμφανίζεται καθώς τα φυτά φωτοσυνθέτουν το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα CO₂ σε φυτική βιομάζα. Μέρος αυτής της φυτικής βιομάζας στη συνέχεια απομονώνεται ως οργανικός άνθρακας του εδάφους (SOC) κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Η ποσότητα του άνθρακα C η οποία απομονώνεται στο έδαφος μιας τοποθεσίας αντανakλά τη μακροπρόθεσμη ισορροπία μεταξύ των μηχανισμών πρόσληψης και απελευθέρωσης άνθρακα C. Επειδή αυτοί οι ρυθμοί ροής είναι μεγάλοι, όταν συμβαίνουν αλλαγές όπως οι αλλαγές στην κάλυψη γης ή/και στις πρακτικές χρήσης γης που επηρεάζουν τις δεξαμενές και τις ροές του οργανικού άνθρακα του εδάφους SOC έχουν μεγάλες επιπτώσεις στον κύκλο του άνθρακα C και στο κλιματικό σύστημα της γης.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η δέσμευση του άνθρακα CS εμφανίζεται σε δύο κύρια τμήματα του αγροδασοπονικού οικοσυστήματος, τα οποία αφορούν το υπέργειο και το υπόγειο έδαφος. Το καθένα από αυτά, μπορεί να χωριστεί σε υποτμήματα. Το υπέργειο τμήμα περιλαμβάνει συγκεκριμένα μέρη φυτών όπως το στέλεχος ή τα φύλλα των δέντρων και των

πωδών συστημάτων. Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει τη ζωντανή βιομάζα, όπως τις ρίζες ή τα υπόλοιπα υπόγεια μέρη των φυτών, τους εδαφικούς οργανισμούς και τον άνθρακα C που υπάρχουν αποθηκευμένα στα εδάφη. Η συνολική ποσότητα που απομονώνεται σε κάθε τμήμα διαφέρει σημαντικά ανάλογα με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής, του τύπου του συστήματος όπως τη φύση και την ηλικία των πολυετών φυτών και των δέντρων. Επίσης εξαρτάται από την ποιότητα της τοποθεσίας και την προηγούμενη χρήση γης. Εκτιμάται ότι κατά μέσο όρο, το έδαφος και τα υπέργεια μέρη συγκρατούν σημαντικά τμήματα, περίπου το 60% και το 30%, αντίστοιχα, του συνολικού άνθρακα C που είναι αποθηκευμένο σε συστήματα χρήσης γης βασισμένα σε δέντρα (Lal, 2008).

Με βάση την αντίληψη ότι η ενσωμάτωση δέντρων σε καλλιέργειες και βοσκότοπους θα είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη καθαρή αποθήκευση άνθρακα C πάνω και κάτω από το έδαφος (Haile et al., 2008; Palm et al., 2004), πιστεύεται ότι τα αγροδασοπονικά συστήματα AFSs έχουν υψηλότερη πιθανότητα να απομονώσουν τον άνθρακα C από βοσκοτόπια ή καλλιέργειες αγρού (Kirby & Potvin, 2007)

1.3 Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα C

Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα C αναφέρονται σε γεωργικές πρακτικές που δεσμεύουν τον άνθρακα από την ατμόσφαιρα και τον αποθηκεύουν στο έδαφος, στη βλάστηση και σε άλλη βιομάζα πάνω από το έδαφος. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει πρακτικές όπως όργωμα διατήρησης, καλλιέργειες, αγροδασοπονία και διαχειριζόμενη βόσκηση. Έχει βρεθεί ότι αυτές οι πρακτικές μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη βελτίωση της υγείας του εδάφους και της βιοποικιλότητας. Επιπρόσθετα, η καλλιέργεια άνθρακα μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των γεωργικών συστημάτων στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, όπως στα ακραία καιρικά φαινόμενα και στα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχοπτώσεων.

Η καλλιέργεια άνθρακα έχει λάβει ευρεία προσοχή τα τελευταία χρόνια. Η πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα εξέτασε τον Δεκέμβριο του 2021 το ρυθμιστικό πλαίσιο για την πιστοποίηση της δέσμευσης του άνθρακα ενώ το 2022 ακολούθησαν οι προτάσεις της Επιτροπής για τον τρόπο προώθησης των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα στην ΕΕ. Άλλωστε το σχέδιο Fit for 55 υποδήλωσε ξεκάθαρα τον σημαντικό ρόλο της γεωργίας και της χρήσης της γης για την επίτευξη των στόχων μετριασμού του κλίματος και την αύξηση των στόχων απομάκρυνσης των επικίνδυνων αερίων για την περίοδο 2026-2030. Ο στόχος εστιάζει σε έναν κλιματικά ουδέτερο τομέα γεωργίας, χρήσης

γης και δασοκομίας έως το 2035, καθώς και αύξηση των απαιτήσεων παρακολούθησης και συμμόρφωσης.

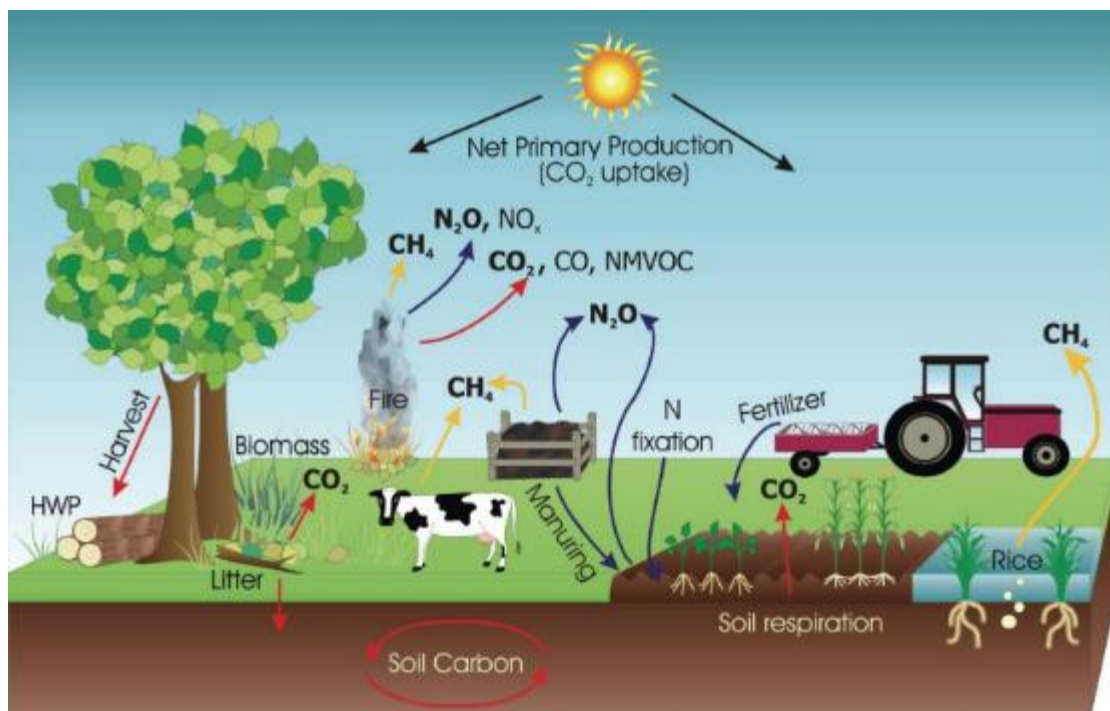
Η καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα, όπως προαναφέρθηκε επικεντρώνεται στη «διαχείριση δεξαμενών άνθρακα», των ροών του άνθρακα και των ροών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) σε επίπεδο αγροκτήματος, με σκοπό τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα ένα σχέδιο διαχείρισης περιλαμβάνει τη διαχείριση τόσο της γης και των καλλιεργειών όσο και τις εγκαταστάσεις των κτηνοτροφικών μονάδων, αλλά και όλες τις δεξαμενές άνθρακα σε εδάφη, τα υλικά της βλάστησης, συν τις ροές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), του μεθανίου (CH_4) και του οξειδίου του αζώτου (N_2O) (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021a).

Για τους διαχειριστές της γης, αυτός ο ορισμός σημαίνει ότι τα αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα καλύπτουν τις γεωργικές πρακτικές ή τις αλλαγές χρήσης της γης οι οποίες μπορούν να αποφέρουν ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα αποτελέσματα: 1) αφαίρεση άνθρακα (δέσμευση) και η ακόλουθη αποθήκευση του πάνω ή κάτω από βιομάζα, πάνω ή κάτω από το έδαφος και σε γεωργικά εδάφη.

2) την αποφυγή μελλοντικών εκπομπών CO_2 και άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

3) τη μείωση του υφιστάμενου CO_2 και άλλων GHG εκπομπών.

Στην Εικόνα 2 απεικονίζονται οι κύριες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και οι διαδικασίες διαχείρισης των αγροκτημάτων.



Εικόνα 2: Οι κύριες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και οι διαδικασίες διαχείρισης της γεωργικής γης.

Πηγή: IPCC, 2006.

1.4 Διαφορετικές γεωργικές πρακτικές που δεσμεύουν άνθρακα στα εδάφη

Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα περιλαμβάνουν μια σειρά από γεωργικές πρακτικές ή αλλαγές χρήσης γης και αρκετές διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις. Οι πρακτικές όπως οι καλλιέργειες κάλυψης, οι βελτιωμένες αμειψισπορές, η αποκατάσταση των τυρφώνων ή η επέκταση των αγροδασοπονικών συστημάτων βασίζονται και λειτουργούν με φυσικές διεργασίες στα αγροοικοσυστήματα. Αυτές οι πρακτικές συνήθως τείνουν να μειώσουν τη γεωργική παραγωγή, κατά συνέπεια συνεπάγονται μειωμένη ένταση παραγωγής γεγονός το οποίο μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη για το περιβάλλον και την αειφορία της γεωργίας. Επιπλέον, μπορούν να αυξήσουν την ανθεκτικότητα στις κλιματικές επιπτώσεις, συμβάλλοντας έτσι στη βελτιωμένη σταθερότητα των αποδόσεων ωφελώντας τις αγροτικές επιχειρήσεις. Μέσα από την αποτελεσματικότερη χρήση των θρεπτικών συστατικών των καλλιεργειών, των καθεστώτων διατροφής των ζώων ή της διαφοροποίησης των καλλιεργειών μπορεί να επιτευχθεί μακρά βιωσιμότητα.

Ωστόσο υπάρχουν και τεχνολογικές επιλογές, όπως η στέγαση ζώων χαμηλών εκπομπών, οι χωνευτές βιοαερίου ή οι αναστολείς νιτροποίησης¹ οι οποίες μπορούν επίσης να μειώσουν την ένταση των εκπομπών GHG ανά μονάδα παραγωγής και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των πόρων, ιδιαίτερα στην κτηνοτροφία. Ωστόσο και αυτές οι πρακτικές μπορεί να έχουν αρνητικές συνέπειες από τις οποίες δεν μπορούν να επιτευχθούν αυτόματα, απόλυτες μειώσεις των εκπομπών. Αυτό σαν γεγονός, απαιτεί να γίνει σαφές το πλαίσιο της καλλιέργειας δέσμευσης άνθρακα, δηλαδή να προσδιοριστεί ποιοι τύποι γεωργικών και τεχνολογικών λύσεων θα υποστηριχθούν και θα προωθηθούν για να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επιπλέον, πέρα από τη γενική ανάγκη της μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου, θα πρέπει να εξεταστούν και να εξισορροπηθούν ταυτόχρονα άλλα περιβαλλοντικά συν-οφέλη και η διασφάλιση της ανθεκτικότητας της γεωργίας της ΕΕ σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα.

Έτσι η καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα χωρίζεται σε πέντε κύριες υποκατηγορίες παρεμβάσεων οι οποίες είναι:

- 1) επαναδιαβροχή και αποκατάσταση των τυρφώνων,
- 2) ανάπτυξη και συντήρηση αγροδασοπονικού συστήματος,
- 3) συντήρηση και ενίσχυση του οργανικού άνθρακα του εδάφους (SOC) σε ορυκτά εδάφη,
- 4) διαχείριση των ζώων και της κοπριάς τους και
- 5) διαχείριση των θρεπτικών ουσιών σε καλλιέργειες και λιβάδια.

¹ Οι αναστολείς νιτροποίησης είναι χημικές ουσίες που μπορούν να προστεθούν στο έδαφος για τη μείωση των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου (και της έκπλυσης νιτρικών αλάτων) αποτρέποντας να αναπτυχθούν στο έδαφος βακτήρια από τη μετατροπή του αζώτου του λιπάσματος ή των ούρων των ζώων σε νιτρικά.

Αυτές οι υποκατηγορίες ποικίλλουν ως προς τις δυνατότητές τους να αυξήσουν τη δέσμευση άνθρακα ή να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και επίσης θέτουν ευκαιρίες και προκλήσεις όσον αφορά τα συν-οφέλη, τους κινδύνους, το κόστος, τα κίνητρα και την τεχνογνωσία (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021a). Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί, γίνεται μια ανάλυση των διαφορετικών επιλογών και πρακτικών διαχείρισης και των χαρακτηριστικών τους

Πίνακας 1: Επισκόπηση των διαφορετικών επιλογών καλλιέργειας άνθρακα.
Πηγή: McDonald et al., 2021.

Κριτήριο αξιολόγησης	Διαχείριση τυρφώνων	Αγροδασοπονία	Διατήρηση και ενίσχυση SOC σε ορυκτά εδάφη	Κτηνοτροφία και διαχείριση κοπριάς	Διαχείριση θρεπτικών ουσιών σε καλλιέργειες και λιβάδια
Δράσεις εκτροφής άνθρακα	Επαναβροχή / συντήρηση / διαχείριση τυρφώνων	Δημιουργία, αποκατάσταση και διαχείριση ξυλωδών χαρακτηριστικών στο τοπίο	Διαχείριση καλλιεργειών και λιβαδιών	Τεχνολογίες για τη μείωση του εντερικού μεθανίου, διαχείριση κοπριάς, αυξημένη απόδοση κοπαδιών και ζωοτροφών	Βελτιωμένος προγραμματισμός θρεπτικών συστατικών, χρόνος και εφαρμογή λιπασμάτων, μείωση λιπασμάτων
Συνολικό δυναμικό μετριασμού της ΕΕ (MtCO ₂ -e/έτος)	51 - 54 Mt CO ₂ -e/yr	8 – 235 Mt CO ₂ -e/yr	9 – 70 Mt CO ₂ -e/yr	14 – 66 Mt CO ₂ -e/yr	19 Mt CO ₂ -e/yr
Δυναμικό Μετριασμού ανά εκτάριο (t CO ₂ -e/ha/έτος)	3.5 - 29	0.03 – 27	0.5 - 7	μη διαθέσιμο	μη διαθέσιμο
Μηχανισμός μετριασμού	Αποφυγή εκπομπών	Αφαίρεση	Αφαίρεση και αποφυγή εκπομπών	Μείωση εκπομπών	Μείωση εκπομπών
Είδος αλλαγής	Χρήση γης	Διαχείριση	Διαχείριση και χρήση γης	Διαχείριση	Διαχείριση

Συν - οφέλη για τους αγρότες	Δυνατότητα για ουροκαλλιέργεια (παραγωγική χρήση υγρών τυρφώνων)	Η διαφοροποίηση των εκροών προστατεύει από την αποτυχία μιας καλλιέργειας	Βελτιωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και λειτουργικότητα των εδαφών, παραγωγικότητα	Χαμηλότερο κόστος εισροών (ζωοτροφές, λίπασμα, ενέργεια), υγεία του εδάφους, παραγωγικότητα	Χαμηλότερο κόστος εισροών
Κοινωνικά συν - οφέλη	Βιοποικιλότητα, ρύθμιση πλημμυρών, ποιότητα νερού	Βελτιωμένη κατακράτηση νερού, μικροκλίμα, υγεία του εδάφους, βιοποικιλότητα	Βελτιωμένη κατακράτηση νερού, υγεία του εδάφους, βιοποικιλότητα	Μειωμένη απορροή θρεπτικών συστατικών, μειωμένες εκπομπές αμμωνίας	Μειωμένη απορροή θρεπτικών συστατικών, μειωμένες εκπομπές αμμωνίας
Κίνδυνοι	Εκπομπές CH ₄ (αν και καθαρό όφελος GHG), μείωση της παραγωγής	Επίπτωση των μη ιθαγενών ειδών στη βιοποικιλότητα	Ο βιοαπάνθρακας και το κομπόστ εκτός αγροκτήματος επηρεάζουν την υγεία/βιοποικιλότητα του εδάφους	Καλή μεταχείριση των ζώων, επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού των προσθέτων ζωοτροφών	Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού των αναστολέων νιτροποίησης

1.4.1 Διαχείριση τυρφώνων

Οι τυρφώνες είναι υδάτινα οικοσυστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και επομένως αποθηκευμένο άνθρακα (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021b). Οι στραγγισμένοι τυρφώνες απελευθερώνουν τον άνθρακα που έχει προηγουμένως αποθηκευτεί καθώς και άλλα αέρια του θερμοκηπίου GHG (ιδιαίτερα οξείδιο του αζώτου). Οι τυρφώνες μπορούν να αντιμετωπιστούν για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής με τρεις τρόπους: διατηρώντας τις υπάρχουσες εκτάσεις τους υγρές για να αποφευχθούν οι εκπομπές (για τη διατήρηση της φύσης), με επαναδιαβροχή και αποκατάσταση των τυρφώνων που είχαν αποστραγγιστεί (για την αποφυγή εκπομπών από υποβαθμισμένους τυρφώνες) ή με την προσαρμογή των στραγγισμένων τυρφώνων που δεν μπορούν να επαναδιαβραχούν σε παραγωγική χρήση (Joosten et al., 2012).

Οι εκτάσεις τυρφώνων αποθηκεύουν 4 με 5 φορές περισσότερο άνθρακα σε σύγκριση με τα δέντρα (Swindles et al. 2019), άρα μια τεράστια δεξαμενή άνθρακα μπορεί με αυτό τον τρόπο να συντηρηθεί. Στην ΕΕ, οι στραγγισμένοι τυρφώνες εκπέμπουν 220 Mt CO₂-e ετησίως, ποσότητα που αποτελούσε το 5% των συνολικών εκπομπών GHG της ΕΕ το 2017 (Greifswald Mire Center et al., 2019).

Οι Perez Dominguez et al. (2020), εκτίμησαν ότι ο μέγιστος ετήσιος πρόσθετος μετριασμός μέσω της χαλάρωσης της εντατικής καλλιέργειας και της επαναδιαβροχής των οργανικών εδαφών στην ΕΕ προβλέπονται να είναι 51,7 Mt CO₂-e το 2030. Επιπλέον, η διακοπή της εξόρυξης τύρφης θα μπορούσε να αποφύγει την ποσότητα των 9 Mt CO₂-e ετησίων εκπομπών (European Commission, 2020a).

Οι Roe et al. (2021) εκτίμησαν ότι ο εφικτός μετριασμός από την εκ νέου διαβροχή τυρφώνων θα είναι 54 Mt CO₂-e ετησίως (μέσος όρος για την περίοδο 2020-2050).

Άρα με βάση ανά εκτάριο, αναδεικνύεται ότι η αποκατάσταση των τυρφώνων είναι μια εξαιρετικά αποτελεσματική δράση μετριασμού. Ενώ οι Günther et al. (2020) εκτίμησαν ότι το ανώτατο όριο του επιπέδου των εκπομπών που θα αποφευχθούν με την επαναδιαβροχή θα ανέλθουν ως και 29 τόνους CO₂-e ανά εκτάριο ετησίως. Από την άλλη η μεθοδολογία των MoorFutures, ενός γερμανικού αγροκτήματος δέσμευσης άνθρακα, έθεσαν ένα εύρος μεταξύ των 3,5-24 τόνων CO₂ -e ανά εκτάριο ανά έτος και ανάλογα με την προηγούμενη χρήση γης και την τελική κατάσταση (Joosten et al., 2015). Εκτός από την αποφυγή εκπομπών, η αποκατάσταση των τυρφώνων μπορεί να οδηγήσει σε κάποια δέσμευση, αν και σε χαμηλότερο ποσοστό λιγότερο από 1 τόνο CO₂-e ανά εκτάριο ετησίως (Wilson et al., 2016).

Παρά το γεγονός ότι η εκ νέου διαβροχή μπορεί να οδηγήσει σε βραχυπρόθεσμη αύξηση των εκπομπών μεθανίου, αυτό αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση CO₂ και μπορεί να μειωθεί με την κατάλληλη διαχείριση όπως με την αφαίρεση βιομάζας πριν από την αύξηση του υδροφόρου ορίζοντα (Günther et al., 2020).

Το δυναμικό μετριασμού διαφέρει σημαντικά μεταξύ των χωρών και τούτο γιατί οι περισσότεροι τυρφώνες βρίσκονται στη βόρεια Ευρώπη. Τα επίπεδα υποβάθμισης και επομένως το δυναμικό μετριασμού με την εκ νέου διαβροχή διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ευρωπαϊκών κρατών. Για παράδειγμα, το 85% των τυρφώνων που βρίσκονται στη Νορβηγία είναι σε υγιή κατάσταση, σε αντίθεση με τους τυρφώνες της Γερμανίας που μόνο το 2% αυτών είναι υγιείς (Tanneberger et al., 2017).

Οι τυρφώνες μπορούν να αποθηκεύσουν μόνιμα άνθρακα με την προϋπόθεση ότι αποτελούν αντικείμενο συνεχούς διαχείρισης για την αποθήκευση αυτή (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021b). Αυτό σημαίνει ότι η αποθήκευση άνθρακα θα εμφανίσει παροδικότητα μόνο από κάποια ανθρώπινη ενέργεια, όπως με την εκ νέου αποστράγγιση ή την αποτυχία διατήρησης των τυρφώνων, ή από κάποια φυσική καταστροφή ή την άνοδο της στάθμης της θάλασσας (Royal Society and Royal Academy of Engineering 2018).

Η καλή κατάσταση των τυρφώνων παρέχει πολλά συν-οφέλη, όπως τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, την προστασία από τις πλημμύρες ή το φιλτράρισμα του νερού. (Joosten et al. 2015). Η εκ νέου διαβροχή και η αποκατάσταση στραγγισμένων τυρφώνων μπορεί να

αποκαταστήσει την παροχή αυτών των συν-οφελών, αλλά επειδή η αποκατάσταση των οικοσυστημάτων στην αρχική τους κατάσταση είναι συχνά δύσκολη, οι αποκατεστημένοι τυρφώνες μπορεί να μην προσφέρουν το ίδιο επίπεδο βιοποικιλότητας με τους διατηρημένους τυρφώνες (Lamers et al., 2015; Renou-Wilson et al., 2019).

Υπάρχει κίνδυνος η επαναδιαβροχή των τυρφώνων να ανταγωνίζεται δυνητικά τη βιοενέργεια με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα, τη δάσωση και τη γεωργία, ωστόσο ο ανταγωνισμός θα είναι σχετικά χαμηλός δεδομένου ότι η συνολική περιοχή των τυρφώνων είναι περιορισμένη (Royal Society and Royal Academy of Engineering, 2018).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επαναδιαβροχή των τυρφώνων πρέπει να είναι ανθεκτική στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής για να διασφαλιστεί ότι η αποθήκευση άνθρακα θα είναι μόνιμη. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί ότι η επαναδιαβροχή ενός αγρόκτημα δεν θα έχει επιπτώσεις οικολογικής διαρροής σε γειτονικά αγροκτήματα όπως για παράδειγμα σε κάποιο υδρολογικά συνδεδεμένο σύστημα.

1.4.2 Αγροδασοπονία

Η αγροδασοπονία ορίζεται από το Παγκόσμιο Κέντρο Αγροδασών (www.icraf.cgiar.org) ως ένα δυναμικό με οικολογική βάση σύστημα διαχείρισης φυσικών πόρων το οποίο μέσα από την ενσωμάτωση των δέντρων στα αγροκτήματα και στο αγροτικό τοπίο, διαφοροποιεί και υποστηρίζει την παραγωγή. Η αγροδασοπονία έχει σημαντικά οφέλη (οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά) για τους χρήστες. Παράλληλα βελτιστοποιεί τις βιολογικές αλληλεπιδράσεις που δημιουργούνται όταν τα δέντρα και οι θάμνοι συνδυάζονται σκόπιμα με καλλιέργειες και ζώα».

Όλοι οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί για την αγροδασοπονία αναφέρονται στο σκόπιμο συνδυασμό καλλιέργειας δέντρων, συμβατικών καλλιεργειών και ζώων, έτσι ώστε να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών συνδυασμών, ποικίλα οφέλη και οικοσυστημικές υπηρεσίες (Nair et al., 2008, 2009a)

Τα αγροδασοπονικά συστήματα που περιλαμβάνουν ξυλώδη βλάστηση, όπως δέντρα και θάμνους ή συστήματα καλλιεργειών και ζώων, επιτυγχάνουν να αποθηκεύσουν άνθρακα στην υπέργεια βιομάζα και στα εδάφη. Η αγροδασοπονία καλύπτει περίπου το 8,8% της χρησιμοποιούμενης γεωργικής γης στην ΕΕ ενώ εντοπίζεται κυρίως στη Μεσόγειο και στη Νοτιοανατολική Ευρώπη (Burgess et al., 2018). Επί το πλείστον τα συστήματα που υπάρχουν στην ΕΕ είναι συστήματα αγροδασοπονίας αργυροκτηνοτροφικών, δηλαδή συνδυάζουν την παραγωγή χορτονομής με δέντρα ή άλλα ξυλώδη φυτά με το βοσκότοπο και τη βόσκηση των ζώων τα οποία αναζητούν την τροφή τους. Τα συστήματα αυτά είναι μακροχρόνια και

προσαρμοσμένα στο τοπικό περιβάλλον, όπως το είδος *dehesa* στην Ισπανία, το είδος *montado* στην Πορτογαλία, το *bocage* στη Γαλλία, οι οπωρώνες με τα λιβάδια στις αλπικές περιοχές και τα βοσκοτόπια με ξυλώδη φυτά στη Ρουμανία και την Ουγγαρία (Kay et al., 2019; Burgess et al., 2018). Η σύγχρονη αργυροαρόσιμη αγροδασοπονία συνδυάζει τις καλλιέργειες αροτραίων ή κηπευτικών φυτών με ξυλώδη πολυετή φυτά και συχνά έχουν τη μορφή εναλλασσόμενων λωρίδων σε ένα χωράφι, οι οποίες ονομάζονται καλλιέργειες λωρίδων.

Το ευρωπαϊκό σχέδιο Agforward εκτίμησε το δυναμικό δέσμευσης άνθρακα που μπορεί να επιτύχει η αγροδασοπονία στην ΕΕ27 μαζί με την Ελβετία μεταξύ των 7,7 – 234,8 μεγατόνων CO₂/έτος (Kay et al., 2019). Στην εκτίμηση αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται ο υπόγειος οργανικός άνθρακας (SOC), επομένως το συνολικό δυναμικό δέσμευσης έχει πιθανότατα υποτιμηθεί μιας και τα αποθέματα SOC από την αγροδασοπονία μοιάζουν να είναι υψηλότερα από εκείνα που δεσμεύονται από τις συμβατικές αρόσιμες καλλιέργειες (για παράδειγμα, κατά 13%, σε ένα σύστημα αργυρο-αρόσιμης καλλιέργειας λεύκας σε σύγκριση με την αρόσιμη γη στην Αγγλία) (Upson & Burgess, 2013). Μια μεταμελέτη του δυναμικού της αγροδασοπονίας βρήκε ότι ο ρυθμός δέσμευσης SOC στις μεικτές καλλιέργειες είναι μεταξύ 1,1-3,3 t CO₂-e/ha/έτος, και η συσσώρευση της βιομάζας του αγροκτήματος είναι μεταξύ 6,2 – 15,8 t CO₂-e/ha/έτος για 20 και 50 έτη αντίστοιχα, συγκρίσιμα με τα ποσοστά δέσμευσης των δασών (Drexler et al., 2021).

Το δυναμικό δέσμευσης άνθρακα της αγροδασοπονίας εξαρτάται από τον τύπο του συστήματος που θα εφαρμοστεί, από το κλίμα και την από προηγούμενη χρήση γης. Τα αργυρο-αρόσιμα συστήματα τα οποία συνδυάζουν αροτραία και κτηνοτροφικά συστήματα τα οποία λειτουργούν ταυτόχρονα σε χωράφια προσφέρουν υψηλό δυναμικό δέσμευσης και ιδιαίτερα εκείνα με δέντρα υψηλής πυκνότητας που αναπτύσσονται με ταχύ ρυθμό (Feliciano et al. 2018), ενώ η αυξημένη κάλυψη δέντρων προσφέρει χαμηλότερο δυναμικό δέσμευσης. Τα συστήματα με χαμηλότερο δυναμικό δέσμευσης θα ήταν ευκολότερο να ενσωματωθούν στο μεικτό σύστημα καθώς θα επηρέαζαν ένα μικρό τμήμα της καλλιεργήσιμης γης (Drexler et al., 2021).

Όσον αφορά το συνολικό ισοζύγιο GHG, η αγροδασοπονία θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές που σχετίζονται με το άζωτο στη γη στην οποία φυτεύονται δέντρα (Garcia de Jalón et al., 2017). Ταυτόχρονα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι εκπομπές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια φύτευσης των δέντρων λόγω της αναταραχής του εδάφους.

Η μονιμότητα της απομάκρυνσης του άνθρακα από την αγροδασοπονία εξαρτάται από τον τύπο των δέντρων που θα χρησιμοποιηθεί και την τελική χρήση τους, αν πρόκειται δηλαδή για καύσιμη ξυλεία έναντι της κατασκευής. Η κακή διαχείριση και τα φυσικά γεγονότα μπορούν να οδηγήσουν σε απώλειες αποδεσμευμένου άνθρακα. Ωστόσο ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι

πιθανότερα χαμηλότερος από ό,τι στις δασικές περιοχές, διότι σε αυτές τις καλλιέργειες μεσολαβούν φυτά που μπορούν να αποτρέψουν τη φωτιά.

Η αγροδασοπονία μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε γεωργικό σύστημα της Ευρώπης και ιδιαίτερα στις χώρες που διαθέτουν υψηλό ποσοστό καλλιεργήσιμης γης και βοσκοτόπων. Οι εν λόγω χώρες έχουν ιδιαίτερα ψηλές δυνατότητες ανάπτυξης της αγροδασοπονίας. Η ικανότητα δέσμευσης περιορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα τη μονιμότητα της αλλαγής, τις σημαντικές αλλαγές των γεωργικών συστημάτων με νομικές και οικονομικές επιπτώσεις και την αβεβαιότητα που μπορεί να προκαλείται στους αγρότες, καθώς η ενασχόληση με την αγροδασοπονία είναι μια περίπλοκη γεωργική προσέγγιση που απαιτεί συγκεκριμένες γνώσεις. Γι' αυτό και η υιοθέτηση αγροδασοπονικών μέτρων στο πλαίσιο της ΚΑΠ της περιόδου 2014-2020 ήταν χαμηλή.

Τα περισσότερα αγροδασοπονικά συστήματα παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες οικοσυστήματος με λίγες αρνητικές επιπτώσεις για τις υπόλοιπες υπηρεσίες του οικοσυστήματος. Η αγροδασοπονία συμβάλλει στη βελτίωση της υγείας του εδάφους, προστατεύει από τη διάβρωση, την έκπλυση των νιτρικών αλάτων από τις πλημμύρες, ωφελώντας τη βιοποικιλότητα διότι ο βελτιωμένος βιότοπος επιδρά θετικά στην άγρια ζωή, στα έντομα και στους επικονιαστές) (Kay et al., 2019; Burges et al., 2019; Drexler et al., 2021).

Από την άλλη η διαφοροποίηση των γεωργικών εκροών καθιστά τους αγρότες λιγότερο ευάλωτους στις αποτυχίες των μεμονωμένων καλλιεργειών. Τα αγροδασοπονικά συστήματα που παρέχουν το υψηλότερο δυναμικό δέσμευσης άνθρακα μπορεί να μειώσουν την παραγωγή των καλλιεργειών τροφίμων ή των ζωοτροφών σε σύγκριση με τα μεμονωμένα συστήματα αροτραίων ή λιβαδιών. Ωστόσο, ακόμη και βραχυπρόθεσμα, αυτές οι αλλαγές στην απόδοση εξαρτώνται από τον τρόπο βελτιστοποίησης του συστήματος και από τις βιοφυσικές συνθήκες. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από συστήματα αροτραίων λεύκων στο Ηνωμένο Βασίλειο κατέδειξαν μειωμένη απόδοση στην ανάπτυξη αροτραίων καλλιεργειών και δέντρων όταν αυτά συνδυάστηκαν (García de Jalón et al., 2017), ενώ στο μεσογειακό τοπίο, τα αργυρο-κτηνοτροφικά συστήματα μπορεί να βελτιώσουν τις αποδόσεις των αροτραίων με τη βοήθεια των κατάλληλων θερμοκρασιών της άνοιξης (Arenas-Corraliza et al., 2018). Η θετική επίδραση της μειωμένης παραγωγής σε επίπεδο αγροτεμαχίου μπορεί να αποβεί θετική σε μεγαλύτερη κλίμακα λόγω της αποτελεσματικής χρήσης των θρεπτικών ουσιών και του φωτός στα αγροδασοπονικά συστήματα που συνδυάζουν δέντρα και καλλιέργειες (Aertsens et al., 2013). Με τη βελτίωση του μικροκλίματος, η αγροδασοπονία μπορεί να μειώσει τις ζημιές από την ξηρασία και να αυξήσει την ανθεκτικότητα στις κλιματικές επιπτώσεις.

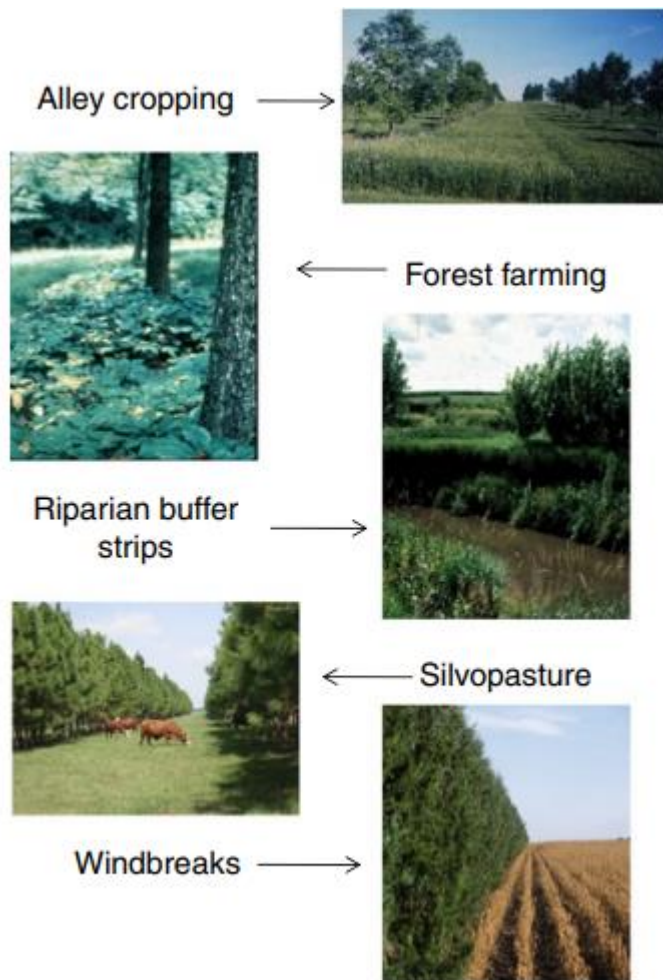
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αγροδασοπονία δεν πρέπει να στοχεύει σε

τυρφώδη εδάφη, λόγω του κινδύνου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη φύτευση δέντρων (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021b). Για να διασφαλιστούν τα οφέλη που επιφέρει η αγροδασοπονία για τη βιοποικιλότητα, θα πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα η διατήρηση και η αποκατάσταση των μακροχρόνιων αγροδασοπονικών συστημάτων αλλά και να δημιουργηθεί νέα αγροδασοπονία η οποία θα έχει καταλληλότητα για το συγκεκριμένο τοπίο. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα πρέπει να εισαχθούν σε γεωργικές εκτάσεις με υφιστάμενη υψηλή αξία βιοποικιλότητας, εντατικά συστήματα αντιστοίχισης βραχείας περιστροφής.

1.4.2.1 Η βιοποικιλότητα της Αγροδασοπονίας

Σήμερα, η αγροδασοπονία αποτελεί μια ολοκληρωμένη εφαρμοσμένη επιστήμη και έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και προβλήματα διαχείρισης της γης. Επιπρόσθετα αποτελεί πρακτική με την οποία μπορεί να διατηρηθεί η βιοποικιλότητα του αγροδασοπονικού συστήματος και η οικολογική βιωσιμότητα. Πολυάριθμα και διαφορετικά αγροδασοπονικά συστήματα μπορούν να βρεθούν σε συγκεκριμένες περιοχές, λόγω των τοπικών κλιματικών συνθηκών και λόγω των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων όπως η πίεση του ανθρώπινου πληθυσμού, η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού, το μικρότερο μέγεθος ιδιοκτησίας γης (Nair et al., 2008). Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται μια λίστα με τις κύριες αγροδασοκομικές πρακτικές οι οποίες διαφοροποιούνται με τοπικές προσαρμογές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε τοποθεσίας.

Έτσι από την AFTA έχουν αναγνωριστεί πέντε μεγάλες αγροδασοκομικές πρακτικές στη Βόρεια Αμερική: καλλιέργειες σε σειρές (alley cropping), δασοκομία σε βουνό (forest farming), δασοκομία σε παραποτάμιες λωρίδες προστασίας (riparian buffer strips), λιβάδια (silvopasture) και ανεμοθραύστες (windbreaks) όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Αγροδασοκομικές πρακτικές στη Βόρεια Αμερική.
Πηγή: Nair et al. 2008 και Gold & Garrett 2009.

Όπως προκύπτει από την Εικόνα 3, οι καλλιέργειες σε σειρές, περιλαμβάνουν δέντρα φυτεμένα σε μονές ή πολλαπλές σειρές συνδυασμένα με γεωργικές ή κηπευτικές καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε ζώνες μεταξύ των δεντροστοιχιών.

Η δασοκομία σε βουνό περιλαμβάνει την καλλιέργεια ειδικών δέντρων ανθεκτικών στη σκιά, υψηλής αξίας, υπό την προστασία ενός διαχειριζόμενου δάσους.

Η δασοκομία σε παραποτάμιες λωρίδες προστασίας, περιλαμβάνει λωρίδες μόνιμης βλάστησης που αποτελούνται από δέντρα, θάμνους και χόρτα τα οποία φυτεύονται και περιέχονται μεταξύ γεωργικών εκτάσεων και υδάτινων σωμάτων.

Τα λιβάδια βόσκησης συνδυάζουν δέντρα με χορτονομή (βοσκότοπους ή σανό) με κτηνοτροφική παραγωγή.

Οι ανεμοθραύστες περιλαμβάνουν σειρά δέντρων γύρω από αγροκτήματα και χωράφια, τα οποία λειτουργούν ως μέρος της καλλιέργειας ή της κτηνοτροφίας για την προστασία των καλλιεργειών, των ζώων και του εδάφους από τους κινδύνους του ανέμου.

Ενώ τα αγροδασοπονικά συστήματα (AFS) της εύκρατης ζώνης έχουν ως βάση μεγάλο

αριθμό δέντρων πολλαπλών χρήσεων (MPTs) όπως οι καστανιές (*Castanea spp.*), οι βελανιδιές (*Quercus spp.*), η χαρουπιά (*Ceratonia siliqua L.*), η ελιά (*Olea europaea L.*), και σύκα (*Ficus spp.*) στην περιοχή της Μεσογείου (Nair et al., 2008; Rigueiro-Rodriguez et al., 2008).

Επίσης το σύστημα *dehesa*, το οποίο περιλαμβάνει βοσκή κάτω από βελανιδιές με ισχυρούς δεσμούς επαναλαμβανόμενης καλλιέργειας δημητριακών σε λιβάδια, είναι επίσης μια πολύ παλιά ευρωπαϊκή πρακτική (Howlett, 2009; Rigueiro-Rodriguez et al., 2008).

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2 υπάρχουν διαφορετικές αγροδασοκομικές πρακτικές τα οποία ταιριάζουν σε συγκεκριμένα εδάφη και προηγούμενες χρήσεις. Επίσης έχει βρεθεί ότι κάθε είδος διαθέτει διαφορετικό δυναμικό δέσμευσης.

Πίνακας 2: Σημαντικές αγροδασοκομικές πρακτικές στις τροπικές περιοχές.
Πηγή: Nair et al. 2008.

Αγροδασοκομική πρακτική	Περιγραφή
Καλλιέργεια σε σειρές	Ταχέως αναπτυσσόμενα, κατά προτίμηση ψυχανθή, ξυλώδη είδη που καλλιεργούνται σε χωράφια καλλιεργειών ως φράχτης με κοντινή απόσταση (0,5 m) στη σειρά και μεγάλη απόσταση (4 m ή περισσότερο) μεταξύ των σειρών. Τα ξυλώδη είδη κλαδεύονται περιοδικά σε χαμηλό ύψος (<1,0 m) για να μειωθεί η σκίαση των καλλιεργειών. Τα υπολείμματα του κλαδέματός χρησιμοποιούνται ως πηγή οργανικής ύλης και θρεπτικών συστατικών για το έδαφος.
Οικιακοί κήποι	Οικιακοί ποικίλοι συνδυασμοί διαφορετικών δέντρων —διαίτερα ειδών που παράγουν φρούτα και ξηρούς καρπούς— και καλλιέργειες σε αγροκτήματα. Μπορεί να υπάρχουν και ζώα. Το μέγεθος του κήπου είναι μικρό (<1 εκτάριο) και η διαχείριση του κήπου γίνεται εντατικά συνήθως από οικογενειακό εργατικό δυναμικό.
Βελτιωμένη αγρανάπαυση	Ταχέως αναπτυσσόμενα, κατά προτίμηση ψυχανθή, ξυλώδη είδη τα οποία φυτεύονται και αφήνονται να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια σύντομων φάσεων αγρανάπαυσης — που δεν υπερβαίνουν τα 3 έτη — μεταξύ των ετών καλλιέργειας. Τα ξυλώδη είδη συμβάλλουν στη βελτίωση του τόπου και μπορεί να αποφέρει οικονομικά προϊόντα.
Δέντρα πολλαπλών χρήσεων (MPTs) σε αγροκτήματα και λιβάδια	Οπωροφόρα δέντρα και άλλα δέντρα πολλαπλών χρήσεων διασκορπισμένα ή φυτεμένα σε ορισμένες συστηματικές διευθετήσεις σε αγρούς φυτικής ή ζωικής παραγωγής. Τα δέντρα παρέχουν προϊόντα όπως φρούτα, καυσόξυλα, ζωοτροφές και ξυλεία.
Λιβάδια βόσκησης:	Ενσωμάτωση δέντρων σε συστήματα ζωικής παραγωγής:

Συστήματα βόσκησης	Βοοειδή που βόσκουν σε βοσκότοπους κάτω από δέντρα σε μεγάλη απόσταση ή διάσπαρτα.
Σύστημα κοπής και μεταφοράς (τράπεζες πρωτεϊνών	Σίτιση των ζώων με ζωοτροφές που καλλιεργούνται σε αγροκτήματα με δέντρα.
Σύστημα σκιασμένων πολυετών καλλιεργειών	Καλλιέργεια ειδών ανθεκτικών στη σκιά, όπως το κακάο (<i>Theobroma cacao</i> L.) και ο καφές (<i>Coffea</i> sp.) κάτω από ή ενδιάμεσα σε υπερβολική σκιά, ξυλεία ή άλλες εμπορικές καλλιέργειες δέντρων.
Ζώνες προστασίας και ανεμοφράκτες	Χρήση δέντρων για την προστασία των χωραφιών από ζημιές από ανέμους, θάλασσα, καταπάτηση, πλημμύρες
Σύστημα Taungya	Καλλιέργεια γεωργικών καλλιεργειών κατά τα πρώτα στάδια δημιουργίας δασικών φυτειών (ξυλείας). Η καλλιέργεια γίνεται για 2 ή 3 χρόνια ανάλογα με το ρυθμό ανάπτυξης των δέντρων (που προκαλεί σκίαση των καλλιεργειών) και τη γονιμότητα του εδάφους.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται το δυναμικό δέσμευσης των αγροδασοπονικών συστημάτων το οποίο παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε διαφορετικές περιοχές της γης. Υψηλό δυναμικό δέσμευσης παρουσιάζονται να έχουν τα ξυλώδη δάση στο Πουέρτο Ρίκο και οι καλλιέργειες καφές στην Κόστα Ρίκα.

Πίνακας 3: Αναφερόμενες τιμές δέσμευσης άνθρακα στη βλάστηση ορισμένων αγροδασοπονικών συστημάτων

Αγροδασοκομικό Σύστημα / Τοποθεσία	Έτη	Μέση Δέσμευση C (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Τράπεζα φυτών ζωοτροφών / ΜΑΛΙ ΔΥΤΙΚΗ ΑΦΡΙΚΗ	7,5	0,29
Είδος <i>Gliricidia sepium</i>		
Είδος <i>Kunth ex Walp</i>		
Είδος <i>Pterocarpus lucens</i> Willd		
Είδος <i>P. erinaceus</i> Poir		
Δενδροκαλλιέργεια / ΚΑΝΑΔΑΣ	13	0,83
Είδος υβριδική λεύκα		
Είδος κριθάρι		

Είδος <i>Hordeum vulgare</i> L.		
Parklands / ΜΑΛΙ ΔΥΤΙΚΗ ΑΦΡΙΚΗ	35	1,09
Αγροδασοπονία / ΟΡΕΓΚΟΝ ΗΠΑ	11	1,11
Είδος <i>Pseudotsuga menziesii</i>		
Είδος Franco + <i>Trifolium subterraneum</i> L.		
Γεωργική δασοκομία / ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΙΝΔΙΑ	5	1,26
Λιβάδια Βοσκοτόπων / ΚΕΡΑΛΑ ΙΝΔΙΑ	5	6,55
Εσωτερικοί και εξωτερικοί κήποι	23,2	4,29
Καλλιέργειες καφέ / ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟ ΤΟΝΓΚΟ	13	6,31
Ινδονησιακοί κήποι / ΣΟΥΜΑΤΡΑ	13,4	8
Αγροδάση με κακάο / ΚΑΜΕΡΟΥΝ	26	5,85
Αγροδάση με κακάο / ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ	5	10,34
Αγροδάση με κακάο / ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ	10	11,08
Ξυλώδες δάσος (Woodlot) / ΠΟΥΕΡΤΟ ΡΙΚΟ	4	12,04

1.4.3 Διατήρηση και ενίσχυση του οργανικού άνθρακα τους εδάφους σε ορυκτά εδάφη

Η διατήρηση και η ενίσχυση του οργανικού άνθρακα του εδάφους SOC απαιτεί ισορροπία μεταξύ των εισροών και των απωλειών άνθρακα από το έδαφος. Μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σύστημα καλλιέργειας και υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τεχνικών δέσμευσης άνθρακα.

Εξετάζοντας τη δέσμευση του οργανικού άνθρακα SOC σε καλλιέργειες και λιβάδια, επιτυγχάνεται μέσα από πρακτικές με τις υψηλότερες δυνατότητες διατήρησης και βελτίωσης των επιπέδων SOC στις οποίες περιλαμβάνονται:

- 1) καλλιέργειες
- 2) βελτιωμένες αμειψισπορές (με συμπερίληψη οσπρίων και άλλων φυτών δέσμευσης αζώτου όπως τα σπάρτα)
- 3) διατήρηση λιβαδιών χωρίς όργωμα
- 4) μετατροπή από καλλιεργήσιμη γη σε λιβάδι
- 5) βιολογική γεωργία
- 6) διαχείριση βοσκοτόπων (με βελτιστοποίηση της πυκνότητας των φυτών ή με ανακαίνιση των λιβαδιών).

Η δυνατότητα δέσμευσης για την πρόσθετη δέσμευση SOC σε EUcropland εκτιμάται από

9 Mt CO₂eq/έτος (Frank et al., 2015) ως 58 Mt CO₂eq/έτος (Lugato et al., 2014) ή ως 70 Mt CO₂eq/έτος (Roe et al., 2021). Επιπλέον, λόγω του ότι ένα μεγάλο μερίδιο των καλλιεργητικών εδαφών είναι ορυκτά εδάφη, το SOC χάνεται συνεχώς αν δεν γίνονται αλλαγές στη διαχείριση. Άρα είναι πολύ σημαντική η διακοπή της εκροής του SOC και η αντιστροφή των απωλειών (Wiesmeier et al., 2020).

Οι Roe et al. (2021) για τα λιβάδια στην ΕΕ εκτιμούν ότι θα μπορούσαν να δεσμεύσουν 27 Mt CO₂-e ετησίως (με κόστος μικρότερο από 100 USD/τόνο). Σε σύγκριση με άλλες γεωργικές επιλογές δέσμευσης άνθρακα, το δυναμικό της δέσμευσης SOC σε καλλιέργειες και λιβάδια είναι πιο περιορισμένο και αβέβαιο (Batjes, 2019).

Σε επίπεδο αγροκτήματος και αγροτεμαχίου, το δυναμικό δέσμευσης μπορεί να ποικίλλει σημαντικά λόγω της ετερογένειας των εδαφών, των κλιματικών συνθηκών, των υφιστάμενων επιπέδων SOC και των πρακτικών διαχείρισης.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω διαφορετικές συνθήκες αυξάνουν το κόστος MRV ενώ καθιστούν δύσκολη την αξιολόγηση του εφικτού δυναμικού. Ωστόσο συμπεραίνεται ότι τα αργιλώδη εδάφη και τα εδάφη με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ροή SOC έχουν υψηλότερο δυναμικό μετριασμού.

Γίνεται κατανοητό ότι το δυναμικό δέσμευσης περιορίζεται από τα εδάφη που φθάνουν σε επίπεδα κορεσμού του SOC. Ο κίνδυνος αναστροφής είναι επίσης ισχυρότερος από ό,τι στην περίπτωση της αγροδασοπονίας, για παράδειγμα, καθώς δεν υπάρχουν νομικές προστασίες για τη διαχείριση του εδάφους, σε αντίθεση με τους περιορισμούς για την κοπή δέντρων ή την αφαίρεση των θάμνων.

Ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα είναι η χρήση του βιοαπανθρακώματος ως στρατηγικής για την αύξηση του SOC σε ορυκτά εδάφη. Η καθαρή επίδραση του βιοξυλάνθρακα είναι εξαιρετικά αβέβαιη όταν εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής και οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του εδάφους και τη βιοποικιλότητα λόγω πιθανών ρύπων (Jeffery et al., 2017). Επιπλέον κίνδυνοι προέρχονται και από την εφαρμογή δημοτικού κομπόστ γιατί τα πρότυπα ποιότητας είναι δύσκολο να ελεγχθούν και υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του κομπόστ από μικροπλαστικά και άλλους ρύπους.

Η διατήρηση και η ενίσχυση των επιπέδων SOC επιφέρει πολλά οφέλη, όπως βελτιώνει τη δομή και τη γονιμότητα του εδάφους, αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης του νερού και τη συνολική ανθεκτικότητα στις κλιματικές επιπτώσεις, ενώ μειώνει τον κίνδυνο συμπίεσης και διάβρωσης του εδάφους. Ωστόσο από κάποιους ερευνητές αμφισβητείται ότι η διατήρηση και η βελτίωση του SOC θα πρέπει να προωθηθεί ως η κύρια επιλογή προσαρμογής λόγω των σημαντικών οφελών για την υγεία του εδάφους λόγω των αβέβαιων δυνατοτήτων του ως προς τη δέσμευση του άνθρακα (Amundson und Biardeau, 2018).

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι θα πρέπει να υπάρξουν ορισμένες διασφαλίσεις, όπως ότι θα πρέπει να τεθούν περιορισμοί στη χρήση βιοαπανθράκων και δημοτικού κομπόστ λόγω των κινδύνων που εγκυμονούν για την υγεία του εδάφους και τη βιοποικιλότητα.

1.4.4 Διαχείριση κτηνοτροφικών ειδών και κοπριάς

Η διαχείριση της κοπριάς των ζώων, αφορά σε οποιαδήποτε ενέργεια κάνουν οι κτηνοτρόφοι για να μειώσουν τις εκπομπές των κτηνοτροφικών λειτουργιών (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021b), καλύπτοντας όλα τα είδη ζώων όπως βόεια, πρόβατα, χοίρους και άλλα. Οι δράσεις στοχεύουν στην άμεση μείωση του εντερικού μεθανίου (συμπεριλαμβανομένων των προσθέτων ζωοτροφών και της βελτιωμένης πεπτικότητας/αποτελεσματικότητας των ζωοτροφών), στη μείωση των εκπομπών υποξειδίου του αζώτου μέσω της διαχείρισης της κοπριάς (συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης και επεξεργασίας της κοπριάς, της αναερόβιας χώνευσης του βιομεθανίου και κάλυψη καλλιέργειας)·σε διάφορες βελτιώσεις της αποτελεσματικότητας, όπως της κατάλληλης διαχείρισης των ζώων για τη βελτίωση της παραγωγικότητας (μέσω της διαχείρισης της αγέλης και της διαχείρισης των ζωοτροφών)·ή βελτιώσεις στη γονιμότητα των ζώων (Jia et al., 2019). Οι κτηνοτρόφοι μπορούν επίσης να αυξήσουν τη δέσμευση άνθρακα του εδάφους μέσω της βόσκησης και της διαχείρισης των λιβαδιών.

Το 2019, το μεθάνιο από την εντερική ζύμωση και οι εκπομπές από τη διαχείριση της κοπριάς στην ΕΕ παρήγαγαν 220 Mt CO₂-e ετησίως (EEA, 2021a). Η διεθνής έρευνα στην κτηνοτροφία στην Ευρώπη υποδηλώνει ότι οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις θα μπορούσαν να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 12-30% έως το 2030 (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021b). αυτό θα σήμαινε ετήσιο πιθανό μετριασμό από 26-66 Mt CO₂-e. Οι Roe et al. (2021) προτείνουν ότι το μέσο ετήσιο δυναμικό τεχνικής μετριασμού (2020-2050) για την εντερική ζύμωση και τη διαχείριση της κοπριάς είναι 40 Mt CO₂-e.

Οι Perez Dominguez et al. (2021) καταλήγουν στη διαπίστωση ότι οι τεχνολογικές επιλογές στις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις της ΕΕ θα μπορούσαν να μετριάσουν το απόλυτο μέγιστο 45 Mt CO₂-e/έτος.

Το δυναμικό μετριασμού διαφέρει ευρέως μεταξύ των διαφορετικών τύπων και των τοποθεσιών των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων, από τα περιορισμένα κτηνοτροφικά συστήματα χοιροτροφίας μέχρι την εκτροφή υψηλής έντασης με γαλακτοκομικά προϊόντα. Τα δεύτερα πιθανότατα να είναι καλύτερα προσαρμοσμένα στην εφαρμογή των τεχνικών όπως πρόσθετα ζωοτροφών/εμβόλια ή επιλογές διαχείρισης κοπριάς. Αυτές οι τεχνικές θα ήταν λιγότερο εφικτές σε συστήματα χαμηλής έντασης, στα οποία ωστόσο θα μπορούσαν να

εφαρμοστούν επιλογές αποτελεσματικότητας και δέσμευσης (Jia et al., 2019).

Το γεγονός ότι η συγκεκριμένη πρακτική μπορεί να διαρκέσει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα δηλαδή να είναι παροδική, αποτελεί πρόκληση για τη δέσμευση του άνθρακα, ενώ οι επιλογές μετριασμού των ζώων και των παραγώγων τους, επικεντρώνονται στη μείωση των εκπομπών (δηλαδή να φτάσουν τις εκπομπές κάτω από το επίπεδο του επιτρεπτού ορίου εκπομπών). Ωστόσο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το δυναμικό του ζωικού κεφαλαίου για να διασφαλίζεται ότι θα επιτευχθεί το επιτρεπτό όριο εκπομπών.

Οι διαφορετικές πρακτικές μετριασμού όσον αφορά τη διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου αλλά και της κοπριάς που αυτό παράγει, παρουσιάζουν αρκετά οφέλη και κινδύνους. Για παράδειγμα, τα μέτρα μετριασμού που επικεντρώνονται στην αποτελεσματικότητα όπως η βελτιωμένη απόδοση των ζωοτροφών, η διαχείριση της αγέλης ή διαχείριση της αναπαραγωγής μπορούν να προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση κόστους στους αγρότες (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021a). Η διαχείριση της εφαρμογής των θρεπτικών συστατικών σε λιβάδια ή κτηνοτροφικές καλλιέργειες μπορεί να επηρεάσει θετικά την ποιότητα του νερού και τα τοπικά οικοσυστήματα, ενώ η διαχείριση της βόσκησης μπορεί να βελτιώσει την υγεία του εδάφους, να μειώσει τη χρήση νερού, να μειώσει τη διάβρωση του εδάφους και να βελτιώσει την υγεία και τη βιοποικιλότητα του εδάφους (Griscom et al., 2017). Ωστόσο κάποιες ενέργειες μπορούν να αυξήσουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, ή η διαχείριση της κοπριάς μπορεί να αυξήσει τη ρύπανση από θρεπτικά συστατικά και να επηρεαστεί αρνητικά το οικοσύστημα του εδάφους (Kumar et al., 2013).

Η αποτελεσματική δέσμευση άνθρακα από τις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις είναι πιθανό ότι θα οδηγήσει σε μείωση της παραγωγής, κάτι το οποίο διαπιστώθηκε από το Ελεγκτικό Συνέδριο της ΕΕ (2021) διότι δεν υπήρχε καμία αποτελεσματική εγκεκριμένη δράση που να μείωσε τις εκπομπές χωρίς την ταυτόχρονη μείωση της παραγωγής.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι απαραίτητη προϋπόθεση κατά την αξιολόγηση των ενεργειών δέσμευσης άνθρακα θα πρέπει να αποτελεί η καλή διαβίωση και υγεία των ζώων. Επιπρόσθετα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις που ενδεχομένως να προκληθούν στον κύκλο της παραγωγής τροφίμων. Είναι σημαντικό δηλαδή τα μέτρα μετριασμού εντός ενός συστήματος δέσμευσης άνθρακα να μην οδηγούν σε αυξήσεις εκπομπών εκτός του συστήματος, όπως για παράδειγμα οι εκπομπές GHG που προκαλούνται από τις ζωοτροφές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Pieper et al., 2020). Επιπλέον, για να διασφαλιστεί ότι θα προκύψουν πραγματικά οφέλη για το κλίμα, οι αγρότες δεν πρέπει να ανταμείβονται για τις βελτιώσεις της απόδοσης, αλλά μόνο για τις πραγματικές μειώσεις των εκπομπών (δηλαδή, μειώσεις σε t CO₂-e).

1.4.5 Διαχείριση θρεπτικών ουσιών σε καλλιέργειες και λιβάδια

Η διαχείριση θρεπτικών ουσιών επικεντρώνεται σε δραστηριότητες που αποφεύγουν τις εκπομπές N₂O οι οποίες προκύπτουν από την εφαρμογή λιπασμάτων και τη διαχείριση της κοπριάς. Ενώ οι εκπομπές συζητήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, σε τούτη θα δοθεί έμφαση στη μείωση των εκπομπών από τη χρήση των συνθετικών λιπασμάτων. Οι βασικές στρατηγικές μείωσης είναι ο βελτιωμένος προγραμματισμός των θρεπτικών συστατικών και η βελτίωση του χρόνου εφαρμογής των λιπασμάτων για την αποφυγή της γονιμοποίησης. Επίσης, έχει δοκιμαστεί και η χρήση αναστολέων νιτροποίησης. Τα αποτελέσματα των πρακτικών διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών πιθανά να είναι πιο σημαντικά όταν συνδυαστούν με αγρονομικές πρακτικές όπως καλλιέργειες ψυχανθών, διαχείριση/ενσωμάτωση υπολειμμάτων ή η συμπερίληψη προσωρινών λιβαδιών στην αμειψισπορά.

Από τους Roe et al. (2021) εκτιμήθηκε η δυνατότητα μετριασμού σε 19 Mt CO₂e/έτος ως οικονομικά αποδοτική από τη βελτιωμένη διαχείριση των θρεπτικών ουσιών στην ΕΕ. Οι εκτιμήσεις εξέτασαν άμεσες και έμμεσες μειώσεις εκπομπών N₂O και εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ ανάντη από τη μειωμένη παραγωγή λιπασμάτων, καθώς και από τους αναστολείς νιτροποίησης.

Ωστόσο η βελτίωση της απόδοσης των λιπασμάτων από μόνη της δεν οδηγεί σε απόλυτες μειώσεις των εκπομπών, ειδικά αν εφαρμοστεί μόνο σε μέρος του αγροκτήματος. Για να υπάρχει αποτέλεσμα και να εξασφαλιστούν απόλυτες μειώσεις εκπομπών, θα πρέπει να υπάρχει μια προσέγγιση ολόκληρου του αγροκτήματος για την παρακολούθηση της συνολικής χρήσης των λιπασμάτων .

Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της λίπανσης μειώνει τις συνολικές εφαρμογές λιπασμάτων και την υπερβολική λίπανση, άρα μειώνεται η έκλυση και η απορροή αζώτου, κάτι το οποίο προστατεύει τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Επίσης μειώνει το κόστος αντιμετώπισης για τη μείωση των επιπέδων των νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό, ή το κόστος αντιμετώπισης των αρνητικών επιπτώσεων του ευτροφισμού. Η βελτιωμένη αποτελεσματικότητα της λίπανσης δεν οδηγεί σε μειωμένες παραγωγές από τους αγρότες. Το μέτρο είναι οικονομικά αποδοτικό για τους αγρότες, δεδομένου ότι εξοικονομούν κόστος εισροών, ωστόσο, ανάλογα με τον τύπο των δραστηριοτήτων που εμπλέκονται, ενδέχεται να προκαλέσουν και επενδυτικές δαπάνες (τεχνολογίες ακριβείας) οι οποίες ενδέχεται να εγκλωβίσουν τους αγρότες ανάλογα με τον τύπο και την κλίμακα της παραγωγής τους .

Για να διατηρηθεί υγιές το έδαφος και η ικανότητα συγκράτησης του νερού, η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων θα πρέπει να συνδυαστεί με

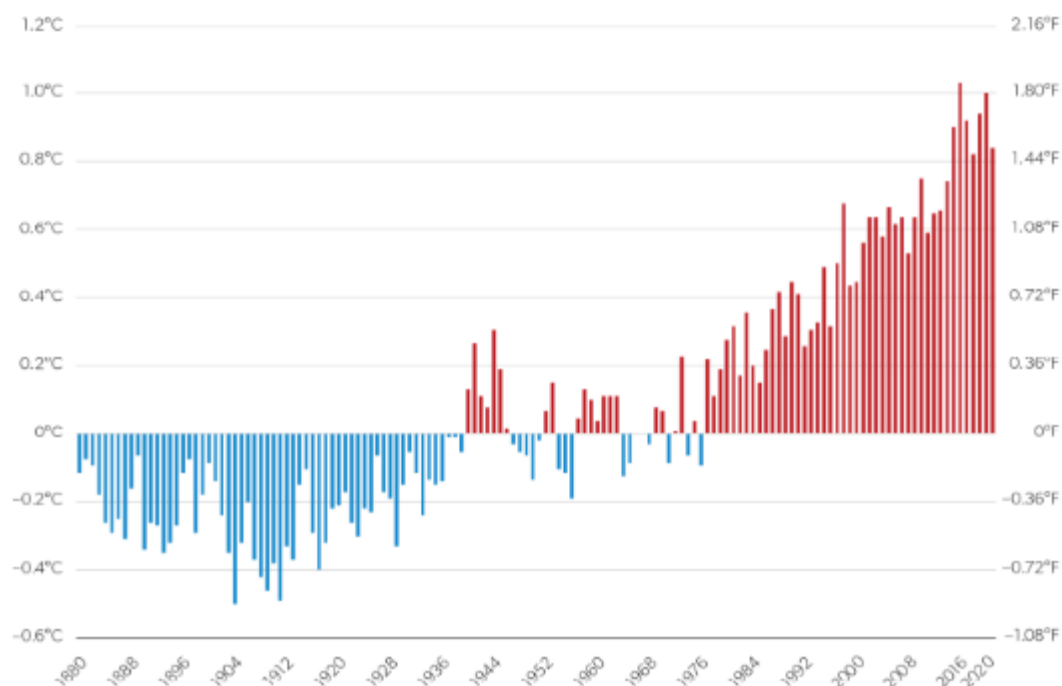
μέτρα που βελτιώνουν την υγεία του εδάφους, όπως βελτιωμένη αμειψισπορά, καλλιέργειες κάλυψης, συμπερίληψη προσωρινών λιβαδιών ενδιάμεσα σε καλλιέργειες και αποτροπή συμπίεσης του εδάφους.

Όσον αφορά τους αναστολείς νιτροποίησης έχουν ανιχνευθεί σε γαλακτοκομικά προϊόντα και ενέχουν τον κίνδυνο οικοτοξικότητας για τους χερσαίους και τους υδρόβιους οργανισμούς (Kössler et al., 2019) γι' αυτό και θα πρέπει να εφαρμόζεται η αρχή της προφύλαξης σχετικά με τη χρήση των αναστολέων νιτροποίησης.

1.5 Λόγοι που οδηγούν στις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα

Σύμφωνα με τη θεωρία του φαινομένου του θερμοκηπίου, η απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και εξίσου βλαβερών άλλων ιχνοαερίων θα έχει ως αποτέλεσμα τη θέρμανση της γης. Αν και το κλίμα της γης αλλάζει συνεχώς, αρκετοί κλιματολόγοι, επιστημονικοί ερευνητές και ομάδες υπεράσπισης του περιβάλλοντος πιστεύουν ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θα οδηγήσει σε αυξήσεις θερμοκρασιών επαρκείς για να προκαλέσουν σημαντική κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με το σχέδιο της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), που χρηματοδοτείται από τα Ηνωμένα Έθνη, οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου συνέβαλαν ουσιαστικά στην αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 50 χρόνια.

Figure 1. Global Temperature Anomalies



Εικόνα 4: Ανωμαλίες παγκόσμιας θερμότητας.

Πηγή: National Centers for Environmental Information, "Climate at a Glance,"
https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/ytd/10/1880-2021.

Κατά συνέπεια η κλιματική αλλαγή παρουσιάζει προκλήσεις προσαρμογής για τον τομέα της γεωργίας οι οποίες μάλιστα αναμένεται να γίνουν πιο εμφανείς στα επόμενα χρόνια. Για παράδειγμα, ο τομέας μπορεί να χρειαστεί να αντιμετωπίσει μια αύξηση της μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών ή υψηλότερο κίνδυνο ξηρασίας, πλημμύρας και προσβολών από έντομα. Η συγκυρία της κλιματικής αλλαγής θα μπορούσε επίσης να έχει οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της επέκτασης των καλλιεργειών και των βοσκοτόπων προς τα βόρεια.

Σε αρκετές περιπτώσεις, η διεθνής κοινότητα έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), με στόχο την επιβράδυνση της έναρξης της κλιματικής αλλαγής. Κατά συνέπεια, ως μέρος μιας ευρείας πρωτοβουλίας για την κλιματική αλλαγή, έχει προταθεί η επιδότηση των αγροτών για να φυτέψουν καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος, μια προσέγγιση που περιγράφεται ευρέως ως «καλλιέργεια άνθρακα».

Κεφάλαιο 2. Προκλήσεις σχετικές με τις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα

2.1 Οφέλη και κίνδυνοι των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα

Οι καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα μπορούν να αποφέρουν οφέλη στους αγρότες και την κοινωνία αποφέροντας περιβαλλοντικά, κλιματικά και κοινωνικοοικονομικά, ωστόσο εγκυμονούν κινδύνους που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά. Οι γεωργικές πρακτικές που λειτουργούν με φυσικές διαδικασίες μπορούν να έχουν οφέλη στη βιοποικιλότητα, το νερό, την υγεία του εδάφους και την καλή διαβίωση των ζώων. Οι αγρότες μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τη βελτίωση της παραγωγικότητας, το μειωμένο κόστος και τη βελτιωμένη ανθεκτικότητα των αγροκτημάτων. Η εξοικονόμηση κόστους και η αύξηση της παραγωγικότητας καθιστούν την εκτροφή άνθρακα πιο ελκυστική.

Ορισμένες πρακτικές εκτροφής άνθρακα, ωστόσο, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία του εδάφους, τη βιοποικιλότητα και την σωστή διαβίωση των ζώων.

Οι δράσεις εκτροφής άνθρακα που εκμεταλλεύονται βιώσιμα τα φυσικά συστήματα όπως τα εδάφη και τα δέντρα και επομένως προσφέρουν οφέλη στη βιοποικιλότητα, βελτιώνουν την ανθρώπινη ευημερία καθώς μπορούν να αναφέρονται ως λύσεις βασισμένες στη φύση (IUCN, 2016).

Για να διασφαλιστεί ότι η εκτροφή άνθρακα υποστηρίζει τους κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, είναι σημαντικό να μεγιστοποιηθούν τα συν-οφέλη και να μειωθούν οι κίνδυνοι κατά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή πληρωμών και μηχανισμών για την καλλιέργεια άνθρακα. Εκτός από την παρακολούθηση των επιπτώσεων μετριασμού της εκτροφής άνθρακα, θα πρέπει επίσης να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις σε άλλους στόχους. Επιπλέον, η ευρωπαϊκή ένωση έχει δείξει ραγδαία αυξανόμενο ενδιαφέρον για δημιουργία κινήτρων μέσω των eco-schemes και της νέας ΚΑΠ ώστε οι αγρότες να εντάξουν την καλλιέργεια άνθρακα και πράσινες τεχνικές ώστε να ξεκινήσει η καλλιέργεια άνθρακα. Οι πολιτικές κινήτρων εκτροφής άνθρακα πρέπει να περιλαμβάνουν επαρκείς διασφαλίσεις για την αποφυγή των αρνητικών επιπτώσεων, για παράδειγμα δημιουργία λίστας με καταγραφή των εξαιρούμενων διαδικασιών δέσμευσης άνθρακα οι οποίες παρουσιάζονται επιβλαβείς σε συγκεκριμένα πλαίσια. Επίσης χρειάζεται τακτική αξιολόγηση των χρησιμοποιούμενων πολιτικών και παρακολούθηση που θα καταγράφει όλα τα GHG και τις μετριαστικές επιπτώσεις τους στο κλίμα.

Για να μεγιστοποιηθούν τα κέρδη και να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις, η καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα πρέπει να σχεδιαστεί με διασφαλίσεις και κίνητρα που ευνοούν δράσεις με πολλαπλά οφέλη.

Δύο βασικά ζητήματα που θέτουν προκλήσεις για τις ευρείας κλίμακας καλλιέργειες άνθρακα, αποτελούν:

1) Το κόστος και η ακρίβεια παρακολούθησης, αναφοράς και επαλήθευσης (MRV) διότι η διαδικασία MRV με ακρίβεια είναι σημαντική για να διασφαλιστεί ότι η καλλιέργεια άνθρακα προσφέρει πραγματικό μετριασμό, όμως είναι δαπανηρή και επομένως θεωρείται βασικό εμπόδιο για τους χρηματοδότες και αγρότες.

2) Παροδικότητα: ο άνθρακας που δεσμεύεται και αποθηκεύεται στο έδαφος και στη βιομάζα μπορεί να απελευθερωθεί ηθελημένα ή ακούσια στην ατμόσφαιρα, αναιρώντας κάθε θετικό κλιματικό όφελος από την καλλιέργεια άνθρακα.

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφορετικών πρακτικών των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα

Η καλλιέργεια άνθρακα έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικά κοινωνικά συν-οφέλη μέσα στα οποία συμπεριλαμβάνονται η προστασία της βιοποικιλότητας, η υγεία του εδάφους, η ποιότητα του νερού. Στα οφέλη ανήκουν το μειωμένο κόστος των πρακτικών, η αυξημένη παραγωγικότητα, η βελτιωμένη παραγωγή ή τα υψηλότερα έσοδα για τους αγρότες.

Η κακή εφαρμογή της καλλιέργειας δέσμευσης άνθρακα, ωστόσο, διατρέχει τον κίνδυνο να επηρεάσει αρνητικά άλλους κοινωνικούς στόχους.

Η καλλιέργεια δέσμευσης άνθρακα μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη στους αγρότες και στην κοινωνία. Για παράδειγμα, οι πρακτικές που αυξάνουν την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος παρέχουν οφέλη προσαρμογής και παραγωγικότητας για τους αγρότες, καθώς και διατήρηση της βιοποικιλότητας, αποθήκευση νερού και οφέλη ποιότητας στην κοινωνία. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει για όλες τις δράσεις δέσμευσης άνθρακα, ορισμένες από τις οποίες ενέχουν κινδύνους για άλλους κοινωνικούς στόχους, όπως τη διατήρηση της βιοποικιλότητας ή τη διαθεσιμότητα νερού.

Παρόλα αυτά εντοπίζονται στην όλη διαδικασία και κάποια αμφιλεγόμενα σημεία τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω:

Οι πληρωμές από τις πρακτικές διαχείρισης της γης προέρχονταν μέχρι πρόσφατα από χρηματοδοτήσεις. Η Κοινή Αγροτική Πολιτική της Ευρώπης (ΚΓΠ) έχει χρησιμοποιήσει αυτό το μοντέλο για τις πληρωμές και τη στήριξη των γεωργικών εκμεταλλεύσεων τα τελευταία 10 χρόνια. Μάλιστα αύξησε τις πληρωμές για να παράσχει περισσότερα κίνητρα στους αγρότες. Οι πρακτικές διαχείρισης έχουν χαμηλό ρίσκο για τους αγρότες και μικρές απαιτήσεις MRV (COWI, Ecologic Institute και IEEP, 2021a). Όμως ο συγκεκριμένος τύπος χρηματοδότησης εξαρτάται από τη δημόσια χρηματοδότηση, η οποία είναι μια σχετικά περιορισμένη πηγή και ο

αντίκτυπος του μετριασμού του άνθρακα είναι συνήθως αβέβαιος.

Από την άλλη, οι εταιρίες αγροδιατροφής έχουν προβεί σε δεσμεύσεις για το κλίμα με αποτέλεσμα να εμπορεύονται προϊόντα φιλικά προς το κλίμα με την ελπίδα να έχουν κέρδη και πρόσβαση σε νέες αγορές. Το συγκεκριμένο μοντέλο με την παρακίνηση των αγροδιατροφικών εταιριών μπορεί να φέρει ιδιωτικές πηγές χρηματοδότησης για τις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα και να προωθήσει τις συγκεκριμένες καλλιέργειες διότι οι εταιρίες έχουν σχέσεις και συνεργασία με πολλούς αγρότες. Ωστόσο, ο κύριος κίνδυνος είναι ότι οι διαδικασίες συχνά γίνονται αδιαφανείς και έτσι υπάρχει η πιθανότητα να υπάρξουν και αναξιόπιστες. Επιβάλλεται, αυτοί οι μηχανισμοί να είναι διαφανείς και να δημοσιοποιούνται οι αποδεδειγμένες μεθοδολογίες με ποσοτικό προσδιορισμό για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των καλλιεργειών άνθρακα. Γι' αυτό έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός προτύπων για να υποστηριχθεί αυτή τη διαφάνεια όπως το Green House Gas Protocol και το ISO Standard 14064.

Κατά συνέπεια θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι χρησιμοποιούμενες πρακτικές ή μηχανισμοί δέσμευσης άνθρακα αναπτύσσονται με επαρκείς διασφαλίσεις για την προστασία από τις αρνητικές επιπτώσεις. Επίσης θα πρέπει να παρακολουθείται ο αντίκτυπος της κάθε πρακτικής δέσμευσης άνθρακα στο κλίμα και σε άλλους στόχους ώστε να σχεδιάζονται κίνητρα και να ενθαρρύνονται δράσεις που μεγιστοποιούν πολλαπλά κοινωνικά οφέλη.

- Για να διευκολυνθεί αυτό, είναι σημαντική η παρακολούθηση και η πιστοποίηση ώστε να συλλαμβάνονται και να ανταμείβονται οι μετριάστικές επιπτώσεις.

2.3 Παραδείγματα από εφαρμογές αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα

Κτηνοτροφία, Βόρεια Ευρώπη, 2013

Οι γαλακτοπαραγωγοί της Arla με την καθοδήγηση συμβούλων, χρησιμοποίησαν εργαλεία ελέγχου του άνθρακα που εξέπεμπε η φάρμα. Το εν λόγω εργαλείο κατασκευάστηκε από την Arla για να υπολογίσει τις τρέχουσες (βασικές) εκπομπές των εκμεταλλεύσεων. Οι αγρότες ιδιοκτήτες των εκμεταλλεύσεων ήταν υποχρεωμένοι να ενημερώνουν κάποια βάση καταγραφής δεδομένων ετησίως. Μάλιστα οι αγρότες έλαβαν μπόνους 0,01 ευρώ/λίτρο γάλακτος για να ολοκληρώσουν τον έλεγχο (βάσει δράσης). Ο στόχος μείωσης των εκπομπών άνθρακα ορίστηκε σε 30% έως το 2030

Οικογενειακή φάρμα, Σλοβενία, 2014

Η οικογενειακή φάρμα Medved αποτελεί ένα παράδειγμα χρηματοδότησης από την ΚΓΠ για την εφαρμογή αγροπεριβαλλοντικών πρακτικών που συμβάλλουν στον μετριασμό της

κλιματικής αλλαγής. Στα 55 εκτάρια της μικτής φάρμας η οποία συνδυάζει κτηνοτροφική και γεωργική καλλιέργεια, έχουν υιοθετηθεί συγκεκριμένες πρακτικές, συμπεριλαμβανομένης της σποράς πράσινης καλλιέργειας (δηλαδή καλλιέργειες κάλυψης οι οποίες καλλιεργούνται για να ενσωματώσουν στο έδαφος θρεπτικά συστατικά), χωρίς όργωμα και άμεση εφαρμογή οργανικών λιπασμάτων. Αυτή η πρακτική, αυξάνει τη βιολογική περιεκτικότητα των εδαφών, ενώ οφελεί τη γονιμότητα και την ανθεκτικότητα.

Φάρμες δέσμευσης άνθρακα, ΗΠΑ, 2019

Η εταιρεία Carbon by Indigo ανέπτυξε μια μεθοδολογία για τον ποσοτικό προσδιορισμό των αυξήσεων του άνθρακα στο έδαφος καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Οι γραμμές βάσης ορίζονται με τη χρήση άμεσων μετρήσεων. Η δέσμευση του άνθρακα, στη δεκαετή διάρκεια του έργου εκτιμήθηκε είτε με άμεση μέτρηση είτε με μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας δεδομένα για τα χαρακτηριστικά και τη διαχείριση της φάρμας. Υπάρχει κάποια αβεβαιότητα σχετικά με την περιβαλλοντική αποδοτικότητα της μεθοδολογίας, λόγω της διαρροής, της συντήρησης και αβεβαιότητας του μοντέλου της μέτρησης. Δίνονται πιστώσεις σε εταιρικούς αγοραστές με τρέχουσες τιμές, 15 USD.

Υγρανση τύρφης, Γερμανία, 2010

Η εταιρεία MoorFutures συνεργάστηκε με ιδιοκτήτες γης για να δημιουργήσει ένα βασικό σενάριο δέσμευσης άνθρακα για να εκτιμήσει τις αναμενόμενες αποφευχθείσες εκπομπές από τους τυρφώνες που ξαναβράχηκαν. Οι αγρότες υπέγραψαν συμβάσεις 50 ετών και άνω και συμφωνήθηκε να λαμβάνουν πληρωμές βάσει των αποτελεσμάτων (40-80 €/τόνο). Η εταιρεία MoorFutures χρηματοδοτείται πουλώντας τα αντίγραφα αυτών των πιστοποιητικών σε εταιρείες (όπως η McDonalds, σε τράπεζες ή και σε ιδιώτες

Φινλανδία, 2017

Η πρωτοβουλία της Carbon Action η οποία είναι μια ομάδα εθελοντών αγροτών που δοκίμασαν πρακτικές εκτροφής άνθρακα στα δικά τους χωράφια και συνεργάστηκαν με ερευνητές για να καλύψουν περισσότερα ερευνητικά ζητήματα. Οι εθελοντές στρατολογήθηκαν μέσα από ανακοίνωση σε άρθρο αγροτικού περιοδικού της χώρας και μέσα από την Κεντρική Ένωση Αγροτικών Παραγωγών. Ο αρχικός στόχος ήταν να ενταχθούν στο πρόγραμμα 100 αγροκτήματα και 130 ενδιαφερόμενοι αγρότες. Η συμμετοχή τους στο πρόγραμμα απαιτούσε να (Mattila et al., 2022):

- 1) επιλέξουν ένα οικόπεδο για πειραματικές καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα,
- 2) να συμμετάσχουν σε εκπαίδευση

3) να λάβουν δείγματα εδάφους στην αρχή της μελέτης και μετά από μία πενταετία

4) να κάνουν 5ετές σχέδιο καλλιέργειας δέσμευσης άνθρακα για το οικόπεδο.

Σκοπός αυτών των απαιτήσεων ήταν η δημιουργία ενός δικτύου ερευνητικών τόπων, που χρησιμοποιούνται για λεπτομερείς μελέτες. Η τελική ομάδα διαμορφώθηκε από 105 εκμεταλλεύσεις, οι οποίες αντιπροσώπευαν το 0,2% των εκμεταλλεύσεων στη Φινλανδία (Luke, 2020a).

Οι 105 εθελοντικές εκμεταλλεύσεις κάλυψαν ευρύ φάσμα της φινλανδικής γεωργίας. Περιλάμβαναν την κτηνοτροφία, την παραγωγή σιτηρών και λαχανικών, βιολογικής γεωργίας (46%) και συμβατικής γεωργίας (54%). Οι τύποι των εδαφών κυμαινόταν από αργιλώδες (55%) έως αμμώδες και λάσπη (41%), και οργανικά εδάφη (4%). Οι εκμεταλλεύσεις που συμμετείχαν ήταν κατά μέσο όρο μεγαλύτερες (107 εκτάρια) από τον εθνικό μέσο όρο (49 εκτάρια, (Luke, 2020b)). Η ομάδα αποτελούνταν από μεγαλύτερες εκμεταλλεύσεις και περισσότερους βιοκαλλιεργητές από τις μέσες εκμεταλλεύσεις. Ωστόσο, η ομάδα των ενεργών επαγγελματιών αγροτών που ενδιαφέρθηκαν να αναπτύξουν τις φάρμες τους, θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική.

Οι περισσότεροι από τους αγρότες εκπόνησαν έπειτα από εκπαίδευση πλάνα δέσμευσης άνθρακα, τα οποία πληρούσαν τις απαιτήσεις της ομάδας εμπειρογνομόνων και έδειξαν θετικό ισοζύγιο άνθρακα.

Τα πιο δημοφιλή μέτρα ήταν οι καλλιέργειες κάλυψης και η μετατροπή εδαφών πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά, τις οποίες οι αγρότες συμπεριέλαβαν στο ήμισυ των σχεδίων τους. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στις υπόλοιπες εκτάσεις των σχεδίων, περιλάμβαναν λιβάδια, καλλιέργειες πολλαπλών ειδών και βοσκότοπους. Οι καλλιέργειες κάλυψης, οι εισροές θρεπτικών συστατικών και η βελτιωμένη διαχείριση των λιβαδιών συνδέονται επίσης άμεσα με την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα του κόστους των εκμεταλλεύσεων. Αυτή η εστίαση σε πολυλειτουργικές δράσεις ανέδειξε ότι τα προγράμματα καλλιέργειας άνθρακα βελτίωσαν την υγεία και την παραγωγικότητα του εδάφους (Carlisle, 2016; Kragt et al., 2017).

Περιοχή Cerrado στον Αμαζόνιο, Βραζιλία

Η περιοχή Cerrado είναι μια μεγάλη τροπική οικοπεριοχή σαβάνας στη Βραζιλία, η οποία είναι γνωστή για την πλούσια βιοποικιλότητα και την υψηλή γεωργική παραγωγικότητα. Ωστόσο, οι γεωργικές δραστηριότητες στην περιοχή μπορούν επίσης να συμβάλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως μέσω της απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα από την οργανική ύλη του εδάφους.

Η δέσμευση άνθρακα σε γεωργικά εδάφη περιλαμβάνει τη δέσμευση και αποθήκευση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα στην οργανική ύλη του εδάφους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω ποικίλων πρακτικών, όπως η καλλιέργεια χωρίς άροση, οι καλλιέργειες και η

αγροδασοπονία.

Οι Carvalho et al., εστίασαν στη δυνατότητα δέσμευσης άνθρακα των γεωργικών εδαφών στην περιοχή Cerrado δοκιμάζοντας την αποτελεσματικότητα των διαφορετικών πρακτικών διαχείρισης για την ενίσχυση της δέσμευσης άνθρακα στο έδαφος. Οι ερευνητές τόνισαν στη μελέτη τους πόσο σημαντική είναι η αύξηση της δέσμευσης άνθρακα του εδάφους η οποία μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό των επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής που εμφανίζονται στην περιοχή. Διότι στην ουσία οι πρακτικές διαχείρισης των καλλιεργειών, μειώνουν τις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Η εισαγωγή των νέων πρακτικών διαχείρισης των καλλιεργειών στις παραδοσιακές καλλιεργειών στην περιοχή Cerrado της Βραζιλίας αποδείχθηκε ότι επηρεάζει τα αποθέματα C του εδάφους και έχει άμεσες και έμμεσες συνέπειες στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να ποσοτικοποιήσει τη δέσμευση C στο έδαφος, μέσω της αξιολόγησης των αλλαγών στα αποθέματα C, καθώς και των ροών GHG (N₂O και CH₄) κατά τη διαδικασία μετατροπής της γεωργικής γης, στη νοτιοδυτική περιοχή του Αμαζονίου, συγκρίνοντας συστήματα μη άρωσης (NT) και συμβατικής άρωσης (CT).

Συνέλεξαν δείγματα από εδάφη και πραγματοποίησαν μετρήσεις ροής αερίων τον Ιούλιο του 2004 (την ξηρή περίοδο) και τον Ιανουάριο του 2005 (την υγρή περίοδο) σε έξι περιοχές του Cerrado, υπό κατάσταση συμβατικής άρωσης σε καλλιέργειες στις οποίες καλλιεργήθηκε ρύζι για 1 έτος (1CT) και 2 χρόνια (2CT) και υπό κατάσταση μη άρωσης σε καλλιέργειες στις οποίες καλλιεργήθηκε σόγια για 1 έτος (1NT), 2 χρόνια (2NT) και 3 χρόνια (3NT), σε κάθε περίπτωση μετά από μια περίοδο 2 ετών ρυζιού υπό συμβατική άρωση. Τα δείγματα εδάφους αναλύθηκαν και στις δύο εποχές για ολικό οργανικό C και χύδην πυκνότητα.

Τα αποθέματα εδάφους C έδειξαν μια τάση υψηλότερης αποθήκευσης υπό κατάσταση μη άρωσης (NT) σε σύγκριση με τα εδάφη που διατήρησαν τη συμβατική άρωση του Cerrado. Οι εκπομπές CO₂ καταμετρήθηκαν ώστε να εκτιμηθεί η δέσμευση C. Τα ευρήματα ανέδειξαν ότι οι εκπομπές αυτού του αερίου τείνουν να είναι μικρότερες στις περιοχές σε κατάσταση μη καλλιέργειας, σε σύγκριση με τις περιοχές οι οποίες έφεραν συμβατικές καλλιέργειες του Cerrado.

Μάλιστα ο ετήσιος ρυθμός συσσώρευσης C στη μετατροπή καλλιέργειας του ρυζιού σε καλλιέργεια σόγιας ήταν 0,38 Mg ha⁻¹ έτος⁻¹. Ωστόσο, όταν αφαιρέθηκαν οι εκπομπές N₂O και CH₄ σε ισοδύναμο C, ο ρυθμός δέσμευσης C του εδάφους στις εν λόγω μετατροπές καλλιεργειών, δηλαδή από την καλλιέργεια του ρυζιού σε καλλιέργεια σόγιας ήταν 0,23 Mg ha⁻¹ έτος⁻¹.

Οι μελετητές καταλήγουν ότι αδιαμφισβήτητα υπήρχαν θετικά ποσοστά δέσμευσης του εδάφους C, ωστόσο τα αποτελέσματά τους δεν περιελάμβαναν πλήρες ισοζύγιο C στις αλλαγές

διαχείρισης του εδάφους. Κατά συνέπεια πρότειναν, προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα και να παρακολουθηθεί ο πλήρης απολογισμός του C στην ατμόσφαιρα από τα συστήματα έδαφος - φυτά - ατμόσφαιρα, θα είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν όχι μόνο τα ποσοστά δέσμευσης του εδάφους C, αλλά και όλες οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), εκφρασμένες σε ισοδύναμα C που προκύπτουν από τη χρήση γης. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να συνυπολογιστούν οι εκπομπές από την αλλαγή - αποδάσωση της αυτοφυούς βλάστησης μέσω της κοπής και της καύσης καθώς και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια, λιπάσματα, φυτοφάρμακα και άλλα συστατικά της παραγωγικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 3. Μηχανισμοί δέσμευσης άνθρακα του εδάφους

Η αποσύνθεση των φυτικών υπολειμμάτων και των άλλων οργανικών υλικών στο έδαφος είναι πηγή άνθρακα C και θρεπτικών ουσιών για τις μικροβιακές κοινότητες και τα φυτά. Μεγάλο μέρος αυτού του άνθρακα C, όπως παρουσιάστηκε, απελευθερώνεται πίσω στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα CO₂ κατά την αναπνοή ή ενσωματώνεται στη ζωντανή βιομάζα. Ωστόσο, περίπου το ένα τρίτο της οργανικής ουσίας του εδάφους (Soil Organic Matter) διασπάται πολύ πιο αργά και μπορεί να εντοπιστεί στο έδαφος μετά από 1 χρόνο (Angers and Chenu, 1997). Η εν λόγω οργανική ουσία του εδάφους αντιπροσωπεύει μια σημαντική αποθήκη άνθρακα και μπορεί να παραμείνει στο έδαφος για παρατεταμένες περιόδους ως μέρος των αδρανών υλικών του εδάφους. Το κλάσμα της οργανικής ουσίας το οποίο δεν αποσυντίθεται ταχέως, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος (SCS).

3.1 Προστασία του εδάφους από την οργανική ύλη

Η οργανική ύλη του εδάφους προστατεύεται στο έδαφος με τρεις κύριες διεργασίες: με βιοχημική αντιστάθμιση, χημική σταθεροποίηση και φυσική προστασία (Christensen, 1996; von Luetzow et al., 2008). Η βιοχημική αντιστάθμιση εμφανίζεται όταν η χημική σύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους SOM περιλαμβάνει αρωματικά πολυμερή και άλλες δομές που είναι δύσκολο να διασπαστούν από τα μικρόβια (Christensen, 1996). Ένα κοινό παράδειγμα είναι η λιγνίνη, η οποία αποτελεί κύριο συστατικό των ξυλιδών φυτών. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες υπέδειξαν ότι αυτός ο παράγοντας από μόνος του δεν οδηγεί σε μακροπρόθεσμη αδράνεια του άνθρακα C του εδάφους όπως υποστηρίχθηκε αρχικά (Flessa et al., 2008; Mikutta et al., 2006). Οι Flessa et al. (2008) διαπίστωσαν ότι όλες οι μεμονωμένες οργανικές ενώσεις είχαν ρυθμούς κύκλου εργασιών μικρότερους από εκείνους του μεγάλου όγκου του οργανικού άνθρακα του εδάφους SOC ο οποίος ανέρχεται στα 53 χρόνια.

Πλέον υπάρχει η πεποίθηση ότι η βιοχημική αδράνεια πιθανότατα λειτουργεί σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως η φυσική προστασία και η οργανική σταθεροποίηση για τον οργανικό άνθρακα του εδάφους SOC (Flessa et al., 2008; Marschner et al., 2008). Ενώ ως φυσική προστασία θεωρείται η δέσμευση της οργανικής ύλης του εδάφους SOM στα συσσωματώματα του εδάφους, η οποία την διαχωρίζει από τους μικροβιακούς πληθυσμούς και έτσι αποτρέπει την αποσύνθεσή του. Έτσι οι ποσότητες της οργανικής ύλης του εδάφους SOM που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν ασταθείς, δεν εκτίθενται στη μικροβιακή δραστηριότητα και μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος για πολύ μεγαλύτερες χρονικές

περιόδους (Six et al., 2000).

Η χημική σταθεροποίηση είναι η μετατροπή και η δέσμευση της οργανικής ύλης του εδάφους SOM από μέταλλα ώστε να σχηματιστούν οργανομεταλλικά σύμπλοκα που μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος για παρατεταμένες περιόδους. Σε συνδυασμό με τη φυσική προστασία και τη βιοχημική αδράνεια, συντελούν στη δημιουργία του σταθερού οργανικού άνθρακα του εδάφους SOC. Η πλειονότητα της αδρανούς οργανικής ύλης SOM δεσμεύεται σε οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Οι Mikutta et al. (2006) διαπίστωσαν ότι τουλάχιστον το 86% της οργανικής ύλης του εδάφους SOM προστατεύτηκε από τα μεταλλικά στα δασικά εδάφη. Ωστόσο, ο σχηματισμός αυτών των συμπλεγμάτων χρειάζεται αρκετό χρόνο για να συντελεστεί (Six et al., 2000). Η φυσική προστασία και η βιοχημική αδράνεια μπορούν να επιτρέψουν στην οργανική ύλη του εδάφους SOM να παραμείνει στο έδαφος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, δίνοντας χρόνο για να σχηματιστούν τα οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Έτσι, η αδράνεια της οργανικής ύλης του εδάφους SOM είναι ένας συνδυασμός αυτών των βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων διαδικασιών.

3.2 Εδαφικά αδρανή

Τα συσσωματώματα του εδάφους και τα διαφορετικά μεγέθη αυτών παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση του άνθρακα C στο έδαφος (Six et al., 2004). Τα αδρανή είναι δευτερογενή σωματίδια που σχηματίζονται μέσω του συνδυασμού μεταλλικών σωματιδίων με οργανικές και ανόργανες ουσίες (Bronick & Lal, 2005; Jastrow & Miller, 1997).

Το μέγεθος τους κυμαίνεται από μικρά έως χιλιοστά και συχνά ταξινομούνται ανάλογα με την ικανότητά τους να αντισταθούν στην αντίδραση τους με το νερό. Ανάλογα με τη διάμετρό τους, ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες μεγέθους (Oades & Waters, 1991; Tisdall & Oades, 1982). Τα μικρότερα κλάσματα μεγέθους μεταξύ των μικροσυσσωματωμάτων (μικρότερα από τη διάμετρο των 53 mm, που συνήθως αναφέρεται ως κλάσμα ιλύος και αργίλου) αποτελούνται από αδρανή οργανομεταλλικά σύμπλοκα. Συχνά συνδέονται μεταξύ τους σε μεγαλύτερα μικροσυσσωματώματα που κυμαίνονται από 53 έως 250 mm σε διάμετρο και συγκρατούνται μαζί με πολυσακχαρίτες και χουμικά υλικά που είναι επίσης αρκετά αδρανή λόγω της βιοχημικής ανθεκτικότητας και της φυσικής προστασίας. Αυτά τα υλικά συχνά συνδέονται μεταξύ τους σε μακροσυσσωματώματα από ρίζες, υφές και οργανικά υλικά που αποσυντίθενται ή αλλάζουν εύκολα, αλλά προστατεύονται φυσικά μέσα στο συσσωματωμένο υλικό.

Τα μακροσυσσωματώματα έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 250 mm. Αυτές οι τρεις κατηγορίες μεγέθους μπορούν να εμφανιστούν σε ένα σχηματισμό. Τα μεγαλύτερα αδρανή,

τα μακροσυσσωματώματα, είναι λιγότερο σταθερά και διασπώνται πιο εύκολα όταν εκτίθενται σε αντιδρώντα. Ακολουθούν τα μικροσυσσωματώματα μεσαίου μεγέθους, τα οποία είναι ελαφρώς ισχυρότερα από τα μακροσυσσωματώματα και, τέλος, τα μικρότερα μικροσυσσωματώματα που είναι και τα πιο σταθερά (Tisdall & Oades, 1982). Η ηλικία και η ποσότητα του άνθρακα C σε κάθε κατηγορία μεγέθους ακολουθεί επίσης αυτόν τον αθροιστικό σχηματισμό, δηλαδή η υψηλότερη συγκέντρωση του άνθρακα C συναντάται στα μακροαθροίσματα, ενώ οι μικρότερες συγκεντρώσεις άνθρακα C βρίσκονται στα μικρότερα κλάσματα ή μικροσυσσωματώματα.

3.3 Η διαχείριση των οικοσυστημάτων, η διατήρηση της οργανικής ύλης και η δέσμευση άνθρακα C

Η εργασία των Conant et al., 2001, ερευνήσε τον αντίκτυπο της διαχείρισης και της μετατροπής των λιβαδιών στην αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος και στον κύκλο του άνθρακα. Παρουσίασε τα αποτελέσματα μιας μετα-ανάλυσης μελετών σχετικά με αυτό το θέμα και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μετατροπή των βοσκοτόπων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις οδηγεί γενικά σε απώλεια άνθρακα του εδάφους, ενώ η αποκατάσταση λιβαδιών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του άνθρακα του εδάφους.

Τα λιβάδια υποστηρίζουν σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή τροφίμων και τη χορτονομή. Ένα βασικό συστατικό για τη διατήρηση της παραγωγής στα οικοσυστήματα λιβαδιών είναι η διατήρηση της οργανικής ύλης του εδάφους (SOM), η οποία μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τη διαχείριση. Πολλές τεχνικές διαχείρισης που αποσκοπούν στην αύξηση της παραγωγής ζωοτροφών ενδέχεται να αυξήσουν την οργανική ύλη, κατά συνέπεια και τη δέσμευση ατμοσφαιρικού άνθρακα (C). Επιπλέον, η μετατροπή είτε από καλλιέργεια είτε από αυτοφυή βλάστηση σε λιβάδια θα μπορούσε επίσης να δεσμεύσει τον ατμοσφαιρικό άνθρακα. Εξετάζοντας δευτερογενώς, μελέτες που είχαν μελετήσει την επίδραση των βελτιωμένων πρακτικών διαχείρισης των λιβαδιών και της μετατροπής τους σε λιβάδια C παγκοσμίως, έτσι ώστε να αξιολογηθεί η πιθανότητα δέσμευσης του C. Τα αποτελέσματα από τις 115 μελέτες οι οποίες περιείχαν πάνω από 300 σημεία δεδομένων ανέδειξαν πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Οι βελτιώσεις στη διαχείριση περιελάμβαναν λίπανση (39%), βελτιωμένη διαχείριση βόσκησης (24%), μετατροπή από κάποιο είδος καλλιέργειας σε άλλο (15%) αυτοφυή βλάστηση (15%), σπορά οσπρίων (4%) και χόρτων (2%), εισαγωγή γαιοσκώληκα (1%), και άρδευση (1%). Η περιεκτικότητα και η συγκέντρωση C του εδάφους αυξήθηκαν με τη βελτιωμένη διαχείριση στο 74% των μελετών, ενώ η μέση τιμή C στο έδαφος αυξήθηκε, σε όλους τους τύπους βελτίωσης. Τα ποσοστά δέσμευσης άνθρακα ήταν υψηλότερα κατά τη

διάρκεια των πρώτων 40 ετών από την έναρξη των θεραπειών και έτειναν να είναι μεγαλύτερα στο βάθος των 10 cm του εδάφους. Οι επιπτώσεις ήταν μεγαλύτερες στη βιομάζα των δασών και των λιβαδιών σε σύγκριση με τα δάση, την έρημο, τα τροπικά δάση ή τις θαμνώδεις εκτάσεις. Η μετατροπή της καλλιέργειας, η εισαγωγή γαιοσκωλήκων και η άρδευση είχαν ως αποτέλεσμα τις μεγαλύτερες αυξήσεις δέσμευσης. Τα ποσοστά δέσμευσης C ανά τύπο βελτίωσης κυμαίνονταν από 0,11 έως 3,04 Mg C·ha⁻¹ yr⁻¹, με μέσο όρο 0,54 Mg C·ha⁻¹·yr⁻¹, και επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του βιοσωματίου και το κλίμα. Συμπέραναν ότι τα λιβάδια μπορούν να λειτουργήσουν ως σημαντική απορρόφηση άνθρακα με την εφαρμογή βελτιωμένης διαχείρισης.

Τα κύρια ευρήματα δηλαδή της παραπάνω εργασίας ήταν ότι η μετατροπή λιβαδιών σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις οδηγεί γενικά σε μείωση των αποθεμάτων άνθρακα του εδάφους, ενώ η αποκατάσταση λιβαδιών από καλλιεργήσιμες εκτάσεις οδηγεί σε αύξηση των αποθεμάτων άνθρακα του εδάφους. Επιπλέον, οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι οι πρακτικές διαχείρισης λιβαδιών που προάγουν την παραγωγικότητα των φυτών μπορούν να ενισχύσουν τη δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος.

Κεφάλαιο 4. Θεσμικό Πλαίσιο

4.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θεσπίσει διάφορες οδηγίες και πολιτικές για την υποστήριξη της εκτροφής άνθρακα και άλλων πρακτικών που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Μία από τις κύριες πολιτικές της ΕΕ που σχετίζονται με την εκτροφή άνθρακα είναι η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΓΠ), η οποία παρέχει χρηματοδότηση και υποστήριξη στους αγρότες ώστε να υιοθετήσουν βιώσιμες γεωργικές πρακτικές. Σύμφωνα με την ΚΓΠ, οι αγρότες μπορούν να λάβουν χρηματοδότηση για να εφαρμόσουν πρακτικές όπως το όργωμα διατήρησης, οι καλλιέργειες, η αγροδασοπονία και η διαχειριζόμενη βόσκηση, που μπορούν να βοηθήσουν στη δέσμευση άνθρακα και στη βελτίωση της υγείας του εδάφους.

Μια άλλη οδηγία της ΕΕ η οποία σχετίζεται με την εκτροφή άνθρακα είναι το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (ETS) το οποίο θέτει ανώτατο όριο στις εκπομπές από ορισμένους τομείς και επιτρέπει στις εταιρείες να εμπορεύονται δικαιώματα εκπομπών. Αυτό το σύστημα στοχεύει στη μείωση των εκπομπών δημιουργώντας κίνητρα για τις εταιρείες να επενδύσουν σε τεχνολογίες και πρακτικές χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως η καλλιέργεια άνθρακα.

Από την άλλη η γνωστή στρατηγική «Farm to Fork», στοχεύει στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου συστήματος τροφίμων μειώνοντας τη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, προωθώντας τη βιοποικιλότητα και αυξάνοντας τη χρήση της βιολογικής γεωργίας. Αυτή η πολιτική υποστηρίζει επίσης την εφαρμογή πρακτικών εκτροφής άνθρακα, καθώς μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στη βελτίωση της υγείας του εδάφους.

Επιπλέον, η στρατηγική Πράσινη Συμφωνία της ΕΕ, που ανακοινώθηκε το 2019, αποσκοπεί στο να καταστήσει την οικονομία της ΕΕ βιώσιμη έως το 2050. Αυτό περιλαμβάνει τον στόχο της ΕΕ να είναι κλιματικά ουδέτερη έως το 2050, που σημαίνει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο μηδέν, γεγονός το οποίο σηματοδοτεί ότι πρέπει να αυξηθεί η δέσμευση άνθρακα στη χρήση γης, και εδώ είναι που η καλλιέργεια άνθρακα μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο.

Το πλαίσιο της πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια της ΕΕ διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, καθώς καθορίζει τη συνολική φιλοδοξία για το κλίμα και ορίζει υποχρεώσεις σε ορισμένους τομείς της οικονομίας. Την τελευταία δεκαετία, οι στόχοι της ΕΕ για τον μετριασμό του κλίματος έγιναν πιο φιλόδοξοι, αυξάνοντας από 20% μείωση από τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 (ΕΕ 2020 πακέτο για το κλίμα και την ενέργεια) σε 55% έως το 2030 και την κλιματική

ουδετερότητα σε ολόκληρη την οικονομία μέχρι τα μέσα του αιώνα (Ευρωπαϊκό Κλιματικό Νόμο σύμφωνα με το Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία). Ταυτόχρονα, το πεδίο εφαρμογής της σχετικής νομοθεσίας έχει επίσης αλλάξει με επιπτώσεις στη δράση για το κλίμα στους τομείς της γεωργίας και της χρήσης γης.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθούν τα κονδύλια της ΕΕ στο πλαίσιο των προγραμμάτων LIFE, Horizon Europe και INTERREG τα οποία θα μπορούσαν να συμβάλουν σημαντικά στην καινοτομία και την Ε&Α στον τομέα της παραγωγής άνθρακα.

Ακολουθώς θα γίνει μια επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο προωθείται η εκτροφή άνθρακα από την πολιτική της ΕΕ για το κλίμα, συμπεριλαμβανομένης μιας σύντομης αξιολόγησης των επιπτώσεων του πακέτου Fit for 55 που προτάθηκε πρόσφατα.

4.2 Η καλλιέργεια άνθρακα και οι σύνδεσμοι της με βασικούς τομείς πολιτικής της ΕΕ

4.2.1 Η γεωργία στο πλαίσιο της πολιτικής για το κλίμα της ΕΕ 2030

Το πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια με ορίζοντα το 2030 που εγκρίθηκε το 2018 έχει στόχο να επιτύχει τη μείωση των εκπομπών σε όλη την ΕΕ κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030. Με δεδομένο ότι οι γεωργικές δραστηριότητες εκπέμπουν και αφαιρούν αέρια θερμοκηπίου CO₂ μπήκαν στο στόχαστρο των ενεργειών, θέτοντας δεσμευτικούς στόχους.

Οι γεωργικές εκπομπές CO₂ (ή αφαιρέσεις) που συνδέονται με αλλαγές στον άνθρακα που αποθηκεύεται στα εδάφη και στη βιομάζα λόγω των πρακτικών διαχείρισης των καλλιεργειών και των λιβαδιών αντιμετωπίζονται από τον κανονισμό της χρήσης γης, της αλλαγής χρήσης γης και της δασοκομίας (Land Use Land Use Change Forestry LULUCF). Ο κανονισμός ορίζει έναν κανόνα «μη χρέωσης», ο οποίος απαιτεί από τα κράτη μέλη να διασφαλίζουν ότι οι λογιστικές εκπομπές (χρεώσεις) από όλες τις κατηγορίες χρήσεων γης στον τομέα LULUCF είναι μικρότερες από τις λογιστικές αφαιρέσεις (πιστώσεις) την περίοδο 2021 - 2030. Υπάρχουν πολλές ευελιξίες ενσωματωμένες στη νομοθεσία για να βοηθήσουν τα κράτη μέλη να συμμορφωθούν με τον συγκεκριμένο κανόνα της μη χρέωσης, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τράπεζες πιστώσεων για μεταγενέστερες περιόδους, μεταφορές πιστώσεων μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών χρήσεων γης και κρατών μελών, καθώς και μηχανισμό αντιστάθμισης στην κατηγορία της διαχειριζόμενης δασικής γης που είναι διαθέσιμος μόνο υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Ενώ ο τομέας LULUCF δεν υπολογίζεται στον στόχο μείωσης των εκπομπών για το 2030, τα κράτη μέλη επιτρέπεται να χρησιμοποιούν την καταβόθρα LULUCF για να αντισταθμίσουν 280 Mt εκπομπών από άλλους τομείς εκπομπών. Αυτή η ευελιξία έχει

επικριθεί με τον ισχυρισμό ότι αποθαρρύνει τη μείωση των εκπομπών GHG όπως ορίζεται από τον Κανονισμός (ΕΕ) 2018/842 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Μαΐου 2018, σχετικά με τις δεσμευτικές ετήσιες μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τα κράτη μέλη. (Fern, 2018).

Από την άποψη των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις σχετικά με το τρέχον (2030) πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια:

- Ο κανονισμός LULUCF θέτει στόχους και απαιτήσεις για τα κράτη μέλη όμως δεν παρέχει άμεσα κίνητρα για τους μεμονωμένους αγρότες. Ως εκ τούτου, δεν παρέχονται επαρκή κίνητρα για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τον γεωργικό τομέα. Σε όλους τους τομείς επιμερισμού της προσπάθειας, οι γεωργικές εκπομπές μειώθηκαν λιγότερο την περίοδο 2005-2018 και η γεωργία παραμένει ο τομέας όπου οι προβλέψεις εκτιμούν περιορισμένες αλλαγές στις εκπομπές μέχρι το 2030 (ΕΑ, 2020).

- Οι υφιστάμενοι κανόνες δεν προβλέπουν τη μείωση της απορρόφησης άνθρακα στην ΕΕ. Μεταξύ 2010 και 2019, η καταβόθρα LULUCF στην ΕΕ μειώθηκε κατά 21% από -315 Mt CO₂-e σε -249 Mt CO₂-e. Αν και αυτό οφείλεται εν μέρει στην ηλικιακή διάρθρωση των δασών, η εκτίμηση επιπτώσεων της Επιτροπής από το 2020 κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν αφεθεί χωρίς αναθεωρημένο πλαίσιο πολιτικής, η καθαρή απομάκρυνση του CO₂ από την ατμόσφαιρα με τη συμβολή του τομέα LULUCF στην ΕΕ θα παραμείνει στην καλύτερη περίπτωση σταθερή και στη χειρότερη μειωμένη (European Commission, 2020a).

4.2.2 Το πακέτο Fit for 55 για την πράσινη μετάβαση

Ο Ευρωπαϊκός Νόμος για το Κλίμα, του 2021, αύξησε τον στόχο μείωσης των εκπομπών για το 2030 σε ολόκληρη την ΕΕ σε τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, με σκοπό να μετατραπεί η Ευρώπη σε κλιματικά ουδέτερη περιοχή. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συνεισφορά του τομέα LULUCF σε αυτόν τον στόχο περιορίστηκε στα 225 Mt CO₂e. Με τον συγκεκριμένο νόμο η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια σειρά αναθεωρήσεων (πακέτο Fit for 55) του τρέχοντος πλαισίου πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια του 2030 ώστε να επιτευχθούν οι υψηλότερες στόχοι που είχαν τεθεί για το Κλίμα.

Τα βασικά στοιχεία του πακέτου Fit for 55 περιλαμβάνουν την αναθεώρηση των Κανονισμών Καταμερισμού Προσπάθειας και της συμβολής του τομέα LULUCF. Μεταξύ των πιο σχετικών αλλαγών είναι:

- Προτάθηκε ο συνολικός στόχος απομάκρυνσης σε 310 Mt CO₂-e στον τομέα χρήσης γης και δασοκομίας για την περίοδο από το 2026 έως το 2030, ο οποίος θα κατανεμηθεί μεταξύ

των κρατών μελών ως ετήσιοι εθνικοί στόχοι με βάση τις επαληθευμένες εκπομπές και αφαιρέσεις από το 2021, 2022 και 2023.

Ο συγκεκριμένος στόχος προτάθηκε για να ενθαρρυνθούν τα κράτη μέλη να αυξήσουν το μέγεθος των δεξαμενών άνθρακα πέραν των 225 Mt CO₂-e, δηλαδή τη μέγιστη συνεισφορά του τομέα LULUCF στον στόχο του 55%. Μάλιστα υπολογίστηκε ότι η συγκεκριμένη ενέργεια θα αυξήσει εκ των πραγμάτων τον καθαρό στόχο του 2030 στο 57% (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021α).

- Προτάθηκε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πολιτικής για τη γεωργία, τη δασοκομία και τη χρήση γης από το 2030 με στόχο την επίτευξη ουδετερότητας άνθρακα στον τομέα της γεωργίας έως το 2035.

Η μετάβαση σε αυτό το ολοκληρωμένο πλαίσιο προβλέπεται να πραγματοποιηθεί σε διάφορα στάδια:

2021-2025: Καμία σημαντική αλλαγή στο κανονιστικό πλαίσιο LULUCF.

2026-2030: Θα εφαρμοστεί ένας συνολικός στόχος απομάκρυνσης της ΕΕ 310 Mt CO₂-e.

Από το 2031 και μετά, ο τομέας LULUCF θα περιλαμβάνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου χωρίς CO₂ από τη γεωργία με στόχο την επίτευξη ενός κλιματικά ουδέτερου τομέα γης της ΕΕ έως το 2035 το αργότερο.

Από το 2036 και μετά ο τομέας της γης στην ΕΕ αναμένεται να γίνει καθαρή καταβόθρα. Οι αφαιρέσεις του άνθρακα από την ατμόσφαιρα που προέρχονται από τον τομέα της γης προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση των υπολειπόμενων εκπομπών άλλων τομέων οι οποίοι θα έχουν εξαντλήσει τις δυνατότητες μείωσης των εκπομπών τους ή θα έχουν επιτύχει, μειώσεις εκπομπών άνω του 90%.

Επίσης ενεργοποιούνται άλλες δύο σχετικές πρωτοβουλίες πολιτικής:

- Η πρωτοβουλία της Επιτροπής για τη γεωργία δέσμευσης άνθρακα, η οποία αναμένεται να ξεκινήσει πριν από τα τέλη του 2021, θα προωθήσει ένα νέο επιχειρηματικό μοντέλο στον αγροτικό τομέα της ΕΕ που θα επιβραβεύει τις φιλικές προς το κλίμα πρακτικές διαχείρισης από τους διαχειριστές γης. Ενώ το ακριβές πεδίο εφαρμογής της πρωτοβουλίας δεν έχει ακόμη φανεί, η Επιτροπή φαίνεται να επικεντρώνεται στην αφαίρεση και αποθήκευση άνθρακα (σε αντίθεση με τις εκπομπές μη-CO₂).

- Το νέο ρυθμιστικό πλαίσιο για την πιστοποίηση απομάκρυνσης άνθρακα, για το οποίο η πρόταση της Επιτροπής αναμένεται στα τέλη του 2022 και θα καθορίσει λεπτομερείς κανόνες για την παρακολούθηση, την επαλήθευση και τη λογιστική απομάκρυνση του άνθρακα στην ΕΕ για τη διασφάλιση της ευρωστίας και της διαφάνειας.

Αυτές οι αλλαγές, προβλέπεται ότι θα έχουν επιπτώσεις στις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα. Αρχικά η έναρξη της πρωτοβουλίας της ΕΕ για τις καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα

και οι προβλεπόμενοι στόχοι για τις απομακρύνσεις πιθανότατα θα ενθαρρύνουν τα κράτη μέλη να αναλάβουν δράση για την αύξηση της απορρόφησης CO₂ στη γεωργική και δασική γη. Ταυτόχρονα, ο προτεινόμενος στόχος των 310 Mt CO₂e παραμένει πολύ χαμηλότερος από το δυναμικό που προσδιορίζεται στην πρόσφατη επιστημονική βιβλιογραφία η οποία δείχνει ότι μπορούν να επιτευχθούν ετήσιες αφαιρέσεις έως και 600 Mt CO₂e από τον τομέα της διαχείρισης της γης (LULUCF) στην ΕΕ έως το 2030 (Böttcher et al., 2021).

Ωστόσο θα πρέπει να ισχυροποιηθούν τα κίνητρα που παρέχονται μέσω της πολιτικής της ΕΕ για την εφαρμογή δράσεων δέσμευσης άνθρακα που στοχεύουν τις γεωργικές εκπομπές μη CO₂.

Για να αποφευχθούν κάποιες προκλήσεις και να διασφαλιστεί ότι η καλλιέργειες άνθρακα θα συμβάλλουν σημαντικά στις διαρκείς προσπάθειες της ΕΕ για τον μετριασμό του κλίματος, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια ολιστική συνδυασμένη προσέγγιση της γεωργίας και της διαχείρισης.

4.3 Το μέλλον των καλλιεργειών δέσμευσης άνθρακα στα ελληνικά εδάφη

Η γεωργία άνθρακα αποτελεί ένα πράσινο επιχειρηματικό μοντέλο που ανταμείβει τους διαχειριστές γης για την υιοθέτηση βελτιωμένων πρακτικών διαχείρισης γης, με αποτέλεσμα την αύξηση της δέσμευσης άνθρακα από τα εδάφη, τη ζωντανή βιομάζα και τη νεκρή οργανική ύλη ενισχύοντας τη δέσμευση άνθρακα και μειώνοντας την έκλυση άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Η γεωργία άνθρακα στηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, αλλά βρίσκεται και στην καρδιά της νέας Κοινής Αγροτικής Πολιτικής 2023-2027. Ως επιχειρηματικό μοντέλο δεν είναι ιδιαίτερα γνωστή περισσότερο σε εθνικό και λιγότερο σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ωστόσο επίκεινται στο επόμενο διάστημα νομοθετικές πρωτοβουλίες τόσο από την Επιτροπή όσο και από την ό.

Μπορούν να απορροφηθούν σημαντικά κονδύλια από την ΚΑΠ, από τα προγράμματα Horizon Europe, Life και τους εθνικούς πόρους για να χρηματοδοτηθούν οι συγκεκριμένες καλλιέργειες οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμη ευκαιρία ενίσχυσης του αγροτικού εισοδήματος.

Κεφάλαιο 5. Μελέτη Περίπτωσης

5.1 Παρουσίαση της περιφέρειας Ηπείρου

Η Περιφέρεια της Ηπείρου αποτελεί ορεινή περιοχή. Παρότι διαθέτει αρκετούς υδάτινους όγκους και λίμνες (λίμνη Ιωαννίνων) δεν αποτελεί ιδιαίτερα εύφορη περιοχή. Ωστόσο η παραθαλάσσια πεδιάδα της είναι πιο εύφορη.

Η Ήπειρος είναι γνωστή για την ποικιλομορφία των τοπίων της. Τους ψηλούς ασβεστολιθικούς βράχους του Τυμφαίου, τα βαθιά φαράγγια του Βίκου, τα απέραντα δάση από βελανιδιές καθώς και τα κωνοφόρα δάση. Ακολουθώντας το δρόμο από τα Ιωάννινα προς το Μέτσοβο, απλώνεται μια υγρή κοιλάδα. Το χιονισμένο κλίμα το χειμώνα, αποκόπτει μερικές φορές αυτήν την περιοχή από τον υπόλοιπο κόσμο.

Η Περιφέρεια της Ηπείρου αποτελείται από τις 4 Περιφερειακές ενότητες, Άρτας, Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων και Πρέβεζας. Η συνολική της έκταση ανέρχεται σε 9.203 τ.χλμ με κύριο χαρακτηριστικό την γεωμορφολογική ποικιλία διότι αποτελείται από τέσσερις βασικές ζώνες: α) την παράκτια ζώνη των ΠΕ Πρεβέζης και Θεσπρωτίας, β) τη ζώνη των ορεινών όγκων που εκτείνεται κατά μήκος του ανατολικού ορίου της Περιφέρειας στην ΠΕ Ιωαννίνων γ) τη ζώνη γεωργικής γης , η οποία περιλαμβάνει το νοτιοδυτικό τμήμα της Περιφέρειας και δ) την ευρύτερη ζώνη των ορεινών και ημιορεινών περιοχών.

Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 336.856 κατοίκους (ΕΣΥΕ2011).



Εικόνα 5: Χάρτης της Περιφέρειας Ηπείρου στον οποίο απεικονίζεται το ανάγλυφο της περιοχής.
 Πηγή: <https://regionofepirus.maps.arcgis.com>

Η συγκέντρωση των επιχειρήσεων στον πρωτογενή (κυρίως), αλλά και στο δευτερογενή τομέα είναι αναλογικά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της χώρας. Η αγροτική οικονομία της Περιφέρειας εξειδικεύεται στην κτηνοτροφία, όπου η αιγοπροβατοτροφία και η πτηνοτροφία κατέχουν εξέχουσα θέση στο σύνολο της εγχώριας παραγωγής και αποτελούν τη βάση σημαντικής μερίδας του δευτερογενούς τομέα (κλάδος τροφίμων). Επίσης, άλλες σημαντικές δραστηριότητες είναι τα εσπεριδοειδή, τα κτηνοτροφικά φυτά, η αλιεία και οι δασοκομίες.

Τα $\frac{3}{4}$ της γεωργικής γης υψηλής παραγωγικότητας της Περιφέρειας συγκεντρώνονται στις Π.Ε. Άρτας και Πρεβέζης. Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις υπάρχουν στις πεδιάδες της Άρτας και της Πρέβεζας, βόρεια της Ηγουμενίτσας και στο κεντρικό τμήμα της Π.Ε. Ιωαννίνων. Οι μεγαλύτερες εκμεταλλεύσιμες δασικές εκτάσεις βρίσκονται στις Π.Ε. Άρτας (Β&ΒΔ τμήματα) και Ιωαννίνων (Β&ΒΑ τμήματα της Π.Ε. - Κόνιτσα, Μέτσοβο και Ζαγόρια).

Υπάρχουν διάσπαρτες κτηνοτροφικές μονάδες στην Περιφέρεια με εξαίρεση το βόρειο και το νοτιοανατολικό τμήμα της. Τα πτηνοτροφεία βρίσκονται κυρίως στην Π.Ε. Ιωαννίνων και στις πεδιάδες της Άρτας, ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση χοιροτροφείων βρίσκεται στην περιοχή της Φιλιππιάδας της Π.Ε. Πρέβεζας. Οι μονάδες των βοοειδών συγκεντρώνονται κυρίως στην Π.Ε. Θεσπρωτίας και στον ορεινό όγκο της Πίνδου.

Ο μεγαλύτερος αριθμός επιχειρήσεων του πρωτογενή τομέα της Περιφέρειας καταγράφεται στον κλάδο «Φυτική και ζωική παραγωγή, θήρα και συναφείς δραστηριότητες» ενώ η πλειοψηφία των επιχειρήσεων του κλάδου δασοκομία και υλοτομία βρίσκεται στην Π.Ε. Ιωαννίνων.

5.2 Έδαφος της περιφέρειας Ηπείρου

Η περιφέρεια Ηπείρου χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο. Το 74,27% της έκτασής της αντιπροσωπεύει ορεινές περιοχές ενώ μόλις το 10,66% πεδινές και το 15,07% ημιορεινές. Διαθέτει μεγάλο αριθμό βουνών των οποίων σταδιακά η ύπαρξη μεγαλώνει από το νότο προς το βορά, τόσο σε ύψος όσο και σε έκταση. Επίσης διαθέτει εθνικούς δρυμούς και υδροβιότοπους

Εμφανίζει μία υψομετρική διακύμανση της τάξης των 2600 μέτρων περίπου, ποικίλο γεωμορφολογικό ανάγλυφο στο οποίο αναπτύσσονται όλες οι ζώνες βλάστησης της Ελλάδας από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα υψόμετρα. Τα είδη βλάστησης τα οποία συναντώνται είναι Μεσογειακή, Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης, οξιάς και ορεινών κωνοφόρων, τα ψυχρόβια κωνοφόρα και η Εξωδασική ζώνη.

5.3 Κλίμα της περιφέρειας Ηπείρου

Το κλίμα της Ηπείρου είναι εύκρατο μεσογειακό, με ζεστό και ξηρό καλοκαίρι (Csa) σύμφωνα με την ταξινόμηση Köppen-Geiger. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιφέρεια της Ηπείρου είναι 14,6°C και η μέση βροχόπτωση είναι 791mm.

Ωστόσο κατά περιοχές, το κλίμα της Ηπείρου είναι ηπειρωτικό ενώ σε άλλες είναι ορεινό. Λόγω του ποικιλόμορφου αναγλύφου της περιοχής της, επικρατούν ποικίλες κλιματικές καταστάσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος της Ηπείρου, αποτελούν οι άφθονες βροχοπτώσεις και η αυξημένη υγρασία κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι άφθονες βροχοπτώσεις συντηρούν την πλούσια βλάστηση της περιοχής.

Η μέση βροχόπτωση 20,8 mm κάνει τον Αύγουστο τον πιο ξηρό μήνα. Τον Δεκέμβριο, οι βροχοπτώσεις είναι οι υψηλότερες του έτους με μέσο όρο 155,5 mm.

Συναντάται ποικιλία θερμοκρασιών μεταξύ της πεδινής και της ορεινής ζώνης. Τον Αύγουστο, η μέση θερμοκρασία είναι 24,6°C, δηλαδή ο Αύγουστος είναι ο πιο ζεστός μήνας του χρόνου. Ο Ιανουάριος είναι ο πιο κρύος μήνας του χρόνου.

Το ρεκόρ θερμότητας είναι 40°C που καταγράφηκε τον Αύγουστο του 2012 και το ρεκόρ ψυχρού είναι -12°C που καταγράφηκε τον Ιανουάριο του 1968.

5.4 Χρήσεις γης της περιφέρειας Ηπείρου

Σύμφωνα με το ΠΕΠ Ηπείρου, οι χρήσεις γης έχουν ως εξής στην εν λόγω περιφέρεια όπως προκύπτει από τον πίνακα χρήσεων γης:

50,97% κατέχουν οι βοσκότοποι

26,23%, κατέχουν τα δάση

14,11% κατέχουν οι καλλιέργειες

8,66% κατέχουν οι υπόλοιπες εκτάσεις (όπως οικισμοί, ύδατα κ.α.)

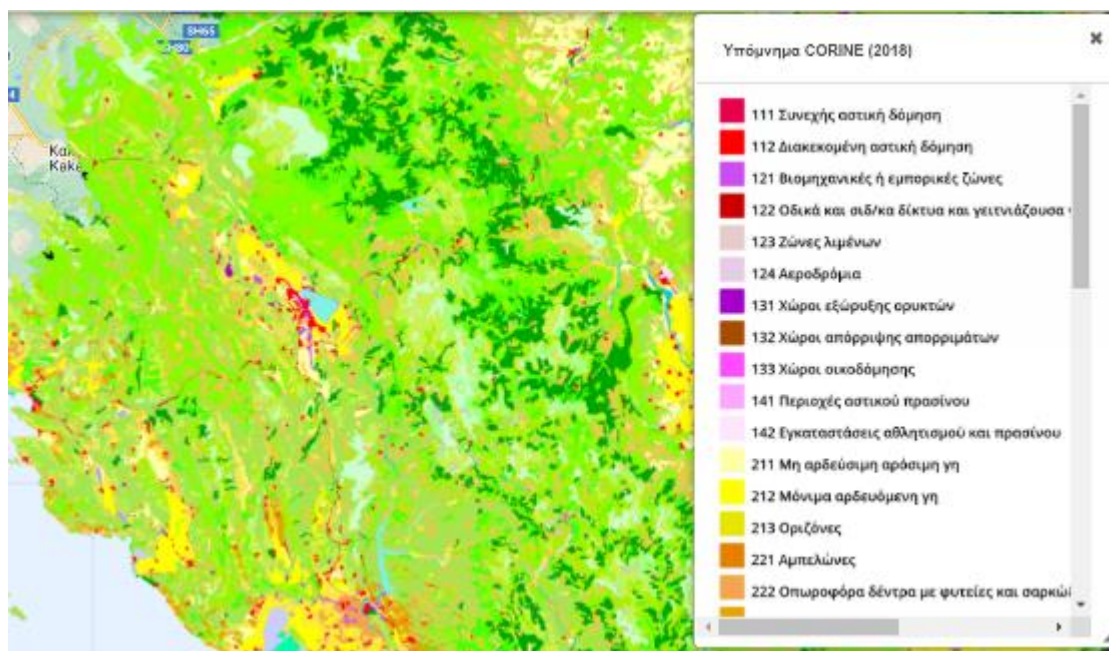
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	Π.Ε. ΑΡΤΑΣ	Π.Ε. ΘΕΣΠΡΩ- ΤΙΑΣ	Π.Ε. ΙΩΑΝ- ΝΙΝΩΝ	Π.Ε. ΠΡΕΒΕΖΑΣ	ΗΠΕΙΡΟΣ	ΕΛΛΑΔΑ
Καλλιέργειες	20,10%	13,83%	9,16%	29,66%	14,11%	29,90%
Βοσκότοποι	22,31%	72,62%	53,90%	51,29%	50,97%	39,82%
Δάση	39,97%	8,29%	29,82%	11,18%	26,23%	29,36%
Υδατα	7,98%	1,45%	2,14%	3,40%	3,23%	2,34%
Οικισμοί	6,34%	3,09%	3,30%	4,11%	3,81%	3,71%
Λοιπές εκτάσεις	3,30%	0,72%	1,66%	0,36%	1,65%	1,87%

Εικόνα 6: Χρήσεις γης ανά περιφερειακή ενότητα στην Περιφέρεια Ηπείρου.
Πηγή: ΠΕΠ Ηπείρου 2020.

Όσον αφορά τις καλλιέργειες, οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις ανέρχονται σε 57.247 τ.χλμ. Το 43,1% των καλλιεργειών αποτελούν οι δενδρώδεις εκμεταλλεύσεις και κυρίως ελαιοκαλλιέργειες. Εκτός από την καλλιέργεια της ελιάς, υπάρχουν εσπεριδοειδή ενώ στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας σημαντική καλλιεργούμενη έκταση καταλαμβάνουν η μηδική (τριφύλλι), τα σανοδοτικά φυτά και η καλλιέργεια του αραβοσίτου.

Όσον αφορά την κτηνοτροφία στην Περιφέρεια Ηπείρου ακμάζει η αιγοπροβατοτροφία και η πτηνοτροφία. Παρά το γεγονός ότι οι εκμεταλλεύσεις των ζώων παρουσιάζουν πτωτική τάση, αυξάνει το μέσο μέγεθος των εκμεταλλεύσεων δηλαδή ο αριθμός των ζώων προς τον αριθμό των εκμεταλλεύσεων. Ο μεγαλύτερος αριθμός κεφαλών καταγράφεται στα πουλικά, ενώ ακολουθούν τα προβατοειδή και τα αιγοειδή. Ενδεικτικό της δυναμικής της αιγοπροβατοτροφίας και της πτηνοτροφίας στην Περιφέρεια Ηπείρου είναι το γεγονός ότι στην

Περιφέρεια συγκεντρώνεται το 10,7% των εκμεταλλεύσεων των προβατοειδών και το 7,4% των εκμεταλλεύσεων αιγοειδών της χώρας.



Εικόνα 7: Χάρτης χρήσεων γης στην Περιφέρεια Ηπείρου κατά Corine 2018.

Πηγή: <http://www.oikoskopio.gr/map/>.

5.5 Δασοκομία

Στην περιοχή της Ηπείρου, τα δάση καλύπτουν ένα υψηλό ποσοστό του συνόλου των εδαφών, ήτοι 2.069.400 στρέμματα γης ή το 26,23%. Το ιδιοκτησιακό καθεστώς διέπεται από τις ρυθμίσεις για τις «Νέες Γαίες», οι οποίες δίνουν το δικαίωμα ιδιοκτησίας δασικών εκτάσεων σε Δήμους και ιδιώτες. Το Δημόσιο έχει επίσης σημαντική παρουσία στην κατοχή δασικών εκτάσεων στην περιοχή, με αξιόλογα παραγωγικά δάση. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατανομή των δασικών εκτάσεων σε επίπεδο περιφερειακής ενότητας.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΔΑΣΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
Άρτας	334.000	16,1
Θεσπρωτίας	125.600	6,06
Ιωαννίνων	1.473.800	71,21
Πρέβεζας	136.000	6,57
ΣΥΝΟΛΟ	2.069.400	100

Εικόνα 8: Δασικές εκτάσεις Περιφέρειας Ηπείρου ανά περιφερειακή ενότητα ΠΕΠ Ηπείρου 2020.



Εικόνα 9: Απεικόνιση Δασικών εκτάσεων στην Περιφέρεια Ηπείρου.
Πηγή: <https://regionofepirus.maps.arcgis.com>

5.6 Φυσικό περιβάλλον και προστατευόμενες περιοχές Περιφέρειας Ηπείρου

Η Ήπειρος διακρίνεται για τα άφθονα ρέοντα και μη ύδατα. Τα κύρια ρέοντα υδάτινα μέρη αποτελούν οι ποταμοί Καλαμάς, Άραχθος, Λούρος, Αχέροντας και Αώος. Σε σημαντικά τμήματα αυτών των ποταμών συναντάται πλούσια παραποτάμια βλάστηση.

Τα μη ρέοντα ύδατα, αποτελούν οι τρεις μεγάλες λίμνες, η φυσική λίμνη Παμβώτιδα και οι τεχνητές λίμνες Αώου και Πουρναρίου, Πουρναρίου II και Λούρου καθώς και οι μικρότερες όπως Ζηρού, Ζαραβίνα, Λιμνοπούλα, Προντάνη. Επίσης αισθητικό και φυσικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αλπικές λίμνες της Βόρειας Πίνδου: η Δρακόλιμνη Τύμφης και Δρακόλιμνη Σμόλικά.

Σχετικά με τις προστατευόμενες περιοχές, υπάρχουν στην περιοχή οι ακόλουθες:

- ο Εθνικός Δρυμός Βίκου Αώου (βρίσκεται εξ ολοκλήρου στην Π.Ε. Ιωαννίνων)
- ο Εθνικός Δρυμός Πίνδου Βάλια- Κάλντα (βρίσκεται μερικώς στην Ήπειρο με το μεγαλύτερο τμήμα στη Δ. Μακεδονία)

Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου

Εθνικό Πάρκο Τζουμέρκων, Περιστερίου και χαράδρας Αράχθου

Περιοχή Οικοανάπτυξης Λίμνης Παμβώτιδας

Προστατευόμενη περιοχή Χερσαίων, υδάτινων και θαλάσσιων περιοχών των Στενών και εκβολών των ποταμών Αχέροντα και Καλαμά και του Έλους Καλοδικίου

Εθνικό Πάρκο Υγροτόπων Αμβρακικού.

Υγρότοπος διεθνούς σημασίας (Ramsar), ο Αμβρακικός κόλπος,
Δύο αισθητικά δάση Ιωαννίνων & Μύτικα- Νικόπολης
31 περιοχές του δικτύου Φύση (Natura) 2000
ο Γεωπάρκο Βίκου-Αώου, το οποίο βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο της ΠΕ Ιωαννίνων,
στους Δήμους Ζαγορίου και Κόνιτσας

5.7 Υπέδαφος της Περιφέρειας Ηπείρου

Το υπέδαφος είναι πλούσιο σε μη μεταλλικά ορυκτά. Η Περιφέρεια Ηπείρου διαθέτει πλούσιους υπεδάφικους φυσικούς πόρους με σημαντικότερους τα λατομικά ορυκτά και τον τύρφη-λιγνίτη.

Η περιοχή της Ηπείρου της Ελλάδας είναι κυρίως ορεινή και είναι γνωστή για τους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς της, όπως ασβεστόλιθο, ψαμμίτη, σχιστόλιθο και μάρμαρο. Υπάρχουν επίσης κοιτάσματα ορυκτών στην περιοχή, όπως μόλυβδος, ψευδάργυρος και σίδηρος. Επιπλέον, η περιοχή είναι γνωστή για τη γεωθερμική της δραστηριότητα, ενώ υπάρχουν πολλές ιαματικές πηγές και ιαματικά λουτρά σε όλη την περιοχή.

5.8 Χωροθέτηση εκτάσεων αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα

Όπως εκτέθηκε στα προηγούμενα, τα αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα, είναι γεωργικές εκτάσεις που καταφέρνουν να ενισχύσουν την αποθήκευση άνθρακα στα εδάφη και τη βλάστηση. Τα κριτήρια χωροθέτησης για τις εκμεταλλεύσεις δέσμευσης άνθρακα εξαρτώνται συνήθως από διάφορους παράγοντες, όπως:

Τύπος εδάφους: Η δέσμευση άνθρακα είναι πιο αποτελεσματική σε ορισμένους τύπους εδάφους, όπως αργιλώδη ή αμμώδη εδάφη, που έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν άνθρακα με τη μορφή οργανικής ύλης.

Κλίμα: Η επιτυχία των εκμεταλλεύσεων δέσμευσης άνθρακα εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής. Για παράδειγμα, περιοχές με μέτριες θερμοκρασίες, μέτριες βροχοπτώσεις και χαμηλούς ρυθμούς εξάτμισης είναι γενικά πιο κατάλληλες για αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα.

Ιστορικό χρήσης γης: Το ιστορικό χρήσης γης μιας τοποθεσίας είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της καταλληλότητάς της για δέσμευση άνθρακα. Τα εδάφη που έχουν υποβαθμιστεί λόγω διάβρωσης, υπερβόσκησης ή άλλων παραγόντων ενδέχεται να απαιτούν σημαντικές προσπάθειες αποκατάστασης προτού μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για δέσμευση άνθρακα.

Διαθεσιμότητα νερού: Οι εκμεταλλεύσεις δέσμευσης άνθρακα απαιτούν μια αξιόπιστη πηγή νερού για την υποστήριξη της ανάπτυξης της βλάστησης, επομένως οι περιοχές με πρόσβαση σε υδάτινους πόρους είναι γενικά πιο κατάλληλες για αυτόν τον τύπο καλλιέργειας.

Εγγύτητα σε αγορές: Οι εκμεταλλεύσεις δέσμευσης άνθρακα που βρίσκονται κοντά σε αγορές πιστώσεων άνθρακα ή άλλων προϊόντων με βάση τον άνθρακα μπορεί να είναι πιο βιώσιμες από οικονομική άποψη.

Κοινωνικοί και πολιτικοί παράγοντες: Οι εκμεταλλεύσεις δέσμευσης άνθρακα ενδέχεται να υπόκεινται σε τοπικές, κρατικές ή εθνικές πολιτικές και κανονισμούς οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή μιας τοποθεσίας για ένα αγρόκτημα δέσμευσης άνθρακα.

Επιπλέον η ικανότητα του εδάφους να δεσμεύει άνθρακα μακροπρόθεσμα εξαρτάται από τη σωστή διαχείριση της γης. Κατά συνέπεια, η δημιουργία των εδαφικών δεξαμενών άνθρακα απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση με την υιοθέτηση ορισμένου αριθμού πρακτικών που καθιστούν δυνατή την αύξηση της ποσότητας του άνθρακα στο έδαφος. Επίσης οι εφαρμοζόμενες πρακτικές μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και το κλίμα της περιοχής.

Ωστόσο αυτές που μπορεί να εφαρμοστούν στην περιφέρεια Ηπείρου είναι ένας συνδυασμός πολιτικών. Αρχικά θα πρέπει να γίνει επιτόπιος έλεγχος για τα νέα αγροδοασοπονικά συστήματα και να προσδιοριστούν οι καταλληλότερες τοποθεσίες και οι καταλληλότεροι τύποι αγροδοασοπονικού συστήματος για την επίτευξη των κλιματικών (και άλλων περιβαλλοντικών) στόχων και την προσαρμογή στο υπάρχον σύστημα γεωργικής παραγωγής.

Έπειτα μπορούν να εφαρμοστούν:

Όπως προκύπτει από την ανάλυση των προηγούμενων ενοτήτων η Περιφέρεια της Ηπείρου διαθέτει κατά 26,23% δασώδεις εκτάσεις. Για τα υφιστάμενα αγροδοασοπονικά συστήματα προτείνεται να χρησιμοποιηθεί επιτόπιος έλεγχος από ειδικούς συμβούλους για να αξιολογηθεί η υπέργεια βιομάζα, η υγεία της ξυλώδους βιομάζας και η ποιότητάς τους. Επίσης θα πρέπει να τεθούν στόχοι για τη βιοποικιλότητα και το νερό και να προσδιοριστούν οι ενέργειες διαχείρισης για την επίτευξη των κλιματικών, περιβαλλοντικών στόχων, διατηρώντας παράλληλα το κατάλληλο σύστημα γεωργικής παραγωγής.

Όπως είναι γνωστό ότι το 50,97% κατέχουν οι βοσκότοποι στους οποίους θα πρέπει να εφαρμοστεί εκ περιτροπής βόσκηση, ενώ η υψηλή βόσκηση προτείνεται να έχει μικρή διάρκεια. Θετικό αποτέλεσμα μπορεί να επιφέρει η φύτευση θάμνων και δέντρων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως φυσικοί φράκτες των χορτολιβαδικών εκτάσεων.

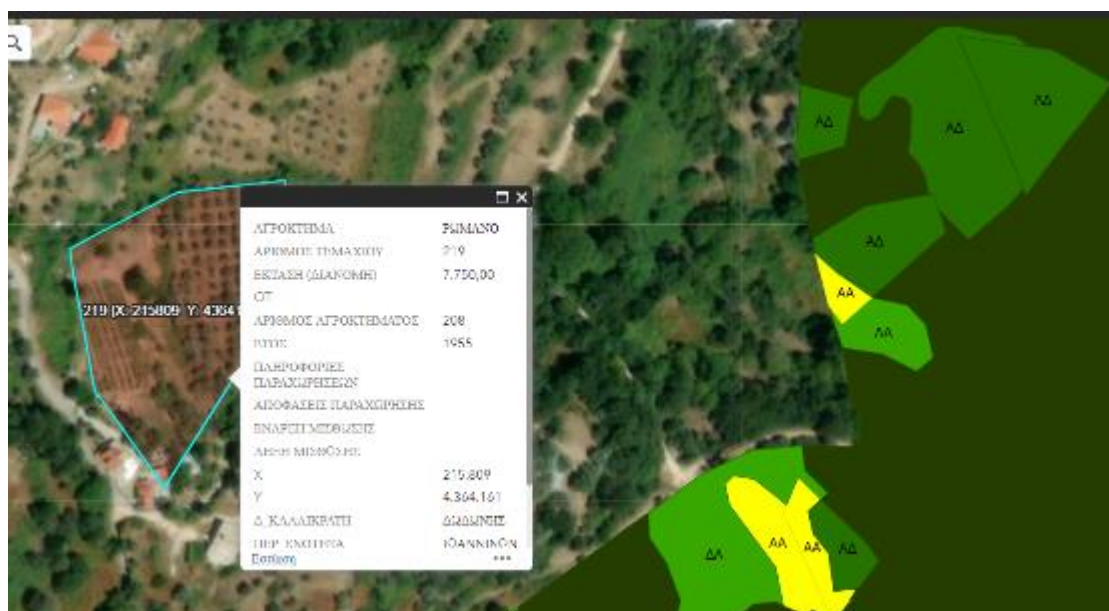
Ενώ το 14,11% κατέχουν οι καλλιέργειες. Για τις καλλιέργειες προτείνεται η αμειψισπορά

και η χρήση οσπρίων ή χόρτων. Επίσης καλές πρακτικές αποτελούν η μείωση της αγρανάπαυσης και η πρακτική της άμεσης σποράς, η οποία μειώνει τη διαταραχή του εδάφους και την απελευθέρωση CO₂. Μία βιώσιμη μέθοδος που μπορεί να προωθήσει την κερδοφορία του αγροκτήματος αποτελεί για παράδειγμα, το ελάχιστο όργωμα το οποίο μειώνει το κόστος παραγωγής μειώνοντας τη χρήση μηχανημάτων.

Πολύ σημαντικό ρόλο μπορεί να παίξει η μετατροπή της περιθωριακής γεωργικής γης σε πολυετείς εκτάσεις με γρασίδι ή με δέντρα. Τέλος εξισορροπητικό ρόλο μπορεί να παίξει η αποκατάσταση των υγροτόπων οι οποίοι περιλαμβάνουν πλούσια βιοποικιλότητα και περιεκτικότητα σε οργανική ύλη.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι πολλές μέθοδοι διαχείρισης που στοχεύουν στην αποθήκευση άνθρακα στις καταβόθρες εδάφους, συμβάλλουν επίσης στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η αύξηση της οργανικής ουσίας που περιέχεται στο έδαφος συμβάλλει στη βελτίωση των αγρονομικών του δυνατοτήτων. Επιπλέον, αυτή η αύξηση παράγει καλύτερη ποιότητα εδάφους και παραγωγή καλλιεργειών, αυξάνει τη διατήρηση του νερού, μειώνει τη διάβρωση και βελτιώνει την προστασία των ενδιαιτημάτων της άγριας ζωής και των ειδών, οδηγώντας σε αυξημένη βιοποικιλότητα.

Παραδείγματα αγροκτημάτων που θα μπορούσαν να προταθούν ως αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα αποτελούν οι περιπτώσεις των Εικόνων 4 και 5.

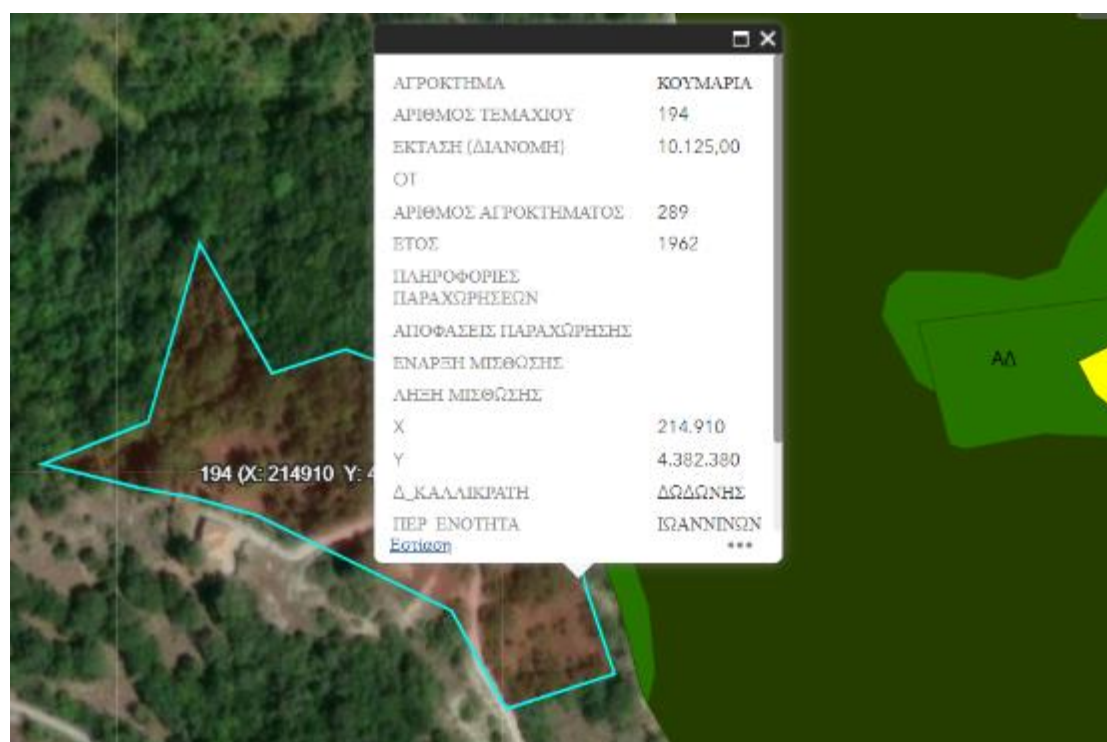




Εικόνα 10: Παράδειγμα Αγροκτήματος δέσμευσης άνθρακα περιοχή Ρωμανό.

Πηγή:

<https://regionofepirus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8aa65b656f444211a359a5b9302508c4>.





Εικόνα 11: Παράδειγμα Αγροκτήματος δέσμευσης άνθρακα στην ΠΕ Ιωαννίνων περιοχή Κουμαριά.

Πηγή:

<https://regionofepirus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8aa65b656f444211a359a5b9302508c4>

Τα προτεινόμενα αγροκτήματα είναι έκτασης άνω των 5 στρεμμάτων, εκτός δασικών περιοχών, αποτελούν κατακερματισμένες εκτάσεις που μπορούν να συντηρηθούν και να συνεισφέρουν στην αποθήκευση άνθρακα.

Από την άλλη πλευρά οι αγρότες θα πρέπει να εφαρμόσουν το σχέδιο εγκατάστασης και διαχείρισης, να ακολουθούν τη συμβουλευτική υποστήριξη και να τηρούν αρχεία. Οι αγρότες θα πρέπει να διατηρήσουν το σύστημα μέχρι να ωριμάσουν τα δέντρα.

Τα αγροκτήματα επισκέπτονται οι σύμβουλοι σε επιλεγμένα χρονικά διαστήματα για να αξιολογήσουν την ποιότητα της εγκατάστασης, την υγεία και τη διατήρηση των ξυλωδών ειδών, τη συμμόρφωση με τους κανόνες για την επιλογή ειδών και την προστιθέμενη αξία όσον αφορά άλλες παραμέτρους που αξιολογούνται και να προτείνουν τοπικές προσαρμογές. Στο συγκεκριμένο στάδιο μπορούν να γίνονται ενδιάμεσες μετρήσεις, παρέχονται συμβουλές και μεταφορά γνώσεων.

Όλα τα προτεινόμενα συστήματα απαιτούν έναν μακροπρόθεσμο κύκλο αναθεώρησης,

συνήθως κάθε 5 χρόνια, για την αξιολόγηση της συνεχούς υγείας και συμμόρφωσης.

Στην επόμενη ενότητα θα εξεταστεί πως η κατακερματισμένη έκταση του λιγνιτικού κέντρου της Δυτικής Μακεδονίας μετατράπηκε σε αγρόκτημα δέσμευσης άνθρακα.

5.9 Αποκατάσταση του Λιγνιτικού κέντρου Δυτικής Μακεδονίας, Ελλάδα, 2022

Το ερευνητικό έργο COFORMIT (COntribution FORest MITigation), το οποίο συνδιοργανώθηκε από το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ), τη ΔΕΗ Α.Ε., την εταιρεία ena Ο.Ε. και τον υπεργολάβο του έργου, το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών του ΕΛΓΟ Δήμητρα, αφορούσε τη δέσμευση άνθρακα από τις δενδροφυτεύσεις των έργων αποκατάστασης καθώς και τον βαθμό στον οποίο συνεισφέρουν οι δενδροφυτεμένες εκτάσεις του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας στην προστασία του περιβάλλοντος και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Το αντικείμενο εντάσσεται στο θεματικό τομέα Περιβάλλον και Βιώσιμη Ανάπτυξη, της Παρέμβασης II της Ενιαίας Δράσης Κρατικών Ενισχύσεων Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης & Καινοτομίας «ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ». Το έργο χρηματοδοτήθηκε από ευρωπαϊκούς και εθνικούς πόρους και αποτέλεσε μέρος του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία».

Το εν λόγω ερευνητικό έργο τεκμηρίωσε επιστημονικά τη συνεισφορά των δενδροφυτειών στις αποκατεστημένες εκτάσεις του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ). Αναλυτικά κατά τη διάρκεια της ερευνητικής δραστηριότητας του έργου, για περίπου 4 έτη, υπολογίστηκαν τα αποθέματα άνθρακα που υπάρχουν στις πέντε δεξαμενές άνθρακα του οικοσυστήματος, δηλαδή στην υπέργεια βιομάζα, στην υπόγεια βιομάζα, στο νεκρό ξύλο, στον δασικό τάπητα και στο δασικό έδαφος (t/ha). Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, εκτιμήθηκε η ποσότητα CO₂ που απορρόφησαν οι δενδροφυτείες της ΔΕΗ από την εγκατάστασή τους μέχρι σήμερα. Ένας ακόμη στόχος του έργου ήταν η διαρκής καταγραφή των μεταβολών δέσμευσης άνθρακα από τις δενδροφυτείες. Γι' αυτό και εγκαταστάθηκε ένας πύργος 17 m, στις αποκατεστημένες δενδροφυτείες στο ορυχείο του Αμυνταίου, για να καταγράφονται οι ημερήσιες, εποχιακές και διαχρονικές μεταβολές της αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 12: Ο πύργος καταγραφής των ποσοτήτων CO₂ και οι δενδροφυτείες δέσμευσης άνθρακα.
Πηγή: coformit project.

Κεφάλαιο 6. Συζήτηση

Για να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, είναι απαραίτητο να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η καλλιέργεια άνθρακα («carbon farming») είναι ένας τρόπος που μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αυτών στον τομέα της γεωργίας. Συγκεκριμένα, ο στόχος του «carbon farming» είναι η δέσμευση αερίων του θερμοκηπίου στο έδαφος και η χρήση του αποθηκευμένου στο χώμα άνθρακα από τους αγρότες, οι οποίοι μπορούν να τον πωλήσουν ή να τον χρησιμοποιήσουν με βάση καλές πρακτικές.

Τα αγροκτήματα δέσμευσης άνθρακα στην Ευρώπη παρουσιάζουν σημαντικές δυνατότητες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, ωστόσο, από επιστημονική άποψη, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η τάξη μεγέθους αυτού του δυναμικού μετριασμού.

Συνολικά, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει διάφορες πολιτικές και οδηγίες για την υποστήριξη των αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα και άλλων πρακτικών που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι πολιτικές παρέχουν χρηματοδότηση και υποστήριξη στους αγρότες ώστε να υιοθετήσουν βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, δημιουργώντας επίσης κίνητρα για τις εταιρείες να επενδύσουν σε τεχνολογίες και πρακτικές χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να υιοθετηθεί συγκεκριμένη προσέγγιση και να τελειοποιηθεί η επιστημονική βάση που θα λαμβάνει υπόψιν τις διαφορετικές μεθόδους αποθήκευσης άνθρακα στα γεωργικά εδάφη, τα εμπόδια στην υιοθέτησή τους για να διαμορφωθούν πολιτικές. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσει να αναπτυχθεί σε ευρεία κλίμακα η εκτροφή άνθρακα με τρόπο που να προσφέρει ισχυρούς μετριασμούς του κλίματος και τους στόχους της Πράσινης Συμφωνίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Παρόλο που η καλλιέργεια άνθρακα αποτελεί έναν τρόπο μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης στον τομέα της γεωργίας, υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την επίδρασή της, και γι' αυτό απαιτείται περαιτέρω έρευνα, καθώς και σαφέστερες πολιτικές. Είναι εξαιρετικά σημαντικό να παρακολουθηθούν και να επαληθευτούν οι διαδικασίες της καλλιέργειας άνθρακα (monitoring, reporting and verification - MRV) προκειμένου να διασφαλιστεί η επίτευξη σημαντικών αποτελεσμάτων στον μετριασμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Μια επιπλέον πρόκληση των εν λόγω καλλιεργειών είναι η πιθανότητα της "προσωρινής αποθήκευσης", δηλαδή η αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος για μη επαρκή χρονικά διαστήματα και η σχετικά άμεση επιστροφή του στην ατμόσφαιρα.

Η δέσμευση άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση των ποσοστών αποψίλωσης των δασών, την αντιστροφή της αποψίλωσης με αναφύτευση (Carvalho et al., 2004), τη στόχευση

καλλιέργειών υψηλότερης απόδοσης με πιο κατάλληλες ποικιλίες για την κλιματική αλλαγή και τη βελτίωση της διαχείρισης της γης και του νερού (Steinfeld et al., 2006). Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους μπορεί να διατηρηθεί σε καλλιεργούμενα εδάφη με τη διατήρηση της κατεργασίας, του ελέγχου της διάβρωσης, της διαχείρισης της οξύτητας του εδάφους, της διπλής καλλιέργειας, της αμειψισποράς, των υψηλότερων υπολειμμάτων των καλλιεργειών και της επικάλυψης (Paustian et al., 1997; Steinfeld et al., 2006). Η βελτίωση της διαχείρισης των βοσκοτόπων θα οδηγήσει επίσης σε δέσμευση άνθρακα με την ενσωμάτωση φυτών, τη βελτίωση των φυτικών ποικιλιών, την παρεμβολή οσπρίων, την προσθήκη γαιοσκωλήκων και τη λίπανση (Conant et al., 2001). Επιπλέον, η παραγωγή χόρτου και η δέσμευση του άνθρακα στο έδαφος θα μπορούσαν επίσης να αυξηθούν, μειώνοντας την πίεση βόσκησης σε λιβάδια με μικρότερο αριθμό ζώων βοσκής από την ικανότητα εκμετάλλευσης ζώων (Holland et al., 1992). Η βελτίωση της διαχείρισης των βοσκοτόπων θα μπορούσε να δεσμεύσει περίπου 0,15 γιγατόνους CO₂-eq yr⁻¹ παγκοσμίως (Henderson et al., 2015).

Δεδομένου ότι η καλλιέργεια άνθρακα αναφέρεται στη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα ή/και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης, στην παρούσα εξετάστηκε το δυναμικό ανάπτυξης αγροκτημάτων δέσμευσης άνθρακα στην περιφέρεια της Ηπείρου. Μάλιστα επιχειρήθηκε να εντοπιστούν κάποιες εκτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν καλλιέργειες δέσμευσης άνθρακα στην εν λόγω περιφέρεια.

Γενικά οι γεωργικές πρακτικές οι οποίες εφαρμόζονται είναι οι ακόλουθες:

μείωση της αγρανάπαυσης·

η πρακτική της άμεσης σποράς, η οποία μειώνει τη διαταραχή του εδάφους και την απελευθέρωση CO₂.

η χρήση οσπρίων ή/και χόρτων στην αμειψισπορά·

η μετατροπή της περιθωριακής γεωργικής γης σε πολυετείς εκτάσεις με γρασίδι ή δέντρα·

η χρήση της μεθόδου εκ περιτροπής βόσκησης και της υψηλής έντασης βοσκής μικρής διάρκειας·

η φύτευση θάμνων και δέντρων ως ανεμοφράκτες.

η αποκατάσταση των υγροτόπων.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Η αποθήκευση άνθρακα σε γεωργικά εδάφη μπορεί να δημιουργήσει οφέλη για τους αγρότες και την κοινωνία, συνεπάγεται ωστόσο και κινδύνους. Οι γεωργικές πρακτικές χρησιμοποιούν φυσικές διαδικασίες και μπορούν να ωφελήσουν τη βιοποικιλότητα, το νερό, την υγεία του εδάφους και την καλή διαβίωση των ζώων. Από την άλλη, οι αγρότες, μπορούν να επωφεληθούν από τα κέρδη παραγωγικότητας, το μειωμένο κόστος και τη βελτιωμένη ανθεκτικότητα των γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.

Ωστόσο, ορισμένες πρακτικές αποθήκευσης άνθρακα στο γεωργικό έδαφος μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις και να επιβάλλουν συμβιβασμούς στην υγεία του εδάφους ή τη βιοποικιλότητα. Προκειμένου να προωθηθούν αποκλειστικά ωφέλιμες καταστάσεις και να αποφευχθούν οι συμβιβασμοί, η αποθήκευση άνθρακα στα γεωργικά εδάφη πρέπει να σχεδιαστεί με μέτρα ελέγχου και κινήτρων για να προωθηθούν δράσεις με πολλαπλά οφέλη.

Η καλλιέργεια άνθρακα μπορεί να αποδειχθεί δαπανηρή και για αυτό πρέπει όχι μόνο να γίνει πιο οικονομικά βιώσιμη, αλλά και να παρέχονται κίνητρα για τη συμμετοχή των αγροτών. Αυτή την στιγμή δεν παρέχονται κίνητρα ώστε οι αγρότες να συμμετάσχουν στην καλλιέργεια άνθρακα αναμένεται όμως να δοθούν κίνητρα μέσω της νέας ΚΑΠ.

Η ΕΕ δημιούργησε ένα κανονιστικό πλαίσιο για την καλλιέργεια άνθρακα μέσα στο 2022. Ενώ η χρηματοδότηση για τη δραστηριότητα αυτή θα προέρχεται από πόρους της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής της ΕΕ από το 2023 έως το 2027 (νέα ΚΑΠ, eco-schemes), καθώς και από ιδιωτικές πηγές. Μένει να επιλεγούν για κάθε περίπτωση οι κατάλληλες μέθοδοι διαχείρισης για τη δέσμευση του άνθρακα οι οποίες σημειωτέον θα αυξήσουν την οργανική ουσία που περιέχεται στο έδαφος και κατά συνέπεια την ποιότητα του εδάφους.

Η Περιφέρεια της Ηπείρου διαθέτει ποικιλομορφία τοπίων και εδαφών με τα δάση και τους βοσκότοπους να υπερτερούν. Διαθέτει ευνοϊκό κλίμα με άφθονες βροχοπτώσεις οι οποίες από τις οποίες δημιουργούνται φυσικοί υδάτινοι όγκοι και πλούσια βλάστηση. Για τους τρεις τύπους χρήσεων γης, ήτοι 50,97% βοσκότοπων, 26,23% δασών και 14,11% καλλιεργειών προτείνονται διαφορετικές ενέργειες.

Για το 50,97% βοσκότοπων προτείνονται να εφαρμοστεί εκ περιτροπής βόσκηση, με την υψηλή βόσκηση να έχει μικρή διάρκεια. Παράλληλα κρίθηκε ότι η φύτευση θάμνων και δέντρων τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως φυσικοί φράκτες των χορτολιβαδικών εκτάσεων μπορεί να έχει θετικό αποτέλεσμα.

Για το 26,23% των δασών προτείνεται να χρησιμοποιηθεί επιτόπιος έλεγχος από ειδικούς συμβούλους για να αξιολογηθεί η υπέργεια βιομάζα, η υγεία της ξυλώδους βιομάζας και η ποιότητάς τους ώστε να διατηρηθεί το δυναμικό τους στη δέσμευση του άνθρακα.

Ενώ για το 14,11% των καλλιεργειών προτάθηκε η αμειψισπορά και η χρήση οσπρίων ή χόρτων. Επίσης καλές πρακτικές αποτελούν η μείωση της αγρανάπαυσης και η πρακτική της άμεσης σποράς, η οποία μειώνει τη διαταραχή του εδάφους και την απελευθέρωση CO₂.

Βιβλιογραφία

- Aertsens, J., De Nocker, L., Gobin, A. (2013): Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. *Land Use Policy* 31, 584–594. Online available at <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.003>
- Albrecht, A., and Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 99, 15–27.
- Amundson, R. and Biardeau, L. (2018): Opinion: Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 115, no. 46, pp. 11652–11656.
- Angers, D. A., and Chenu, C. (1997). Dynamics of soil aggregation and C sequestration. In "Soil Processes and the Carbon Cycle" (R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett, and B. A. Stewart, Eds.), pp. 199–206. CRC Press, Boca Raton.
- Arenas-Corraliza, M. G., López-Díaz, M. L., & Moreno, G. (2018). Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 264, 111-118.
- Batjes, N. H. (2019): Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. In: *Land Degradation and Development* 30 (1), pp. 25–32. DOI: 10.1002/ldr.3209.
- Böttcher, H., Reise, J., and K., Henneberg (2021): Exploratory analysis of an EU sink and restoration target. Oeko Institut e.V. Available at: Online available at <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/GP-Sink-Target.pdf>
- Bronick, C. J., and Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma* 124, 3–22.
- Burgess, P.J., Rosati, A. (2018): Advances in European agroforestry: results from the AGFORWARD project. *Agroforest Syst* 92, 801–810. Online available at <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0261-3>
- Carlisle, L., 2016. Factors influencing farmer adoption of soil health practices in the United States: a narrative review. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 40, 583–613. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1156596>.
- Carvalho, J. L. N., Cerri, C. E. P., Feigl, B. J., Piccolo, M. D. C., Godinho, V. P., & Cerri, C. C. (2009). Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 342-349.
- Christensen, B. T. (1996). Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In "Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils" (M. R. Carter and B. A. Stewart, Eds.), pp. 97–165. CRC Press, Boca Raton.

- Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological applications*, 11(2), 343-355.
- COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021a): Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby. Online available at <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/10acfd66-a740-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
- COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021b): Annexes to Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. Report to the European Commission, DG Climate Action on Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby. Online available at <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99138c98-a741-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
- Drexler, S., Gensior, A. and Don, A. (2021): Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Reg Environ Change* 21, 74.
- EEA (2021a): Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe (webpage). Online available at https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/c93be39f240e41a8bd41063960_d31592. Accessed 26.10.2021.
- European Commission (2020a): Commission Staff Working Document: Impact assessment accompanying the document communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. Online available at [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea\[1\]991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:749e04bb-f8c5-11ea[1]991b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF)
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J., Nayak, D.R.(2018): Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 254, 117–129. Available at <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- Fern (2018): Fern analysis of the EU's LULUCF Regulation. Online available at https://www.fern.org/fileadmin/uploads/fern/Documents/Analysis%20of%20trilogue%20outcome%20on%20LULUCF%20Regulation_final_0.pdf

- Flessa, H., Amelung, W., Helfrich, M., Wiesenberger, G. L. B., Gleixner, G., Brodowski, S., Rethemeyer, J., Kramer, C., and Grootes, P. M. (2008). Storage and stability of organic matter and fossil carbon in a Luvisol and Phaeozem with continuous maize cropping: A synthesis. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 36–51.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., (2005). Global Consequences of land use. *Science* 309, 570–574.
- Frank, S., E. Schmid, P. Havlík et al. (2015): The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*, vol. 35, pp. 269–278.
- García de Jalón, S.; Graves, A.; Palma, J. H. N.; Williams, A.; Upson, M.; Burgess, P. J. (2017): Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: a case study. *Agroforestry Systems*, 92(4), 1059-1073. DOI: 10.1007/S10457-017- 0128-Z.
- Greifswald Mire Centre, National University of Ireland (Galway) and Wetlands international Europ. Association (2019): Peatlands in the EU – Common Agriculture Policy (CAP): After 2020 Online available at https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/Infopapiere_Briefings/202003_CAP%20Policy%20Brief%20Peatlands%20in%20the%20new%20EU%20Version%204.8.pdf
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017): Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44):, 11645. Online available at <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V. et al. (2020): Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nat Commun* 11, 1644: Online available at <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
- Haile, S. G., Nair, P. K. R., and Nair, V. D. (2008). Carbon storage of different soil-size fractions in Florida silvopastoral systems. *J. Environ. Qual.* 37, 1789–1797.
- Henderson, B. B., Gerber, P. J., Hilinski, T. E., Falcucci, A., Ojima, D. S., Salvatore, M., & Conant, R. T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing

lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 91-100.

- Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, ecosystems & environment*, 103(1), 1-25.
- Hoque, M., Mondal, S., & Adusumilli, S. (2022). Way forward for sustainable livestock sector. In *Emerging Issues in Climate Smart Livestock Production* (pp. 473-488). Academic Press.
- Howlett, D. (2009). Environmental Amelioration Potential of Silvopastoral Agroforestry Systems in Spain: Soil Carbon Sequestration and Phosphorus Retention. Ph.D. diss., University of Florida, Gainesville, FL.
- IPCC (2006) 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IUCN (2017): Blue Carbon. Available at: https://www.iucn.org/sites/dev/files/blue_carbon_issues_brief.pdf
- Jastrow, J. D., and Miller, R. M. (1997). Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. In "Soil Processes and the Carbon Cycle" (R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follett, and B. A. Stewart, Eds.), pp. 207–223. CRC Press, Boca Raton.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., Verheijen, F. (2017): Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.* 12, 053001. Online available at <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa67bd>
- Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L. Verchot, (2019): 'Land–climate interactions.' In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- Joosten, H., Brust, K., Couwenberg, J., Gerner, A., Holsten, B., Permien, T., Schäfer, A., Tanneberger, F., Trepel, M., and Wahren, A. (2015): MoorFutures: Integration of additional ecosystem services (including biodiversity): into carbon credits – standard, methodology and transferability to other regions. BfN-Skripten 207. Federal Agency

for Nature Conservation. Online available at <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript407.pdf>

- Joosten, Hans and Tapio-Bistrom, M.L. and Tol, S. (2012): Peatlands – guidance for climate changes mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use. Mitigation Of Climate in Agriculture Series 5.
- Kay, Sonja, Carlo Rega, Gerardo Moreno, Michael den Herder, João H. N. Palma, Robert Borek, Josep Crous-Duran, et al. (2019): Agroforestry Creates Carbon Sinks Whilst Enhancing the Environment in Agricultural Landscapes in Europe. Land Use Policy 83 (April): 581–93.
- Kirby, K. R., and Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. For. Ecol. Manage. 246, 208–221.
- Kössler, J.E., Calvo, O.C., Franzaring, J. et al. (2019): Evaluating the ecotoxicity of nitrification inhibitors using terrestrial and aquatic test organisms. Environ Sci Eur 31, 91. Online available at <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0272-3>
- Kragt, M.E., Dumbrell, N.P., Blackmore, L., 2017. Motivations and barriers for Western Australian broad-acre farmers to adopt carbon farming. Environ. Sci. Policy 73, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.04.009>.
- Kumar, R.R., Park, B.J. and Cho, J.Y. (2013): Application and environmental risks of livestock manure. J Korean Soc Appl Biol Chem 56, 497–503. Online available at <https://doi.org/10.1007/s13765-013-3184-8>
- Lal, R. (2008). Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European ecoregions. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 81, 113–127.
- Lamers, L. P. M., Vile, M. A., Grootjans, A. P., Acreman, M. C., van Diggelen, R., Evans, M. G., Richardson, C. J., Rochefort, L., Kooijman, A. M., Roelofs, J. G. M., and Smolders, A. J. P. (2015): Ecological restoration of rich fens in Europe and North America: From trial and error to an evidence-based approach. Biological Reviews, 90(1), 182–203. Online available at <https://doi.org/10.1111/brv.12102>
- Lugato, E, F. Bampa, P. Panagos et al. (2014): Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. Global change biology, 20 (11), 3557–3567.
- Luke, 2020a. Structure of agricultural and horticultural enterprises | LUKE statistics [WWW Document]. URL <https://stat.luke.fi/en/structure-of-agricultural-and-horticultural-enterprises>.

- LUKE, 2020b. Crop Production Statistics [WWW Document]. URL <https://stat.luke.fi/en/crop-production-statistics>.
- Marschner, B., Brodowski, S., Dreves, A., Gleixner, G., Gude, A., Grootes, P. M., Hamer, U., Heim, A., Jandl, G., Ji, R., Kaiser, K., Kalbitz, K., et al. (2008). How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 91–110.
- Mattila, T. J., Hagelberg, E., Söderlund, S., & Joona, J. (2022). How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research*, 215, 105204.
- McDonald, H., Frelih-Larsen, A., Keenleyside, C., Lóránt, A., Duin, L., Andersen, S. P., ... & Hiller, N. (2021). Carbon farming, Making agriculture fit for 2030.
- Mikutta, R., Kleber, M., Torn, M. S., and Jahn, R. (2006). Stabilization of soil organic matter: Association with minerals or chemical recalcitrance? *Biogeochemistry* 77, 25–56
- Nair, P. K. R., Gordon, A. M., and Mosquera-Losada, M.-R. (2008). Agroforestry. In “Encyclopedia of Ecology” (S. E. Jorgensen and B. D. Faith, Eds.), Vol. 1, pp. 101–110. Elsevier, Oxford, UK.
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., and Nair, V. D. (2009a). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 10–23.
- Oades, J. M., and Waters, A. G. (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29, 815–828.
- Palm, C., Tomich, T., van Noordwijk, M., Vosti, S., Gockowski, J., Alegre, J., and Verchot, L. (2004). Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). *Environ. Dev. Sustain.* 6, 145–162.
- Paustian, K. A. O. J. H., Andren, O., Janzen, H. H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., ... & Woerner, P. L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil use and management*, 13, 230–244.
- Pérez Domínguez I., Fellmann T., Witzke P., Weiss F., Hristov J., Himics M., Barreiro-Hurle J., Gómez Peters and von Unger (2017): Peatlands in the EU Regulatory Environment – Survey with case studies on Poland and Estonia. Federal Agency for Nature Conservation. Bundesamt für Naturschutz. Available at: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript454.pdf>
- Pieper, M., Michalke, A. and Gaugler, T. (2020): Calculation of external climate costs for food highlights inadequate pricing of animal products. *Nat Commun* 11, 6117. Online available at <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19474-6>

- Renou-Wilson, F., Moser, G., Fallon, D., Farrell, C. A., Müller, C., and Wilson, D. (2019): Rewetting degraded peatlands for climate and biodiversity benefits: Results from two raised bogs. *Ecological Engineering*, 127, 547–560. Online available at <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.014>
- Rigueiro-Rodriguez, A., McAdam, J. H., and Mosquera-Losada, M. R. (2008). *Agroforestry in Europe*. Springer, Dordrecht, The Netherlands
- Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daioglou, V., Deppermann, A., Doelman, J., Emmet-Booth, J., Engelmann, J., Fricko, O., Frischmann, C., Funk, J., Grassi, G., Griscom, B., Havlik, P., Hanssen, S., Humpenöder, F., Landholm, D., Lomax, G., Lehmann, J., Mesnildrey, L., Nabuurs, G.-J., Popp, A., Rivard, C., Sanderman, J., Sohngen, B., Smith, P., Stehfest, E., Woolf, D., Lawrence, D. (2021) Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Global Change Biology* 27, 6025–6058. <https://doi.org/10.1111/gcb.15873>
- Royal Society and Royal Academy of Engineering (2018): Greenhouse Gas Removal. Online available at [https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/greenhouse-gas\[1\]removal/royal-society-greenhouse-gas-removal-report-2018.pdf](https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/greenhouse-gas[1]removal/royal-society-greenhouse-gas-removal-report-2018.pdf)
- Sharrow, S. H., and Ismail, S. (2004). Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforest. Syst.* 60, 123–130.
- Six, J., Elliott, E. T., and Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microag[1]gregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099–2103.
- SSSA (2001). Carbon Sequestration: Position of the Soil Science Society of America (SSSA). Available from: www.soils.org/pdf/pos_paper_carb_seq.pdf (last accessed February 2010).
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food & Agriculture Org..
- Swindles, G. T., Morris, P. J., Donal J. Mullan, Richard J. Payne, Thomas P. Roland, Matthew J. Amesbury, Mariusz Lamentowicz, T. Edward Turner, Angela Gallego-Sala, Thomas Sim, Iestyn D. Barr, Maarten Blaauw, Antony Blundell et al. (2019): Widespread drying of IPOL | Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies PE 695.482 64 European peatlands in recent centuries. In: *Nat. Geosci.* 12 (11) 922–928. DOI: 10.1038/s41561-019- 0462-z

- Takimoto, A., Nair, P. K. R., and Alavalapati, J. R. R. (2008b). Socioeconomic potential of carbon sequestration through agroforestry in the West African Sahel. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 13, 745–761.
- Takimoto, A., Nair, P. K. R., and Nair, V. D. (2008a). Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. *Agric. Ecosyst. Environ.* 125, 159–166.
- Tanneberger et al. (2017): The Peatland Map of Europe. *Mires and Peat*, 19 (22) 1–17. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.264
- Tisdall, J. M., and Oades, J. M. (1982). Organic-matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141–163.
- von Luetzow, M., Kogel-Knabner, I., Ludwig, B., Matzner, E., Flessa, H., Ekschmitt, K., Guggenberger, G., Marschner, B., and Kalbitz, K. (2008). Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 111–124.
- Wiesmeier, M., Mayer, S., Burmeister, J., Hübner, R., Kögel-Knabner, I. (2020): Feasibility of the 4 per 1000 initiative in Bavaria: A reality check of agricultural soil management and carbon sequestration scenarios. *Geoderma* 369, 114333. Online available at <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114333>
- Wilson, R. M., Hopple, A. M., Tfaily, M. M., Sebestyen, S. D., Schadt, C. W., Pfeifer-Meister, L., ... & Hanson, P. J. (2016). Stability of peatland carbon to rising temperatures. *Nature Communications*, 7(1), 13723.