



**ΘΕΜΑΤΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

Κλιματική Αλλαγή στην Ανθρωπόκαινο Εποχή

**13^{ος}
τόμος**

Επιμέλεια
Αναστασία Πασχαλίδου

**ΕΚΔΟΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Π.Θ.**

Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
13^{ος} Τόμος: Κλιματική Αλλαγή στην Ανθρωπόκαινο Εποχή

Έκδοση Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Επιμέλεια: Αναστασία Πασχαλίδου

ISSN: 1791-7824

ISBN: 978-960-9698-18-4

Copyright © 2021

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων,
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα

Ημερομηνία Έκδοσης: Νοέμβριος 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Βερόνικα Ανδρεά	
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΑΣΩΝ ΣΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	1
Χρυσοβαλάντου Αντωνοπούλου, Χρήστος Χατζησαββίδης & Γαρυφάλλος Αραμπατζής	
ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ	14
Αθανάσιος Αν. Γεωργίσης, Μιχαήλ Τσατήρης & Βασιλική Δήμου	
Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΦΟΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΡΡΥΘΜΙΣΗ-ΦΟΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΕ	32
Αθανάσιος Αν. Γεωργίσης, Μιχαήλ Τσατήρης & Βασιλική Δήμου	
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΦΟΡΟΙ: ΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΑΣΚΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	55
Ευαγγελία Διαπούλη	
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ	77
Ασημένια Καλέντζιου & Αναστασία Πασχαλίδου	
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ	91
Παρασκευή Καρανικόλα, Στυλιανός Ταμπάκης, Ορνέλα Λέσι, Μελπωμένη-Ειρήνη Καραντώνη & Ζωή Ταμπάκη	
ΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΡΑΣΙΝΟ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ: Η ΑΠΟΨΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΤΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ	106
Φωτεινή Κρατούνα & Αλεξάνδρα Γκεμιτζή	
ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΜΙΑ 29ΕΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ CORINE ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ	121
Παρασκευή Μπέγου & Παύλος Κασσωμένος	
Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΓΙΑ ΕΝΔΗΜΙΕΣ, ΕΠΙΔΗΜΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΝΔΗΜΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΚΑΙΝΟ ΕΠΟΧΗ	137
Χριστόδουλος Νταούτης, Αλέξανδρος Ευταξίας, Βασίλειος Διαμαντής & Απόστολος Κανταρτζής	
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΔΑΣΙΚΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	153

Ηλίας Πέτρου & Παύλος Κασσωμένος ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	168
Δικαία Σαραγά Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ	181
Πηνελόπη Σταυροπούλου & Αναστασία Πούπκου ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ	190
Εμμανουήλ Τζιώλας & Γεώργιος Φυτιάνος ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ	202
Κυριακή Ψιστάκη & Αναστασία Πασχαλίδου ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	213

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το κλίμα της Γης είναι αποτέλεσμα της αδιάκοπης ανταλλαγής ενέργειας και ύδατος μεταξύ ατμόσφαιρας, υδρόσφαιρας, λιθόσφαιρας, κρυόσφαιρας και βιόσφαιρας, με τα συστατικά του κλιματικού συστήματος να αλληλεπιδρούν σε μία προσπάθεια εξισορρόπησης των μεταξύ τους διαφορών. Μέσα σε μία τέτοια δυναμική ισορροπία, είναι αναμενόμενο το κλίμα να υπόκειται σε διαρκείς μεταβολές στον χώρο και στον χρόνο.

Πράγματι, στα 4,5 δισ. έτη ζωής της Γης, το κλίμα της υπέστη κατ' επανάληψιν κοσμογονικές μεταβολές, με τη γεωλογική ιστορία να χαρακτηρίζεται άλλοτε από δριμείς παγετώνες και άλλοτε από θερμά μεσοπαγετώδη διαστήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Χουρώνιος περίοδος, που θεωρείται πως ήταν η ψυχρότερη που γνώρισε ο πλανήτης στη γεωλογική ιστορία του, καθώς η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ήταν περίπου 6% λιγότερη σε σχέση με σήμερα και η επιφάνεια της Γης ήταν σχεδόν στο σύνολό της καλυμμένη από πάγο. Στον αντίποδα, στην αρχή της Ηώκαινου περιόδου ($52-48 \times 10^6$ χρόνια πριν από σήμερα), η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας ήταν περίπου 9-14 °C υψηλότερη σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα.

Ασφαλώς, ο οργανικός κόσμος του πλανήτη δεν μπορούσε να παραμείνει ανεπηρέαστος από τέτοιου είδους συνταρακτικές μεταβολές. Τυπικό παράδειγμα των ολέθριων επιπτώσεων της κλιματικής μεταβλητότητας αποτελεί ο λεγόμενος «Μεγάλος Αφανισμός» που συνέβη $251,4 \times 10^6$ έτη πριν από σήμερα και είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια του 96% των θαλάσσιων ειδών και του 70% των ειδών της ξηράς, με το μεγαλύτερο πλήγμα να δέχονται τα ασπόνδυλα, όπως τα κοράλλια, οι αμμωνίτες, τα κρινοειδή, τα βλαστοειδή κ.ά. Απεναντίας, κατά την Κάμβριο περίοδο, παρατηρήθηκε ταχεία έξαρση της βιοποικιλότητας και μέσα σε περίπου $70-80 \times 10^6$ χρόνια ο ρυθμός εξέλιξης επιταχύνθηκε κατά μία τάξη μεγέθους.

Κατά συνέπεια, η κλιματική μεταβλητότητα αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό του κλιματικού μας συστήματος και ο οργανικός κόσμος διαθέτει την ικανότητα της προσαρμογής. Ωστόσο, οι ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες στην Αρκτική ζώνη που καταγράφονται σήμερα είναι άνευ προηγουμένου για τα τελευταία 1450 τουλάχιστον χρόνια. Παράλληλα, οι θερμοκρασίες που καταγράφονται στο Β. Ημισφαίριο κατά τις τελευταίες δεκαετίες είναι πιθανότατα οι υψηλότερες των τελευταίων 800 τουλάχιστον ετών. Δεδομένου ότι οι μεταβολές αυτές έχουν συντελεστεί εντός ενός σχετικά σύντομου χρονικού διαστήματος, αυτού της μεταβιομηχανικής περιόδου, η φυσική κλιματική μεταβλητότητα αδυνατεί να ερμηνεύσει τις μεγάλες αποχές που παρατηρούνται στις κλιματικές παραμέτρους. Αυτές μπορούν να ερμηνευτούν, μόνο αν ληφθεί υπόψιν η ανθρωπογενής παρέμβαση στο κλίμα, όπως αυτή εκφράζεται με τη μεταβολή της σύστασης της ατμόσφαιρας και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Για τον λόγο αυτόν, η εποχή μας έχει χαρακτηριστεί «Ανθρωπόκαινος», υπογραμμίζοντας την ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Ο 13^{ος} Τόμος της σειράς «Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων» τιτλοφορείται «Κλιματική Αλλαγή στην Ανθρωπόκαινο Εποχή» και πραγματεύεται τις προκλήσεις που απορρέουν από το παγκόσμιο πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Περιλαμβάνει, εκτός από κλιματικές μελέτες, εργασίες για τις επιπτώσεις της κλιματικής

αλλαγής στα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά και στους κρίσιμους τομείς της οικονομίας, της επισιτιστικής ασφάλειας, της ενέργειας και της δημόσιας υγείας.

Με την ολοκλήρωση του Τόμου, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους που δέχτηκαν να συμμετέχουν σε αυτό το πόνημα και μου εμπιστεύτηκαν τη δουλειά τους. Ελπίζουμε οι αναγνώστες να βρουν το περιεχόμενο του τόμου χρήσιμο και να συνεχίσουν να εμπιστεύονται τις εκδόσεις του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης.

Αναστασία Πασχαλίδου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΑΣΩΝ ΣΤΟΝ ΜΕΤΡΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

Βερόνικα Ανδρεά

Επίκουρη Καθηγήτρια

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: vandrea@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αστικό περιβάλλον επιβαρύνεται σημαντικά από την αλλαγή του κλίματος. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, ιδιαίτερα στις μητροπολιτικές περιοχές, συνδέεται άμεσα με την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και με επιβαρύνσεις που δέχεται η ανθρώπινη υγεία. Τα αστικά και περιαστικά δάση αποτελούν έναν σημαντικό σύμμαχο στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και στη διαδικασία προσαρμογής σε αυτή. Η παρούσα εργασία στοχεύει στο να αναδείξει τον ρόλο των αστικών και περιαστικών δασών ως απάντηση στο πρόβλημα του υπερπληθυσμού σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος. Το Scopus και το Google Scholar χρησιμοποιήθηκαν ως βάσεις αναζήτησης δεδομένων, ενώ τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αναλύθηκαν και ταξινομήθηκαν ως προς το περιεχόμενό τους. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι οι προτεραιότητες στον τομέα χάραξης πολιτικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την αλλαγή του κλίματος θα πρέπει να λάβουν σοβαρά υπόψη τον καθοριστικό ρόλο των αστικών και περιαστικών δασών και των υπηρεσιών τους στις μεγαλουπόλεις, όπου συγκεντρώνεται ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της Γης. Η δημιουργία έξυπνων και βιώσιμων πόλεων απαιτεί συνεργασίες σε πολλαπλά επίπεδα αλλά και την εμπλοκή των ενδιαφερόμενων μερών σε καθοριστικές αποφάσεις για το μέλλον της Γης και της ανθρωπότητας. Η δασική πολιτική, η δασοκομία πόλεων και ο αστικός σχεδιασμός είναι επιστήμες που θα βρεθούν ψηλά στην ατζέντα των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής για το κλίμα. Ωστόσο τα προβλήματα που δημιουργεί η αλλαγή του κλίματος απαιτούν λύσεις που θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική συσχέτιση μεταξύ οικολογικής και κοινωνικής ανθεκτικότητας. Για να δοθούν ουσιαστικές λύσεις, χρειάζεται η ενεργός συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών και όλων των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε τα δάση των πόλεων να διασφαλίσουν το μέλλον μας.

Λέξεις κλειδιά: Αστικό πράσινο, κλιματική αλλαγή, μετριασμός, προσαρμογή, βιοφιλική αστικοποίηση, βιώσιμες πόλεις, αστική θερμονησίδα, δασική πολιτική

Εισαγωγή

Από το 1965 και έκτοτε κάθε δέκα χρόνια, παρατηρείται αύξηση στη θερμοκρασία του αέρα των ευρωπαϊκών πόλεων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0,22-0,40 °C (European Environment Agency 2018). Η ενίσχυση του αστικού πρασίνου και η δημιουργία φυσικών περιοχών μέσα

στον αστικό ιστό αποτελούν στόχους ζωτικής σημασίας για τη Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσον αφορά στη βιοποικιλότητα με ορίζοντα το 2030, η οποία εστιάζει στην «Επαναφορά της φύσης στη ζωή μας» (European Commission 2020). Μάλιστα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπογραμμίζει την αδήριτη ανάγκη για δημιουργία πράσινων ευρωπαϊκών πόλεων που θα βελτιώνουν σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα του αέρα. Επίσης, η Επιτροπή αναγνωρίζει τη συνεισφορά των χώρων αστικού πρασίνου στην ευημερία και την ψυχική υγεία των ανθρώπων, σε μία εποχή όπου ολόκληρη η ανθρωπότητα μετρά τις πληγές της από τις ολέθριες συνέπειες της πανδημίας COVID-19. Ενδεχόμενα, αυτή να είναι μία μοναδική ευκαιρία στην Ανθρωπόκαινο εποχή, ώστε να αναθεωρήσουμε τη σχέση μας με το φυσικό περιβάλλον.

Αδιαμφισβήτητα, η ανθρώπινη υγεία απειλείται και οι σύγχρονες έρευνες εστιάζουν στην ποιότητα αέρα, κυρίως σε αστικές περιοχές. Οι Sicard et al. (2021) διερεύνησαν τις επιπτώσεις της έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση για τον αστικό πληθυσμό στο σύνολο των ευρωπαϊκών πόλεων. Σύμφωνα με τους ίδιους, τα στοιχεία των τελευταίων δεκαετιών συνηγορούν στο ότι οι πρόωροι θάνατοι (κυρίως οι σχετιζόμενοι με αυξημένα επίπεδα όζοντος) και τα προβλήματα υγείας αυξάνονται για τους κατοίκους όλων των κρατών-μελών της Ευρώπης, αλλά και για το Ηνωμένο Βασίλειο. Οι λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος βρίσκονται στη δημιουργία και ενίσχυση φυσικών περιοχών και στην ενίσχυση του αστικού πρασίνου.

Ειδικότερα, οι Lwasa et al. (2014) σημειώνουν ότι εδώ και σχεδόν τριάντα χρόνια η έρευνα καταδεικνύει τη σημαντικότητα των περιαστικών δασών για το μέλλον των πόλεων, κυρίως στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη, που δυνητικά βρίσκονται σε πιο ευάλωτη θέση σε ό,τι αφορά στην κλιματική αλλαγή. Γίνεται ακόμη λόγος για τον καίριο ρόλο των περιαστικών δασών στην επισιτιστική ασφάλεια. Είναι εμφανές ότι υπάρχει ανάγκη να χαράσσονται πολιτικές, με γνώμονα την καινοτομία, για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πόλεις. Προς την κατεύθυνση αυτή, ο Endreny (2018) χαρακτηριστικά αναφέρει ότι η έντονη αστικοποίηση είναι αυτή που μετέτρεψε τις μεγάλες πόλεις σε σημεία αναφοράς για τη φτώχεια και την κακή υγεία των ανθρώπων, την ίδια στιγμή που τα περιαστικά δάση, μέσα από τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων τους, μπορούν να προσφέρουν ανακούφιση από τα δεινά αυτά και να συμβάλουν σημαντικά στην επίτευξη της κοινωνικής ευημερίας.

Η αναφορά στα αστικά δάση περιλαμβάνει όλα τα δέντρα στην αστική περιοχή, συμπεριλαμβανομένων των μεμονωμένων δέντρων του δρόμου και των συστάδων δέντρων στα πάρκα των πόλεων. Τα περιαστικά δάση εκτείνονται στην περιφερειακή μητροπολιτική περιοχή. Μέσα στο αστικό δάσος, οι δασικοί τύποι περιλαμβάνουν πάρκα πόλης και αστικά δάση με έκταση μεγαλύτερη από 0,5 εκτάρια, μικρά πάρκα και κήπους με δέντρα, δέντρα στους δρόμους ή σε δημόσιες πλατείες, δίπλα σε όχθες ποταμών, σε ταράτσες και σε φυτώρια (Endreny 2018).

Τα αστικά και περιαστικά δάση συμβάλλουν ουσιαστικά, μέσα από τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων τους, μεταξύ άλλων στη μείωση της ηχορύπανσης και το φιλτράρισμα του αέρα και του νερού στις πόλεις, στη ρύθμιση του κλίματος, στον κύκλο του νερού, στην αναψυχή και στην ψυχική υγεία (Hidalgo 2021, Foo 2016, Carrus 2015). Επίσης, τα συμπεράσματα σύγχρονων ερευνών εστιάζουν στον ευεργετικό ρόλο των δέντρων για τις αστικές περιοχές αναφορικά με τη ρύθμιση του ενεργειακού ισοζυγίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την καλύτερη ψύξη των κτιρίων λόγω της σκίασης και από την ψύξη του αέρα στις πόλεις (Wang et al. 2018). Ειδικότερα, σύμφωνα με τους Tsoka et al. (2021), σε ορισμένες

περιπτώσεις όπου υπάρχουν πυκνές συστοιχίες δέντρων, η ενεργειακή απόδοση των κτιριακών εγκαταστάσεων μπορεί να ξεπεράσει το 50%.

Προκειμένου να αξιοποιηθούν οι ευεργετικές ιδιότητες των αστικών δασών, οι επιμέρους στρατηγικές, κατά περίπτωση, θα πρέπει να στηρίζονται στη διεπιστημονικότητα και στην καινοτομία. Απαιτείται η συνεργασία διάφορων ειδικοτήτων, όπως εκείνων που ασχολούνται με τη δασοκομία πόλεων και την περιβαλλοντική μηχανική, για τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες αστικές περιοχές. Η δημιουργία κατακόρυφων δασών σε πυκνοκατοικημένες μητροπολιτικές περιοχές αποτελεί μία από τις καινοτομίες του 21^{ου} αιώνα που φιλοδοξεί να προσφέρει λύσεις για την προσαρμογή στις αλλαγές του κλίματος (Willis & Petrokofsky 2017).

Με στόχο τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πόλεις, εισάγεται στη διεθνή βιβλιογραφία ο όρος «δασικές πόλεις». Ο όρος έγινε ευρύτερα γνωστός μέσα από ένα μεγαλεπήβολο σχέδιο του Ιταλού αρχιτέκτονα S. Boeri που είχε ως στόχο την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Κίνα. Το σχέδιο είχε ως βάση του τη δημιουργία χώρων πρασίνου που προσομοιάζουν με ένα «κάθετο δάσος» που δημιουργείται σε ένα σύμπλεγμα από ουρανοξύστες στον αστικό ιστό και έγινε πραγματικότητα σε μία σύγχρονη ευρωπαϊκή πόλη, το Μιλάνο της Ιταλίας (Philips 2017).

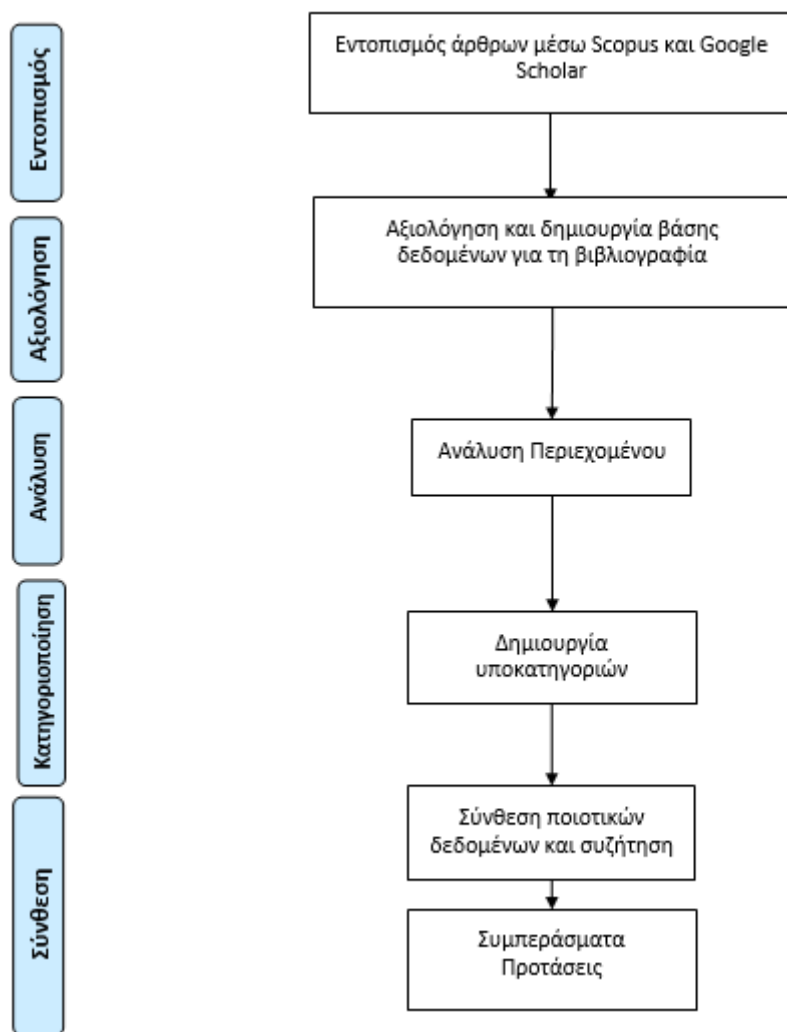
Ωστόσο, υπάρχουν και σημαντικές φυσικές επιπτώσεις στα αστικά και περιαστικά δάση, τα οποία πλήττονται από την κλιματική αλλαγή. Το γεγονός αυτό επιδρά σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, καθώς μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή αλλεργιογόνων, παρασίτων και παθογόνων οργανισμών - ειδικά όταν δημιουργούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο έντονο αστικό περιβάλλον (Dale & Frank 2014). Παράλληλα, η αναποτελεσματική διαχείριση των δέντρων μπορεί σε σπάνιες περιπτώσεις να δημιουργήσει ατυχήματα και τραυματισμούς, όπως αυτά που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές (π.χ. τυφώνες). Στα μειονεκτήματα της μη αποτελεσματικής διαχείρισης των αστικών δέντρων συγκαταλέγεται, επίσης, η παρεμπόδιση της ελεύθερης θέας και διέλευσης των πολιτών, που μπορεί να δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για εγκληματική δράση, αλλά και φόβο για τους πολίτες, αυξημένες ανάγκες για θέρμανση τον χειμώνα, παγίδευση ρυπαντών στην κόμη των δέντρων κ.ά. (Soto et al. 2018).

Η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο την ανάδειξη του κρίσιμου ρόλου των αστικών και περαστικών δασών στην κοινωνική ευημερία, έτσι όπως αυτή εξελίσσεται στην Ανθρωπόκαινο εποχή και πλήττεται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η διερεύνηση των προοπτικών που δημιουργούνται από τη δημιουργία βιώσιμων - δασικών πόλεων, αλλά και των κινδύνων που ελλοχεύουν λόγω των αλλαγών του κλίματος, αποτελούν επιμέρους στόχους της μελέτης.

Μέθοδοι και υλικά

Η εργασία αποτελεί ποιοτική έρευνα και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ανάλυση περιεχομένου. Η μελέτη ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2021 και διήρκεσε τρεις (3) μήνες. Το ερευνητικό ερώτημα εστίασε στο αν έχει αναδειχθεί ικανοποιητικά ο ρόλος των αστικών και περαστικών δασών αναφορικά με τη συμβολή τους στην προσαρμογή και τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Ειδικότερα, η έρευνα εστίασε σε πολιτικές που αποτελούν συνέχεια της Συμφωνίας των Παρισίων (2016), η οποία αναγνωρίζει τον κομβικό ρόλο που διαδραματίζουν τα δάση στην αλλαγή του κλίματος, την ανθεκτικότητα και τον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτή. Επίσης, στόχος ήταν να διερευνηθούν οι προοπτικές που δημιουργούνται από τη δημιουργία βιώσιμων - δασικών πόλεων, αλλά και οι κίνδυνοι για τα δάση των πόλεων εξαιτίας των κλιματικών μεταβολών.

Το ερευνητικό ερώτημα αποσκοπεί στην αποτίμηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και στη διαπίστωση ελλειμμάτων σε θέματα δασικής πολιτικής. Το Scopus και το Google Scholar ήταν οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξεύρεση της σχετικής βιβλιογραφίας. Ακολούθησε ανάλυση περιεχομένου και δημιουργήθηκαν 4 υποκατηγορίες. Πραγματοποιήθηκε ποιοτική ανάλυση και σύνθεση των αποτελεσμάτων για κάθε υποκατηγορία. Τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε απεικονίζονται στο Σχήμα 1.



Εικόνα 1. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Τα αποτελέσματα της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας σχετικά με τον ρόλο των αστικών και περιαστικών δασών στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν 4 υποενότητες:

- Υποενότητα 1: Έχει τίτλο «Η Συμφωνία των Παρισίων» και περιλαμβάνει μία σύντομη παρουσίαση της Συμφωνίας των Παρισίων, κυρίως ως προς το Άρθρο 5, όπου επιδιώκεται να γίνει συσχέτιση μεταξύ των διεθνών - ειδικών πολιτικών που συνδέονται με τον σκοπό της μελέτης.

- Υποενότητα 2: Ονομάζεται «Γιατί δίδεται έμφαση στα αστικά και περιαστικά δάση;» και αναφέρεται στις βασικές λειτουργίες και στα πιο σημαντικά οφέλη των αστικών και περιαστικών δασών για το αστικό περιβάλλον (σε διάφορα επίπεδα) και στον καθοριστικό ρόλο που διαδραματίζουν τα δάση μέσα από τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των κλιματικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα για τους κατοίκους των μεγάλων αστικών κέντρων.
- Υποενότητα 3: Έχει τίτλο «Κίνδυνοι για τα αστικά και περιαστικά δάση εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και μηχανισμοί προσαρμοστικότητας» και πραγματεύεται τους κινδύνους που ελλοχεύει η κλιματική αλλαγή για τα αστικά και περιαστικά δάση, ειδικά όταν η διαχείρισή τους δεν είναι αποτελεσματική, αλλά και τους φυσικούς μηχανισμούς που έχουν αναπτύξει τα δασικά είδη μέσω της μορφολογίας και της φυσιολογίας τους οι οποίοι βοηθούν στην προσαρμογή και προστασία τους από δυσμενείς συνθήκες για την επιβίωσή τους.
- Υποενότητα 4: Έχει τίτλο «Δασικές πόλεις: καινοτομία ή χίμαιρα;» και επιδιώκει να παρουσιάσει τη ρηξικέλευθη ιδέα και την σημασία της ανάπτυξης δασικών πόλεων, αλλά και να θέσει τις απαραίτητες προϋποθέσεις, προκειμένου η προσέγγιση αυτή να είναι αποτελεσματική και να μην επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα εξαιτίας της μη αποτελεσματικής προσαρμογής των ειδών στο μεταβαλλόμενο κλίμα.

Η Συμφωνία των Παρισίων

Τα Ηνωμένα Έθνη, εδώ και περίπου τρεις δεκαετίες, έχουν κινητοποιηθεί, ώστε να αντιμετωπίσουν τα απειλητικά σενάρια της κλιματικής αλλαγής για την ανθρωπότητα και τη Γη, καλώντας τα κράτη-μέλη να υπογράψουν τη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος. Ωστόσο, η πρώτη οικουμενική και νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα υπογράφεται μόλις το 2016 και είναι γνωστή ως Συμφωνία των Παρισίων. Η Συμφωνία αυτή αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για την παγκόσμια αναγνώριση της συμβολής των δασών και των δασικών εκτάσεων στον μετριασμό και στην προσαρμογή στις αλλαγές του κλίματος. Παράλληλα, διαδραματίζει κομβικό ρόλο για τις πολιτικές, τις στρατηγικές και τα επιμέρους μέτρα που θα πρέπει να αναβαθμίσουν τον ρόλο των αστικών και περιαστικών δασών.

Στο Άρθρο 5 γίνεται σαφές ότι οι πολιτικές για τον δασικό τομέα που θα πρέπει να ακολουθήσουν περισσότερες από 180 χώρες του πλανήτη, οι οποίες και υπογράφουν τη Συμφωνία των Παρισίων, θα πρέπει να ενισχυθούν σημαντικά προς την κατεύθυνση της αποτελεσματικότερης διαχείρισης των δασών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Paris Agreement 2015). Είναι πολύ θετικό ότι χώρες όπως το Μεξικό και η Κίνα που διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην παγκόσμια πολιτική για το κλίμα έχουν δεσμευτεί ότι θα ακολουθήσουν πολιτικές με στόχο τη μείωση της αποδάσωσης μέσα στις επόμενες δεκαετίες (Hernandez 2021).

Η Συμφωνία των Παρισίων κυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις 5 Οκτωβρίου 2016 και αποτελεί ένα αισιόδοξο σενάριο για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών για τον δασικό τομέα, δεδομένου ότι ένα σημαντικό μέρος της Ευρώπης βρίσκεται στη Μεσόγειο, μία περιοχή όπου τα οικοσυστήματα εμφανίζουν ιδιαίτερη ευπάθεια στις κλιματικές μεταβολές (Baraldi et al. 2019). Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για το μέλλον, η ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Μεσογείου διατρέχει σοβαρό κίνδυνο αύξησης της θερμοκρασίας, εμφάνισης φαινομένων έντονης ξηρασίας, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ενίσχυση της έντασης και

της συχνότητας πλημμυρών και άλλων φυσικών καταστροφών που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή (Cardoso et al. 2018). Αν στα προηγούμενα προστεθεί και η δυσχερής θέση των μεσογειακών οικοσυστημάτων αναφορικά με τον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών από ανθρωπογενείς και φυσικές αιτίες, γίνεται σαφές ότι πρόκειται για μία περιοχή που χρήζει ιδιαίτερης σημασίας σε θέματα τρωτότητας - άρα και προστασίας- απέναντι στα μελλοντικά κλιματικά σενάρια (Gonçalves & Sousa 2017, Tampakis et al. 2005).

Επίσης, υπάρχει μία σχετική ανισορροπία μεταξύ των ισχυρών και των αναπτυσσόμενων χωρών σε επίπεδο ετοιμότητας, ώστε να προσαρμοστούν και να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις δυσμενείς επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζώων και περιουσιών (Bettini 2017) και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό πολιτικών, στρατηγικών και επιμέρους μέτρων που θα έχουν ως στόχο τη μετάβαση σε μία νέα κλιματικά ουδέτερη εποχή. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι στον αναπτυσσόμενο κόσμο οι περισσότεροι κάτοικοι ζουν και δραστηριοποιούνται σε μητροπολιτικές περιοχές, οι οποίες είναι πιο ευάλωτες στις αρνητικές επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος.

Γιατί δίδεται έμφαση στα αστικά και περιαστικά δάση;

Ο ρόλος των αστικών και περαστικών δασών θεωρείται κομβικός για τις πολιτικές που έχουν ως στόχο τον μετριασμό των κλιματικών επιπτώσεων και θα πρέπει να ενισχυθούν τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού, όσο και στην εφαρμογή τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αστικοποίηση, που εντείνεται με το πέρασμα των χρόνων, σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού, δημιουργεί πιέσεις για χρήσεις γης και οδηγεί στην αποψίλωση των δασών, συμβάλλοντας αισθητά στη μείωση των εκτάσεων που λειτουργούν παγκοσμίως ως καταβόθρες άνθρακα (Lee & Kim 2021).

Οι μεγαλουπόλεις είναι οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο από την κλιματική αλλαγή, καθώς το δομημένο περιβάλλον και κυρίως τα κτίρια και οι οδικές αρτηρίες κατασκευάζονται από υλικά που απορροφούν ευκολότερα την ηλιακή και γήινη ακτινοβολία και την απελευθερώνουν στο περιβάλλον. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργούνται υψηλότερες θερμοκρασίες στο αστικό περιβάλλον (Gago et al. 2013). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αστικοποίηση και τις αυξημένες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας, την υψηλή συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου και την έλλειψη χώρων πρασίνου στις πόλεις, δημιουργεί ένα φαινόμενο που είναι γνωστό με τον όρο «αστική θερμονησίδα». Το φαινόμενο αυτό καθιστά τους κατοίκους των μεγαλουπόλεων πιο ευάλωτους στην κλιματική αλλαγή (Satterthwaite 2008).

Η αντιμετώπιση του φαινομένου της «αστικής θερμονησίδας» μπορεί να ενισχυθεί μέσα από την ισχυροποίηση του ρόλου των αστικών και περιαστικών δασών, που ρυθμίζουν το μικροκλίμα στις πόλεις, και μετριάζουν τις επιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως τα κύματα καύσωνα και οι πλημμύρες (Gill et al. 2007). Ειδικότερα, η φύτευση δέντρων στους δρόμους συγκαταλέγεται ως μία αποτελεσματική λύση για τον μετριασμό και την προσαρμογή στις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι Aleksandrowicz et al. (2017) τονίζουν ότι οι έρευνες σχετικά με μέτρα για την αντιμετώπιση της «αστικής θερμονησίδας» αφορούν κυρίως το ευρωπαϊκό τμήμα της Μεσογείου, καθώς και χώρες με υποτροπικό κλίμα, όπως αυτές της Ανατολικής Ασίας και της Βόρειας Αμερικής, και εστιάζουν στην ενίσχυση του αστικού πρασίνου.

Η απάντηση στο ερώτημα γιατί τα αστικά και περιαστικά δάση αποτελούν ένα από τα πιο αποτελεσματικά μέτρα για τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, σύμφωνα με τους Zhang & Brack (2021), βασίζεται κυρίως σε 4 λειτουργίες, οι οποίες είναι καθοριστικές για τις μητροπολιτικές περιοχές. Αυτές αφορούν στην ψύξη του αέρα, στη δέσμευση άνθρακα, στη μείωση των ρύπων και στην εξασθένηση των καταιγίδων.

Επίσης, σύμφωνα με τον Seamans (2013), οι οικοσυστημικές υπηρεσίες που προσφέρουν τα αστικά και περιαστικά δάση εξασφαλίζουν μία πληθώρα πλεονεκτημάτων για τους πολίτες, πηγάζουν από τον πολυλειτουργικό τους ρόλο και λειτουργούν ως μία ζωντανή υποδομή για το αστικό βεβαρημένο περιβάλλον. Επιπλέον, ο ίδιος θεωρεί ότι προσδίδουν στις πόλεις μία ιδιαίτερη οικολογική και αισθητική αξία.

Ομοίως, οι Livesley et al. (2016) επισημαίνουν τη συμβολή των αστικών δασών στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, αν και δέχονται ότι μπορεί τα δάση αυτά να μην θεωρούνται ως εξαιρετικής σημασίας ενδιαιτήματα για απειλούμενα είδη συγκριτικά με αυτά που βρίσκονται σε απομακρυσμένες προστατευόμενες περιοχές. Εντούτοις, υπογραμμίζουν ότι προσφέρουν μία μοναδική εμπειρία για τους κατοίκους των πόλεων, ώστε να ξανασυνδεθούν με τη φύση και να αλληλεπιδράσουν, να ευαισθητοποιηθούν περιβαλλοντικά μέσα στο πλαίσιο της γνήσιας γνώσης, να εκτιμήσουν τον ρόλο των δασών και να διαπιστώσουν μέσα από την εμπειρία τους σε τι βαθμό τα αστικά και περιαστικά δάση βελτιώνουν την ποιότητα ζωής τους

Σήμερα, διανύοντας ήδη την τρίτη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικών με προσεγγίσεις που στοχεύουν σε πιο βιώσιμες πόλεις, κάνουν λόγο για βιοφιλική αστικοποίηση. Αυτή αφορά σε νέες στρατηγικές για την προσαρμογή στο μεταβαλλόμενο κλίμα, μέσα από τη δημιουργία φυσικών περιοχών στις σύγχρονες πόλεις (El-Baghdadi & Desha 2017). Η ανάγκη του ανθρώπου να συνυπάρχει με το φυσικό του περιβάλλον είναι η βάση για την ανάπτυξη της βιοφιλικής αστικοποίησης. Τα ευεργετικά οφέλη της συνύπαρξης αυτής, τόσο για τη σωματική όσο και για την ψυχική ανθρώπινη υγεία, καθιστούν αναγκαία την ενσωμάτωση στον αστικό ιστό χαρακτηριστικών που έχουν οι φυσικές περιοχές (Xue et al. 2019).

Κίνδυνοι για τα αστικά και περιαστικά δάση εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και μηχανισμοί προσαρμοστικότητας

Τα δάση ως σύνθετα οικοσυστήματα λειτουργούν προστατευτικά έναντι των δυσμενών επιπτώσεων του κλίματος. Ωστόσο, η σύγχρονη έρευνα, βασισμένη σε μηχανισμούς παρακολούθησης διαφόρων λειτουργιών και χαρακτηριστικών των δασών και των δασικών εκτάσεων και των διαχρονικών μεταβολών τους, καταδεικνύει ότι υφίστανται έντονο στρες. Αυτό αποτυπώνεται στη διατάραξη των φυσιολογικών διεργασιών των δέντρων και στην ανάπτυξή τους, καθώς και στον φαινότυπο και τη μορφολογία των φυτών γενικότερα (Zhang & Brack 2021). Οι έντονες συνθήκες ξηρασίας και η άνοδος της θερμοκρασίας θεωρούνται ως οι κύριες αιτίες που οδηγούν σε θνησιμότητα των δέντρων (Seidl et al. 2017).

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα αυτά, τα οποία αποτελούν ανησυχητικές ενδείξεις για την μελλοντική προσαρμογή των δασών στην κλιματική αλλαγή, κρίνεται αναγκαίο να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα σε θέματα διαχείρισης των αστικών και περιαστικών δασών, προκειμένου να προστατευθούν. Όπως και τα δάση των ορεινών περιοχών, έτσι και τα δάση των πόλεων έχουν ήδη αναπτύξει μηχανισμούς, ώστε να προσαρμοστούν στις κλιματικές μεταβολές. Ο βαθμός προσαρμοστικότητάς τους, όμως, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες,

όπως η ηλικία, ο φαινότυπος των φύλλων, το είδος και η σύνθεσή τους, το μέγεθος και η δομή τους (Zhang & Brack 2021).

Προκειμένου να αντιμετωπίσουν το στρες που προκαλείται από τις έντονες συνθήκες ξηρασίας, τα αστικά δέντρα έχουν αναπτύξει προσαρμοστικές λειτουργίες αξιοποιώντας τη μορφολογία τους, ώστε να αποφύγουν τις δυσμενείς επιπτώσεις έλλειψης νερού. Αυτές περιλαμβάνουν τη συρρίκνωση της επιφάνειας των φύλλων τους, τη μείωση των στομάτων στα φύλλα και την πάχυνση της επιδερμίδας, την ενίσχυση της λειτουργίας των ριζιδίων με στόχο τον περιορισμό απώλειας νερού από την εξατμισοδιαπνοή και την επιμήκυνση του ριζικού συστήματος για τη διευκόλυνση της πρόσληψης νερού (Babé et al. 2012). Επιπλέον, υπάρχουν είδη που είναι πιο ανθεκτικά στην ξηρασία και χρησιμοποιούν τη φυσιολογία τους, για να αυξήσουν τις αντοχές τους στις κλιματικές μεταβολές. Αυτό γίνεται μέσα από τον έλεγχο και τον περιορισμό της εξατμισοδιαπνοής, την αλλαγή προσανατολισμού των φύλλων και την πιο αποδοτική χρήση του προσλαμβανόμενου νερού (Brune 2016).

Τα δέντρα των πόλεων είναι, επίσης, εκτεθειμένα λόγω της κλιματικής αλλαγής σε ασθένειες και παράσιτα (Dobbs et al. 2017). Επομένως, το δασικό πολλαπλασιαστικό υλικό που χρησιμοποιείται σε φυτεύσεις αστικών δέντρων θα πρέπει να διασφαλίζει πως γενετικά πρόκειται για είδη που θεωρούνται ανθεκτικά σε προσβολές και ασθένειες που σχετίζονται με την αλλαγή του κλίματος (Kendal et al. 2014). Κάτι τέτοιο απαιτεί κατάλληλο σχεδιασμό και αποτελεσματικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων, εστιάζοντας στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας. Οι κατευθυντήριες γραμμές όσον αφορά στα διαχειριστικά μέτρα για τη διατήρηση και τον μετριασμό των επιπτώσεων στα αστικά και περιαστικά δάση εστιάζουν στη δημιουργία σύνθετων δασικών οικοσυστημάτων, κατάλληλη μίξη των ειδών με προτίμηση σε ανθεκτικά και ενδημικά είδη και κυρίως αειθαλή δέντρα. Επίσης, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό τα κόστη της συντήρησης και των απαραίτητων επεμβάσεων σε περίπτωση δυσμενών επιπτώσεων από κλιματικές μεταβολές, καθώς και ο αναμενόμενος χρόνος ζωής των ειδών σε κάθε περίπτωση (Zhang & Brack 2021).

Η συμμετοχή των πολιτών και όλων των εμπλεκόμενων φορέων είναι αναγκαία στα πλαίσια αυτής της διεπιστημονικής διαδικασίας και οι ανάγκες τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, με στόχο την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των αστικών και περιαστικών δασών. Η εμπλοκή τους θα στηρίξει το χτίσιμο μίας σημαντικής σχέσης για την ενίσχυση της οικολογικο-κοινωνικής ανθεκτικότητας, θα ενεργοποιήσει την ανάληψη πρωτοβουλιών και δράσεων που είναι ιδιαίτερα επιθυμητές, γιατί συνήθως αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές ανάγκες των αστικών κοινωνιών, ενώ μπορεί να ενδυναμώσει και να διατηρήσει μακροπρόθεσμα δεσμούς μεταξύ της πολιτιστικής και βιολογικής ποικιλομορφίας στο αστικό περιβάλλον (Dobbs et al. 2018).

Δασικές πόλεις: καινοτομία ή χίμαιρα;

Σε Ευρώπη και Αμερική έχουν γίνει μεγάλες επενδύσεις τα τελευταία χρόνια, τόσο για την ανάπτυξη όσο και για την αποκατάσταση χώρων πρασίνου στα μεγάλα αστικά κέντρα (Mell et al. 2013). Οι πολιτικές που ακολουθήθηκαν, όμως, προς την κατεύθυνση αυτή σε διάφορες χώρες διαφέρουν σημαντικά, καθώς δεν υπήρξε ένα κοινό βασικό πλαίσιο, ώστε να μπορούν να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους (Lan & Yin 2017). Οι δασικές πόλεις αποτελούν μία νέα προσέγγιση για τον βιώσιμο αστικό σχεδιασμό και πιθανόν να είναι μία ισχυρή εναλλακτική για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε βεβαρημένες περιοχές. Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και

το γεγονός ότι τα δάση συνεισφέρουν σημαντικά στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, δεν αρκεί να δημιουργήσουμε δασικές πόλεις, χρειάζεται να έχουν γίνει και οι απαραίτητες ενέργειες, ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματική τους διαχείριση, για να μπορούν να αποδώσουν σε περιβαλλοντικό και κοινωνικο-οικονομικό επίπεδο τις υπηρεσίες τους.

Η Κίνα, μία χώρα όπου το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί απειλή για τις ανθρώπινες ζωές, ήταν αυτή που έθεσε το πλαίσιο για την καθιέρωση των δασικών πόλεων και θεωρείται η χώρα ορόσημο για τη θεσμοθέτηση και ανάπτυξή τους. Πρόκειται για το αποτέλεσμα μίας προσπάθειας που ξεκινά σχεδόν τριάντα χρόνια πριν, με στόχο να εφαρμοστούν νέοι πυλώνες πολιτικής για βιώσιμες πόλεις που θα «πρασίνιζαν» το πυκνοκατοικημένο και έντονα επιβαρυνμένο αστικό περιβάλλον στις μεγαλουπόλεις της ασιατικής χώρας. Ήδη από το 2004, τίθενται κριτήρια και δείκτες που καθορίζουν τις προδιαγραφές για τις δασικές πόλεις, ενώ προωθούνται και τα αντίστοιχα αναπτυξιακά τους σχέδια (Han et al. 2019). Μέχρι το 2019, η Κίνα είχε καθιερώσει 194 δασικές πόλεις στον αστικό ιστό (Zhang et al. 2021), ενώ στοχεύει να φτάσει τις 300 δασικές πόλεις μέχρι το 2025. Τα αστικά αυτά δάση αναμένεται να μειώσουν τη μέση θερμοκρασία του αέρα στις πόλεις και να βελτιώσουν την ποιότητά του, να αντιμετωπίσουν την ηχορύπανση και να δημιουργήσουν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις, μέσα από τα νέα ενδιαφέροντά τους, για την προστασία και τη διατήρηση της άγριας ζωής σε τοπικό επίπεδο, ενισχύοντας τη βιοποικιλότητα (Yandi 2018).

Ωστόσο, οι Zhang et al. (2021) θεωρούν ότι η καθιέρωση δασικών πόλεων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση του ατμοσφαιρικού αέρα κυρίως σε περιοχές με μικρή οικονομική δραστηριότητα, αλλά δεν ισχύει το ίδιο για πυκνοκατοικημένες περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονη δραστηριότητα. Σε αισθητά βεβαρημένες περιοχές, οι ίδιοι θεωρούν ότι ενισχύεται κυρίως το αστικό πράσινο, χωρίς όμως να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για σημαντική βελτίωση στην ποιότητα του αέρα.

Στην Ευρώπη, είναι χαρακτηριστική η περίπτωση του Παρισιού, όπου οι διοικητικές αρχές δεσμεύτηκαν για μία πιο βιώσιμη - πράσινη πόλη μέχρι το 2030, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η κλιματική κρίση που οδηγεί σε αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στο φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας. Επίσης, το σχέδιο στοχεύει στο να ενισχυθεί η κοινωνική ανθεκτικότητα. Στο πλαίσιο αυτό, χαράσσονται νέες στρατηγικές για τη δημιουργία μίας αστικής δασικής πόλης στο Παρίσι, όπου θα κυριαρχεί η φύση ενάντια στο τσιμέντο. Η πόλη του φωτός αναμένεται να αποκτήσει μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια 50% περισσότερα πάρκα και πράσινες στέγες, ενώ θα δημιουργηθεί και αστικό δάσος (Campbell 2019).

Ενδεχομένως, οι δασικές πόλεις να αποτελούν μία εναλλακτική για τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή και βρίσκονται σε πιο δυσχερή θέση αναφορικά με την αποτελεσματική διαχείριση των αρνητικών επιπτώσεων του κλίματος. Η Ινδία, η Αφρική, καθώς και χώρες της Λατινικής Αμερικής που αποτελούν τον αναπτυσσόμενο κόσμο, έχουν και τους περισσότερους «αστικούς κατοίκους» της Γης (Chaturvedi et al. 2013). Οι διεθνείς οργανισμοί και οι ενώσεις των ισχυρών κρατών θα πρέπει να συμπεριλάβουν τις αναπτυσσόμενες χώρες στα σενάρια ανάπτυξης δασικών πόλεων που θα λειτουργούν ως ασπίδα για την προστασία των κατοίκων τους από την κλιματική αλλαγή και θα συμβάλλουν δραστικά στην κοινωνική ευημερία.

Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η παρούσα μελέτη είχε ως σκοπό να αναδείξει μέσα από τη δασοπολιτική σκοπιά την καταλυτική σημασία των αστικών και περιαστικών δασών για το μέλλον της ανθρωπότητας και της Γης στην Ανθρωπόκαινο εποχή που χαρακτηρίζεται από τις καταστροφικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός και να απαντηθεί το ερευνητικό ερώτημα, διερευνήθηκαν και αναλύθηκαν οι προοπτικές για την καθιέρωση δασικών πόλεων, όπως καταγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία. Εκτιμήθηκαν, επίσης, οι προσκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα δάση των πόλεων, εξαιτίας του μεταβαλλόμενου κλίματος. Συζητήθηκαν τα σημαντικότερα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και παρουσιάστηκαν με συνθετικό τρόπο, εστιάζοντας κυρίως στο δασοπολιτικό ενδιαφέρον.

Οι δασικές πολιτικές που ακολουθούν οι χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο δεν βασίζονται σε κάποιο συγκεκριμένο πλαίσιο. Κάθε χώρα ακολουθεί τις δεσμεύσεις της εκάστοτε κυβέρνησής της σε διεθνές επίπεδο, όπως αυτές που υπεγράφησαν στη Συμφωνία των Παρισίων, όπου αναγνωρίστηκε ο κομβικός ρόλος των δασών στον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων του κλίματος. Όσον αφορά στα αστικά και περιαστικά δάση, γίνεται σαφές ότι θα πρέπει να διατηρήσουν τον χαρακτήρα τους και να συνεχίσουν να προσφέρουν απρόσκοπτα τις υπηρεσίες τους στους κατοίκους των αστικών κέντρων.

Είναι πλέον αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι τα δάση των πόλεων απειλούνται από τις απότομες μεταβολές του κλίματος, με σημαντικό εχθρό την ξηρασία. Ως απάντηση σε αυτή την πρόκληση προτείνεται η αειφορική διαχείρισή τους με στόχο την προσαρμογή στις κλιματικές αλλαγές, η ενίσχυση του πολυ-λειτουργικού τους ρόλου και η προώθηση των οικοσυστημικών τους υπηρεσιών. Τονίζεται, επίσης, η μέγιστη σημασία των αστικών και περιαστικών δασών για την ψυχική και σωματική υγεία των κατοίκων των πόλεων, στοιχεία που είναι αναγκαία για την επίτευξη της κοινωνικής ευημερίας.

Προκειμένου να οδηγηθούμε σε πιο βιώσιμες λύσεις που θα πηγάζουν από μία ολοκληρωμένη δασική πολιτική, είναι σημαντικό να αποκτηθεί η σχετική γνώση και να υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσα από την αξιοποίηση της τεχνολογίας και των έξυπνων συστημάτων, με στόχο την καταγραφή των δασών και την παρακολούθησή τους, αλλά και την εκτίμηση της τρωτότητάς τους στην κλιματική αλλαγή. Εφόσον τα δεδομένα αυτά υπάρχουν, θα πρέπει να μελετηθούν και να αξιολογηθούν κατάλληλα, ώστε να σχεδιαστούν οι στρατηγικές που θα οδηγήσουν τα δασικά οικοσυστήματα των πόλεων στην προσαρμογή.

Η δημιουργία παρατηρητηρίων για την κατάσταση των περιαστικών δασών σε επίπεδο χώρας αλλά και σε ευρύτερο επίπεδο, όπως ευρωπαϊκό ή μεσογειακό, μπορεί να δώσει μία ολιστική προσέγγιση για τη χάραξη περισσότερο αποτελεσματικών πολιτικών. Από τη μία, θα πρέπει να διαφυλάξουν τα δάση και τις δασικές εκτάσεις από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και από την άλλη θα πρέπει να τα αξιοποιούν σε πολλά επίπεδα, λαμβάνοντας υπόψη τις πολλαπλές λειτουργίες και υπηρεσίες που προσφέρουν στην κοινωνία.

Προτείνεται οι πυλώνες χάραξης δασικής πολιτικής να εστιάσουν στην προστασία, ανάδειξη και διατήρηση των αστικών και περιαστικών δασών, προκειμένου να διαφυλάξουν τόσο την ανθρώπινη ζωή και περιουσία όσο και την ποιότητα ζωής των κατοίκων στα μεγάλα αστικά κέντρα. Η δημιουργία δασικών πόλεων απαιτεί ολιστικές προσεγγίσεις, προσεκτικούς χειρισμούς και βιώσιμη διαχείριση, ώστε οι υπηρεσίες των δασών να εξισορροπούνται σε περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο και να μειώνεται η πιθανότητα να υπερισχύουν οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος.

Η έρευνα περιορίστηκε σε σύγχρονες τάσεις που αφορούν την κοινωνική και οικολογική ανθεκτικότητα στην Ευρώπη, ενώ δόθηκε, επίσης, έμφαση στα μεσογειακά οικοσυστήματα και σε επιμέρους πολιτικές που απευθύνονται σε αναπτυσσόμενες χώρες. Η μελέτη συνιστά μία πρώτη προσέγγιση στο συγκεκριμένο πεδίο και συνιστάται να διερευνηθεί περαιτέρω η κρισιμότητα του ρόλου των αστικών και περιαστικών δασών για το μέλλον του αναπτυσσόμενου κόσμου, όπου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες προκλήσεις. Επίσης, θα πρέπει η μελλοντική έρευνα να δώσει απαντήσεις σχετικά με θέματα που εμπίπτουν στο αντικείμενο της δασοκομίας πόλεων, αναφορικά με τις νέες πιέσεις που ασκούνται από την κλιματική αλλαγή στα αστικά και περιαστικά δάση. Έτσι, θα βελτιωθούν αντίστοιχα και οι δασοπολιτικές κατευθύνσεις, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων στα αστικά κέντρα και θα προωθηθεί ένα αποδοτικό μοντέλο διαχείρισης, το οποίο θα βασίζεται σε ολιστικές προσεγγίσεις και θα επιδιώκει το χτίσιμο οικολογικής-κοινωνικής ανθεκτικότητας.

Βιβλιογραφία

- Aleksandrowicz, O., Vuckovic, M., Kiesel, K., Mahdavi, A. (2017). Current trends in urban heat island mitigation research: Observations based on a comprehensive research repository. *Urban Climate*, Vol. 21, pp. 1-26.
- Babé, A., Lavigne, T., Severin, J., Nagel, K.A., Walter, A., Chaumont, F., Batoko, H., Beeckman, T., Draye, X. (2012). Repression of early lateral root initiation events by transient water deficit in barley and maize. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, Vol. 367, No. 1595, pp. 1534-1541.
- Baraldi, R., Chieco, C., Neri, L., Facini, O., Rapparini, F., Morrone, L., Rotondi, A., Carriero, G. (2019). An integrated study on air mitigation potential of urban vegetation: From a multi-trait approach to modeling. *Urban Forestry and Urban Greening*, Vol. 41, pp. 127-138.
- Bettini, G. (2017). Where Next? Climate Change, Migration, and the (Bio)politics of Adaptation. *Global Policy*, Vol. 8, pp. 33-39.
- Brune, M. (2016). Urban Trees Under Climate Change: Potential Impacts of Dry Spells and Heat Waves in Three German Regions in the 2050s, Report 24, Climate Service Centre, Germany. Available: <https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/report24.pdf>
- Campbell, M. (2019). Paris plans ‘urban forests’ at city landmarks to combat climate change. Euronews. Available: <https://www.euronews.com/green/2019/06/20/paris-plans-urban-forests-city-landmarks-combat-climate-change>
- Cardoso, R., Soares, P., Lima, D., Miranda, P. (2018). Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal. *Climate Dynamics*, Vol. 52, pp. 129–157.
- Carrus, G., Scopelliti, M., Laforteza, Colangelo, R., Colangelo, G., Ferrini, F., Salbitano, F., Agrimi, M., Portoghesi, L., Semenzato, P., Sanesi, G. (2015). Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting, urban and peri-urban green areas. *Landscape Urban Planning*, Vol. 134, pp. 221–228.
- Chaturvedi, A., Kamble, R., Patil, N.G., Chaturvedi, A. (2013). City–forest relationship in Nagpur: One of the greenest cities of India. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 12, No. 1, pp. 79-87.
- Dale, A.G., Frank, S.D. (2014). The effects of urban warming on herbivore abundance and street tree condition. *PLoS ONE*. Vol. 9, No 7, Article No. e102996.

- Dobbs, C., Martinez-Harms, M., Kendal, D. (2017). Ecosystem services. In: Routledge Handbook of Urban Forestry. London: Routledge, pp. 51-64.
- Dobbs, C., Eleuterio, A.A., Amaya, J.D., Montoya, J., Kendal, D. (2018). The benefits of urban and peri-urban forestry. In: Forest and Sustainable Cities. Sarre, A. (Ed.), Unasylva, An International Journal of Forestry and Forest Industry. Mantova: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Vol. 69, No. 1, pp. 22-29.
- El-Baghdadi, O., Desha, S. (2017). Conceptualising a biophilic services model for urban areas. Urban Forestry and Urban Greening, Vol. 27, pp. 399-408,
- Endreny, T.A. (2018). Strategically growing the urban forest will improve our world. Nature Communications, Vol. 9, Article No. 1160.
- European Commission (2020). Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our lives.
- European Environment Agency (2018). Global and European temperature.
- Foo, C.H. (2016). Linking forest naturalness and human wellbeing—A study on public's experiential connection to remnant forests within a highly urbanized region in Malaysia. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 16, pp. 13-24.
- Gago, E.J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: a review of strategies to mitigate adverse effects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, pp. 749-758.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R., Pauleit S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environment, Vol. 33, No. 1, pp. 115-133.
- Gonçalves, A.C., Sousa, A.M.O. (2017). The Fire in the Mediterranean Region: A Case Study of Forest Fires in Portugal. In: Mediterranean Identities - Environment, Society. Culture Borna Fuerst-Bjelis: IntechOpen.
- Han, J., Tang, B., Hou, S. (2019). Spatial pattern characteristics and influencing factors of national forest cities in China. Journal of Landscape Research, Vol. 11, No. 4, pp. 35-40.
- Hernandez, A.M. (2021). Mexico and China Sustainable, Low-Carbon Transformation Processes in Democratic and Authoritarian Regimes. In: Taming the Big Green Elephant. Globale Gesellschaft und internationale Beziehungen. Springer VS: Wiesbaden.
- Hidalgo, A.K. (2021). Mental health in winter cities: The effect of vegetation on streets. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 63, Article No. 127226.
- Kendal, D., Dobbs, C., Lohr, V.I. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: Is there evidence to support the 10/20/30 rule? Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 13, No. 3, pp. 411-417.
- Lan, J., Yin, R. (2017). Research trends: policy impact evaluation: future contributions from economics. Forest Policy and Economics, Vol. 83, pp. 142-145.
- Lee, S., Kim, Y. (2021). A framework of biophilic urbanism for improving climate change adaptability in urban environments. Urban Forestry & Urban Greening. Vol. 61, Article No. 127104.
- Livesley, S.J., Escobedo, F.J., Morgenroth, J. (2016). The biodiversity of urban and peri-urban forests and the diverse ecosystem services they provide as socio-ecological systems. Forests, Vol. 7, No. 12, Article No. 291.

- Lwasa, S., Mugagga, F., Wahab, B., Simon, D., Connors, J., Griffith, C. (2014). Urban and peri-urban agriculture and forestry: Transcending poverty alleviation to climate change mitigation and adaptation. *Urban Climate*, Vol. 7, pp. 92-106.
- Mell, I.C., Henneberry, J., Hehl-Lange, S., Keskin B. (2013). Promoting urban greening: valuing the development of green infrastructure investments in the urban core of Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 12, No. 3, pp. 296-306.
- Paris Agreement (2015). The Paris Agreement. United Nations. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Philips, T. (2017). Forest cities: the radical plan to save China from air pollution. *The Guardian*. Available: <https://www.theguardian.com/cities/2017/feb/17/forest-cities-radical-plan-china-air-pollution-stefano-boeri>
- Satterthwaite, D. (2008). Cities contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization*, Vol. 20, No. 2, pp. 539-549.
- Seamans, G.S. (2013). Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry and Urban Green*, Vol. 12, No. 1, pp. 2-11.
- Sicard, P., Agathokleous, E., De Marco, A., Paoletti, A., Calatayud, V. (2021). Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades *Environmental Sciences Europe*, Vol. 33, No. 28, pp. 1-12.
- Soto, J.R., Escobedo, F.J., Khachatryan, H., Adams, D.C. (2018). Consumer demand for urban forest ecosystem services and disservices: examining trade-offs using choice experiments and best-worst scaling. *Ecosystem Services*, Vol. 29, pp. 31–39.
- Tampakis, S., Papageorgiou, A., Karanikola, P., Arabatzis, G., Tsantopoulos, G. (2005). The forest fires in the Mediterranean from a policy point of view. *New Medit, Mediterranean Journal of Economics, Agriculture, and Environment*, Vol. 4, No. 3, pp. 47-51.
- Tsoka, S., Leduc, T., Rodler, A. (2021). Assessing the effects of urban street trees on building cooling energy needs: The role of foliage density and planting pattern. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 65, No 102633.
- Wang, C., Li, Q., Wang, Z.H. (2018). Quantifying the impact of urban trees on passive pollutant dispersion using a coupled large-eddy simulation–Lagrangian stochastic model. *Building and Environment*, Vol. 145, pp. 33-49.
- Willis, K. J., Petrokofsky, G. (2017). The natural capital of city trees. *Science*, Vol. 356, No. 6336, pp. 374–376.
- Xue, F., Gou, Z., Lau, S.S.Y., Lau, S.K., Chung, K.H., Zhang, J. (2019). From biophilic design to biophilic urbanism: stakeholders’ perspectives. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 211, pp. 1444-1452.
- Yandi, Z. (2018). China to have 300 forest cities by 2025. *China Daily*. Available: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201807/09/WS5b429dcba3103349141e169e.html>
- Zhang, B., Brack, C.L. (2021). Urban forest responses to climate change: A case study in Canberra. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 57, Article No. 126910.
- Zhang, Y., Zhang, T., Zeng, Y., Cheng, B., Li, H. (2021). Designating National Forest Cities in China: Does the policy improve the urban living environment? *Forest Policy and Economics*, Vol. 125, Article No. 102400.

ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ

Χρυσοβαλάντου Αντωνοπούλου
Επίκουρη Καθηγήτρια
Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: cantonop@agro.duth.gr

Χρήστος Χατζησαββίδης
Καθηγητής
Τμήμα Αγροτικής Ανάπτυξης
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: cchatz@agro.duth.gr

Γαρύφαλλος Αραμπατζής
Καθηγητής
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: garamp@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, ανθρωπογενείς και φυσικές δράσεις έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας σε αυτό που έχει ονομασθεί παγκόσμια κλιματική αλλαγή και περιλαμβάνει αύξηση της θερμοκρασίας και αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού λόγω ανομοιομορφα κατανεμημένων βροχοπτώσεων ή μακρών περιόδων ξηρασίας. Σημαντική έρευνα διεξάγεται για τις πιθανές φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία, όπως αλλαγές στις αποδόσεις και στην ποιότητα των παραγόμενων γεωργικών προϊόντων, καθώς και για τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες στη γεωργία. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα οπωροφόρα δένδρα είναι ήδη εμφανής και στη χώρα μας. Οι πιθανές επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της συχνότερης εκδήλωσης έντονων καιρικών φαινομένων, μεταξύ άλλων, είναι η μη κάλυψη των απαιτήσεων των δένδρων σε ψύχος, λόγω των ήπιων χειμώνων, η πρωίμηση της ανθοφορίας και ο αυξημένος κίνδυνος εμφάνισης ζημιών στα δένδρα από όψιμο παγετό την άνοιξη, η αύξηση των απαιτήσεων των δένδρων σε νερό άρδευσης, η έλλειψη νερού, η υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών και η αύξηση των προσβολών από εχθρούς και παθογόνα. Η ανάπτυξη μοντέλων που βασίζονται κυρίως στην επίδραση της θερμοκρασίας στα βλαστικά στάδια των δένδρων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο στην εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη φαινολογία. Επιπλέον, η ανάγκη για την εφαρμογή μέτρων προσαρμογής είναι

επιτακτική, καθώς το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να ενταθεί στο μέλλον. Η προσαρμογή συνεπάγεται την υιοθέτηση, από τη μεριά των παραγωγών, στρατηγικών που αποσκοπούν στο να μετριάσουν ή να αποφύγουν τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι στρατηγικές μπορεί να περιλαμβάνουν τη φύτευση ανθεκτικών ειδών και ποικιλιών, την επιλογή κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών και τη χρήση νέων τεχνολογιών. Ωστόσο, η εφαρμογή στρατηγικών προσαρμογής στη δενδροκομία μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη, λόγω του μεγάλου κύκλου ζωής των δένδρων.

Λέξεις κλειδιά: *Ανθεκτικότητα, καταπόνηση, λήθαργος, οπωροφόρα δένδρα, υπερθέρμανση, ψύχος*

Εισαγωγή

Με τον όρο «κλιματική αλλαγή» νοείται η αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος που οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες και προκαλείται κυρίως από την αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η πιο χαρακτηριστική επίπτωση της κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία σημαίνει και άνοδο της στάθμης της θάλασσας, πλημμύρες, ξηρασία και ακραία καιρικά φαινόμενα. Σύμφωνα με μελέτη της Τράπεζας της Ελλάδος (ΕΜΕΚΑ 2011), αναμένεται ευρύτερη μεταβλητότητα του κλίματος και στην Ελλάδα, με μεταβολές στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι μελέτες δείχνουν ότι το εύκρατο μεσογειακό κλίμα της χώρας μας, με τους ήπιους και βροχερούς χειμώνες και τα σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια, θα αλλάξει προς μία θερμότερη και πιο ξηρή εκδοχή. Αυτές οι αλλαγές αναμένεται να γίνουν αισθητές τις επόμενες δεκαετίες, με κορύφωσή τους πιθανόν το 2100, οπότε προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 0,9 και 2°C (ΕΜΕΚΑ 2011).

Η γεωργία συμβάλλει σημαντικά στην κλιματική αλλαγή μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων (π.χ. χρήση λιπασμάτων, κτηνοτροφία). Από την άλλη, όμως, είναι και ο παραγωγικός τομέας που θα επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την κλιματική αλλαγή, καθώς το είδος, η ποσότητα και η ποιότητα των γεωργικών προϊόντων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα (Dalhaus et al. 2020). Οι κυριότερες κλιματικές μεταβλητές που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών είναι η θερμοκρασία του αέρα, η συγκέντρωση του CO₂ της ατμόσφαιρας, η ένταση και η διάρκεια έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, τα κατακρημνίσματα, καθώς και η διάρκεια και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. παγετός, καύσωνας). Επιπλέον, σημαντική αναμένεται να είναι και η υποβάθμιση των γεωργικών εδαφών, λόγω της ερημοποίησης, της διάβρωσης και των απωλειών άνθρακα από αυτά.

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει άμεσα και έμμεσα τη γεωργική παραγωγή και τα αγρο-οικοσυστήματα. Οι άμεσες επιπτώσεις σχετίζονται με τις αλλαγές στη φαινολογία και το χρονοδιάγραμμα των καλλιεργειών, τη μετατόπιση των περιοχών καλλιέργειας, την απώλεια και υποβάθμιση του εδάφους, τις αλλαγές στη διαθεσιμότητα νερού και τις απαιτήσεις σε άρδευση, καθώς και τις άμεσες επιπτώσεις των αυξημένων επιπέδων CO₂ της ατμόσφαιρας στην ανάπτυξη των φυτών. Έμμεσες επιπτώσεις είναι εκείνες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα των άμεσων επιπτώσεων που μπορούν να έχουν περαιτέρω αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή, όπως για παράδειγμα αυξήσεις σε προσβολές από εχθρούς και ασθένειες, εισβολή νέων φυτικών ειδών και ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως πολύ δυνατοί άνεμοι, χαλάζι, καύσωνες και παγετοί. Οι επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες, όπως π.χ. να επηρεάσουν την τιμή, την ποσότητα και

την ποιότητα των αγροτικών προϊόντων, το γεωργικό εισόδημα, το εμπόριο, και τις τιμές των τροφίμων (EEA 2019).

Το κλίμα παίζει βασικό ρόλο στον καθορισμό της γεωγραφικής περιοχής των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών και τις προσεχείς δεκαετίες, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη γεωργική παραγωγή, μεταβάλλοντας τη γεωγραφική κατανομή οικονομικά σημαντικών καλλιεργειών (Duchéne et al. 2010, Ghrab et al. 2014).

Καθώς οι πολυετείς καλλιέργειες έχουν μικρότερη προσαρμοστικότητα στο κλίμα σε σχέση με τις ετήσιες, τα οπωροφόρα δένδρα θεωρούνται ευάλωτα στην κλιματική αλλαγή. Αν και ο αριθμός των μελετών που αφορούν δενδροκομικές καλλιέργειες είναι ακόμη μικρός, οι αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ήδη αναφέρονται για είδη όπως η μηλιά (Stöckle et al. 2010), η κερασιά (Lobell & Field 2011), η αμυγδαλιά (Loritea et al. 2020) κ.ά. Οι πιο σημαντικές αλλαγές λόγω της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν την καλλιέργεια των οπωροφόρων δένδρων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες, η αύξηση των περιόδων ξηρασίας και οι έντονες βροχοπτώσεις. Ειδικότερα, η ελλιπής κάλυψη των απαιτήσεων των φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων σε χειμερινό ψύχος έχει καθοριστική επίδραση στην άνθιση και καρποφορία τους.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει και τα οπωροφόρα δέντρα. Οι Wenden et al. (2017a, 2017b) προειδοποιούν ότι, τις επόμενες δεκαετίες, οι υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο την προσαρμογή και την παραγωγικότητα των φυλλοβόλων οπωροφόρων ειδών στις εύκρατες ηπειρωτικές περιοχές. Οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή δεν θα μειώσουν μόνο την απόδοση και την ποιότητα των παραγόμενων καρπών (Tanasijevic et al. 2014, Lobos & Hancock 2015), αλλά θα επηρεάσουν, επίσης, την κατανομή και την έκταση καλλιέργειας πολλών δενδροκομικών ειδών. Η φαινολογία των δένδρων ανταποκρίνεται έντονα στη θερμοκρασία και, πράγματι, οι αλλαγές στα φαινολογικά στάδια ήταν μεταξύ των πρώτων τεκμηριωμένων αποδείξεων της κλιματικής αλλαγής (Menzel & Fabian 1999, Root et al. 2003, Korner & Basler 2010, Lee et al. 2013, Wolkovich et al. 2017). Για την αρδευόμενη καλλιέργεια καρποφόρων δένδρων, η αύξηση της εξατμισοδιαπνοής των φυτών και οι αλλαγές στη ζήτηση και τη διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να είναι κρίσιμες. Όλες οι περιοχές παραγωγής οπωροφόρων δένδρων θα επηρεαστούν σε κάποιο βαθμό. Οι επιπτώσεις στις δενδρώδεις καλλιέργειες αναμένεται να είναι αρνητικές, ιδιαίτερα στη Ν. Ελλάδα και την Κρήτη (EMEKA 2011). Όλες οι μελέτες συγκλίνουν ότι, τα επόμενα χρόνια, η περιοχή της Ν. Ευρώπης, και ειδικότερα της Μεσογείου, θα είναι ευάλωτη αναφορικά με τη φυτική παραγωγή, γεγονός με εξαιρετική σημασία για την Ελλάδα (EEA 2019).

Οι κλιματικές συνθήκες δεν επηρεάζουν μόνο τις αποδόσεις των οπωροφόρων δένδρων σε καρπούς αλλά και την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, με αποτέλεσμα η κλιματική αλλαγή να επιφέρει ακόμη μεγαλύτερη αρνητική επίδραση στα έσοδα της δενδροκομικής εκμετάλλευσης (Dalhaus et al. 2020). Σοβαρή ανησυχία στον τομέα παραγωγής και μεταποίησης οπωροκηπευτικών της Ευρώπης έχει προκληθεί λόγω της μείωσης των αποδόσεων των δενδροκομικών καλλιεργειών από την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης έκτακτων καιρικών φαινομένων (EEA 2019). Τα πολυετή φυτά, όπως είναι τα οπωροφόρα δέντρα, επηρεάζονται περισσότερο από τις αρνητικές επιδράσεις των έκτακτων καιρικών φαινομένων, σε σύγκριση με τα φυτά που έχουν μικρούς χρόνους παραγωγής (Blanke & Kunz 2011, Lai 2018).

Οι μελέτες, αλλά και οι ήδη ορατές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καταδεικνύουν την ανάγκη να υιοθετηθούν στρατηγικές *μετριασμού* της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή να ανασχεθεί η ανοδική πορεία της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και στρατηγικές *προσαρμογής* στην κλιματική αλλαγή, για τον περιορισμό των ζημιών που αυτή επιφέρει. Η αναγκαιότητα για τη λήψη μέτρων προσαρμογής προκύπτει άμεσα από την οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον αγροτικό τομέα. Η προσαρμογή της δενδροκομίας στην κλιματική αλλαγή απαιτεί ολοκληρωμένες στρατηγικές που περιλαμβάνουν διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης: τον οπωρώνα, το σύστημα καλλιέργειας και τον ίδιο τον παραγωγό.

Ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας έχει η διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις δενδροκομικές καλλιέργειες και ο σχεδιασμός μέτρων προσαρμογής, ιδίως σε παραδοσιακές καλλιέργειες με σημαντικό οικονομικό και κοινωνικό ενδιαφέρον, όπως η ελαιοκαλλιέργεια. Στην παρούσα εργασία, γίνεται αναφορά στις κύριες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις δενδροκαλλιέργειες και πώς θα μπορούσαν αυτές να προσαρμοστούν στις νέες κλιματικές συνθήκες, στις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, καθώς και στις στρατηγικές προσαρμογής που μπορούν να υιοθετηθούν.

Φυσικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δενδροκομία

Απαιτήσεις σε ψύχος - λήθαργος

Ο λήθαργος είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιούν τα φυτά για να προστατεύσουν ευαίσθητους ιστούς από μη ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες (Camproy et al. 2011). Οι απαιτήσεις σε ψύχος κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους αναφέρεται σε μία φυσιολογική απαίτηση των δένδρων για χαμηλή θερμοκρασία, με σκοπό τη διακοπή του ληθάργου των οφθαλμών, οπότε και την κανονική βλάστηση και άνθιση την άνοιξη. Η απαίτηση σε ψύχος διαφέρει από είδος σε είδος αλλά και μεταξύ των ποικιλιών ενός είδους. Συνήθως μετράται σε ώρες, κατά τη διάρκεια των οποίων η θερμοκρασία πρέπει να είναι $\leq 7^{\circ}\text{C}$. Σε περίπτωση που τα δένδρα δεν δεχτούν επαρκές ψύχος, παρατηρείται μείωση της παραγωγής και υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών.

Η κλιματική αλλαγή, στο προσεχές μέλλον, ενδέχεται να αλλάξει την προσαρμοστικότητα πολλών οπωροφόρων ειδών της εύκρατης ζώνης και να προκύψουν σοβαρά προβλήματα παραγωγικότητας. Η έλλειψη επαρκούς ψύχους, όπως παρατηρείται σε ήπιους χειμώνες, οδηγεί σε μη φυσιολογικό μοτίβο έκπτυξης των οφθαλμών, άνθισης και ανάπτυξης των καρπών. Ως εκ τούτου ασταθής παραγωγή παρατηρείται ορισμένες χρονιές σε συγκεκριμένες καλλιέργειες φυλλοβόλων οπωροφόρων και σε περιοχές που οριακά καλύπτονται οι απαιτήσεις τους σε ψύχος, όπως π.χ. βερικοκών σε περιοχές της Θεσσαλίας και της Πελοποννήσου και ακτινιδιάς στην Άρτα (Μολασιώτης κ.ά. 2020). Επίσης, σε χρονιές με μειωμένο ψύχος παρατηρείται μη συγχρονισμός άνθισης μεταξύ των ποικιλιών που διαφέρουν ως προς τις απαιτήσεις τους σε ψύχος, με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή εξαιτίας ανεπαρκούς επικονίασης.

Οι Baldocchi & Wong (2008) προέβλεψαν ότι στην περιοχή της Καλιφόρνια, οι ώρες ψύχους θα μειωθούν από το 1950 έως το 2100 κατά 50%, πλησιάζοντας το κρίσιμο όριο για πολλά είδη οπωροφόρων δένδρων. Όταν οι απαιτήσεις ψύχους δεν πληρούνται πλήρως, τα δένδρα παρουσιάζουν ακανόνιστη άνθιση, που οδηγεί σε ανώμαλη και ανομοιόμορφη ανάπτυξη των καρπών (Petri & Leite 2004). Συνεπώς, η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να επηρεάσει τις απαιτήσεις σε ψύχος των καρποφόρων δένδρων της εύκρατης ζώνης σε ορισμένες περιοχές

και απαιτείται αντικατάστασή τους από νέες ποικιλίες ή είδη (Stöcke et al. 2010). Για παράδειγμα, στη νότια Ισπανία, προβλέπεται ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες της παραγωγής ελιάς, λόγω μη φυσιολογικής ανθοφορίας (De Melo-Abreu et al. 2004). Είναι, επομένως, πολύ πιθανό ότι θα πρέπει να πραγματοποιηθεί αντικατάσταση ποικιλίας με μικρότερες απαιτήσεις σε ψύχος.

Σύμφωνα με τα ευρήματά των Vanalli et al. (2021), η μείωση του χειμερινού ψύχους θα γίνει ο κυριότερος περιορισμός για την καλλιέργεια ροδάκινων στη Γαλλία. Ανεπαρκής ανθοφορία λόγω ήπιων χειμώνων παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στη Βόρεια Αφρική (Ghrab et al. 2014). Αρκετοί ερευνητές έχουν ήδη αναφέρει στοιχεία για μη φυσιολογικά μοτίβα έκπτυξης οφθαλμών και ανάπτυξης καρπών στην Ευρώπη (Legave et al. 1983, Erez & Couvillon 1987, Viti et al. 2010), καθώς και για τις σχετικές οικονομικές επιπτώσεις (Jackson & Hamer 1980, Baldocchi & Wong 2008, Luedeling et al. 2009, Ghrab et al. 2014).

Άνοδος της θερμοκρασίας τον χειμώνα και την άνοιξη οδηγεί σε πρωιμότερη άνθιση, η οποία, όμως, μπορεί να συμπέσει με όψιμους ανοιξιάτικους παγετούς, με αποτέλεσμα ακόμη και την καταστροφή των ανθέων (Blanke & Kunz 2011). Η μηλιά και άλλα φυλλοβόλα οπωροφόρα είδη είναι ευαίσθητα στους όψιμους παγετούς της άνοιξης. Κατά το στάδιο της ανθοφορίας, θερμοκρασίες που φτάνουν μερικούς βαθμούς κάτω από το μηδέν μπορούν να ζημιώσουν ή και να καταστρέψουν τα άνθη. Ενώ οι ελαφροί παγετοί έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ποιότητας των καρπών, οι σοβαροί παγετοί απειλούν την ίδια τη συγκομιδή (Snyder & de Melo-Abreu 2005). Πρωιμότερη άνθιση έχει, επίσης, αναφερθεί για αρκετά οπωροφόρα είδη και από άλλους ερευνητές (Chmielewski et al. 2004, Dose & Menzel 2004, Menzel et al. 2006, Estrella et al. 2007, Primack et al. 2009, Fujisawa & Kobayashi 2010, Jochner et al. 2016, Parker & Abatzoglou 2018).

Άλλες επιδράσεις των ήπιων χειμώνων έχουν συσχετιστεί με την πτώση των ανθοφόρων οφθαλμών στη ροδακινιά (Weinberger 1956) και τη βερικοκιά (Ruiz & Egea 2008), με καθυστερημένη φυλλόπτωση το φθινόπωρο, μειωμένη καρπώδεση, ανομοιόμορφη έκπτυξη φύλλων και ανθέων και μείωση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των καρπών (Byrne & Bacon 1992, Erez 2000). Υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες πριν την άνθιση έχουν επίσης αναφερθεί να μειώνουν την καρπώδεση και την παραγωγή στη βερικοκιά, λόγω της ανάπτυξης ανώμαλων και μη βιώσιμων ανθέων. Αυτό το γεγονός σχετίζεται με ανεπαρκή επίδραση ψύχους (Legave et al. 2006).

Φαινολογία

Η αλλαγή στο χρονοδιάγραμμα των διαφορετικών φυσιολογικών δραστηριοτήτων των δένδρων, δηλαδή στη φαινολογία, είναι μία από τις πιο έντονες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Η φαινολογία ανταποκρίνεται έντονα στη θερμοκρασία και, πράγματι, οι αλλαγές στα φαινολογικά στάδια ήταν μεταξύ των πρώτων τεκμηριωμένων αποδείξεων της κλιματικής αλλαγής (Menzel & Fabian 1999, Root et al. 2003, Körner & Basler 2010, Lee et al. 2013, Wolkovich et al. 2017). Το κλίμα επηρεάζει τα φαινολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, παίζοντας έτσι βασικό ρόλο στον καθορισμό της γεωγραφικής περιοχής καλλιέργειας των δενδροκομικών ειδών. Πρωίμιση στα βλαστικά στάδια φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, αναφέρονται στη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Chmielewski et al. 2004, Sunley et al. 2006, Atkinson et al. 2013), στη Γαλλία (Atauri et al. 2010), σε ορισμένες βαλκανικές χώρες (Drkenda et al. 2018, Paltineaum & Chitu 2020) και αλλού. Οι Avolio et al. (2012) αναφέρουν ότι, ως το 2100 στη Ν. Ιταλία, η αύξηση

της θερμοκρασίας ενδέχεται να προωμίσει την ανθοφορία των ελαιόδενδρων κατά 10 με 34 ημέρες, γεγονός το οποίο μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή των καλλιέργειών.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μελετών: Εκείνες που παρακολουθούν ιστορικές αλλαγές στη θερμοκρασία και τις συσχετίζουν με πραγματικές πειραματικές παρατηρήσεις στη φαινολογία των δένδρων και στο μέγεθος του καρπού και μελέτες που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των δένδρων με βάση την πρόβλεψη της αύξησης της θερμοκρασίας στο εγγύς μέλλον. Η ανάπτυξη μοντέλων που βασίζονται κυρίως στην επίδραση της θερμοκρασίας στα βλαστικά στάδια των δένδρων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο στην εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη φαινολογία και την καταλληλότητα της δενδροκαλλιέργειας σε μία περιοχή (Vanalli et al. 2021). Μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για τον εντοπισμό των φαινολογικών σταδίων για αρκετές δενδρώδεις καλλιέργειες (Fishman et al. 1987, De Melo-Abreu et al. 2004, Gabaldón-Leal et al. 2017).

Στα οπωροφόρα είδη της εύκρατης ζώνης, η ανθική επαγωγή επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία, ιδιαίτερα από τη χαμηλή θερμοκρασία, ωστόσο, η ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ γονοτύπου, φωτοπεριόδου και θερμοκρασίας ελέγχει αλληλεπιδραστικά την ανθοφορία. Πρωίμηση του σταδίου της πλήρους άνθισης μέχρι και 10 μέρες αναφέρεται σε πολλές περιοχές του κόσμου και για πολλά οπωροφόρα είδη (Wolfe et al. 2005, Blanke & Kunz 2011). Η τάση πρωίμησης της ανθοφορίας σε αρκετά είδη υποδεικνύει ότι οι διεργασίες διακοπής του ληθάργου των οφθαλμών αλλάζουν, πιθανόν ως αντίδραση στην κλιματική αλλαγή. Για τον σχεδιασμό στρατηγικών προσαρμογής, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η εμφάνιση ανθοφορίας είναι απαραίτητη αλλά όχι επαρκής προϋπόθεση, για να καταστεί μία περιοχή κατάλληλη για την καλλιέργεια καρποφόρων δένδρων. Μία περιοχή θεωρείται κατάλληλη, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες επιτρέπουν όλες τις διεργασίες που οδηγούν σε πλήρη ανάπτυξη των καρπών.

Απαιτήσεις των δένδρων και διαθεσιμότητα σε νερό άρδευσης

Αν και οι απαιτήσεις των δένδρων σε νερό άρδευσης μπορεί να αυξηθούν λόγω της αύξησης της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, ένα ζήτημα που προκαλεί μεγαλύτερη ανησυχία είναι η διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων για άρδευση, λόγω αλλαγών στις ποσότητες και στην κατανομή των κατακρημνισμάτων (Stöckle et al. 2011, Tanasijevic et al. 2014). Επιπλέον, η αύξηση του πληθυσμού, η αύξηση της τιμής της ενέργειας, η μείωση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων και η ανταγωνιστική ζήτηση για επιφανειακά και υπόγεια ύδατα από πολλούς τομείς θα αλληλοεπιδράσουν με την κλιματική αλλαγή, για να δημιουργήσουν μία «τέλεια καταιγίδα» που θα επηρεάσει τη διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης. Η πρόκληση είναι να μειωθεί η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση, αλλά με τον μικρότερο αρνητικό αντίκτυπο στην απόδοση και την ποιότητα των καρπών. Είναι γνωστό ότι οι επιπτώσεις της έλλειψης νερού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών. Στους οπωρώνες, οι ανάγκες είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια της άνθισης και της αύξησης και ανάπτυξης των καρπών (Pérez-Pastor et al. 2014).

Επικονίαση

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται ότι επηρεάζει την επικονιαστική αποτελεσματικότητα των μελισσών και, γενικά, συμβάλλει στη μείωση του πληθυσμού των εντόμων επικονίασης (Rami Reddy et al. 2012). Πολύ υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία την άνοιξη, κατά την περίοδο της ανθοφορίας, αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τη γονιμοποίηση και καρπόδεση των ανθέων.

Για είδη που σταυρεπικονιάζονται, όπως η καρύδια και η φιστικιά, ανεπαρκής ψύξη μπορεί να μειώσει την επικονίαση και να οδηγήσει σε μειωμένες αποδόσεις (Gradziel et al. 2007). Οι χαμηλές θερμοκρασίες και οι βροχερές συνθήκες την άνοιξη έχουν αρνητική επίδραση στην επικονίαση των δένδρων (Zavalloni et al. 2008).

Εχθροί και ασθένειες

Σε γενικές γραμμές, η εκτίμηση που κυριαρχεί είναι ότι θερμότερες κλιματικές συνθήκες είναι περισσότερο κατάλληλες για την ανάπτυξη των εντόμων, αφού αυτά μπορούν να συμπληρώσουν μεγαλύτερο αριθμό βιολογικών κύκλων κατά τη διάρκεια του έτους (Gautam et al. 2013). Για παράδειγμα, στην Καλιφόρνια αναμένεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα καταστήσει πιο δύσκολο τον έλεγχο της μύγας της Μεσογείου (*Ceratitis capitata*) (Gutierrez et al. 2008). Επίσης, θερμότεροι χειμώνες επιτρέπουν σε απειλητικά προς τις καλλιέργειες έντομα να διαχειμάσουν σε περιοχές που σήμερα λόγω ψύχους δεν είναι κατάλληλες, με αποτέλεσμα την επίσπευση της προσβολής κατά την επόμενη καλλιεργητική περίοδο (Gutierrez et al. 2008). Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα των φυτοπροστατευτικών προϊόντων επηρεάζεται από τις αλλαγές στη θερμοκρασία και στα κατακρημνίσματα.

Μετασυλλεκτική ποιότητα καρπών

Σύμφωνα με τους Moretti et al. (2010), η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας αναμένεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μετασυλλεκτική ποιότητα των καρπών, αλλάζοντας σημαντικές παραμέτρους ποιότητας, όπως είναι η συγκέντρωση σακχάρων, οργανικών οξέων και αντιοξειδωτικών ενώσεων, το χρώμα του φλοιού και η συνεκτικότητα της σάρκας των καρπών.

Ακραία καιρικά φαινόμενα

α) Υψηλές θερμοκρασίες καλοκαιριού

Οι ακραία υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να παραταθούν για μία χρονική περίοδο (π.χ. ορισμένες ημέρες), προκαλώντας το λεγόμενο «κύμα θερμότητας». Τα θερινά γεγονότα κυμάτων θερμότητας έχουν αυξηθεί από το 1950 (Vicente-Serrano et al. 2014), ειδικά τα τελευταία χρόνια, και οι προβλέψεις δείχνουν μία τάση αύξησης της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου στο μέλλον. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την καλλιεργητική περίοδο προκαλούν καταπόνηση, ηλιοεγκαύματα, διπλούς καρπούς την επόμενη χρονιά και μείωση της ποιότητας των καρπών (Μολασιώτης κ.ά. 2020).

β) Βροχοπτώσεις

Στην περιοχή της Μεσογείου, η πλειονότητα των σεναρίων του 21^{ου} αιώνα δείχνει μείωση της μέσης βροχόπτωσης, κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες (Giorgi & Bi 2005). Όσον αφορά τη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, αναμένεται αύξηση της μεταβλητότητας των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του θέρους (Giorgi 2006) και αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης συνθηκών που ευνοούν τις πλημμύρες του εδάφους (Gao et al. 2006). Η βροχόπτωση αναμένεται να αυξηθεί περίπου κατά 7% για κάθε 1°C αύξησης της θερμοκρασίας (IPCC 2018).

Έντονες βροχοπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν συνθήκες ανοξίας στις ρίζες των δένδρων, να εμποδίσουν την επικονίαση, να μειώσουν την καρπόδεση, να προκαλέσουν ζημιές στην

επιδερμίδα των καρπών και να υποβαθμίσουν την ποιότητά τους, καρπόπτωση, μετασυλλεκτικές ασθένειες, μικρότερη ικανότητα συντήρησης των καρπών, καθώς και αναποτελεσματικό έλεγχο φυτοπροστασίας (Insausti & Gorjón 2013, Pantelidis et al. 2021).

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρήθηκαν ασυνήθιστα γεγονότα βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στους Νομούς Ημαθίας και Πέλλας, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές σε καρπούς ροδακινιάς και νεκταρινιάς που βρίσκονταν κοντά στο στάδιο της ωριμότητας, όπως καρπόπτωση, σκουριά στον φλοιό ή ραβδώσεις. Σύμφωνα με αποτελέσματα των Pantelidis et al. (2021), οι διαδοχικές υγρές μέρες (και όχι οι συνολικές βροχοπτώσεις) προκάλεσαν τα παραπάνω συμπτώματα, τα οποία δεν είχαν αναφερθεί ποτέ πριν και θα μπορούσαν να θεωρηθούν αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής.

γ) Παγετός

Λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ο αριθμός των ημερών χωρίς παγετό αυξήθηκε τα τελευταία 30 χρόνια σε ολόκληρη την Ευρώπη (EEA 2019). Ωστόσο, ο παγετός μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή και την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Η έκταση των ζημιών εξαρτάται από την ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκεια του φαινομένου. Τα οπωροφόρα δέντρα καταστρέφονται ιδιαίτερα από τον παγετό. Ο όψιμος παγετός της άνοιξης είναι ιδιαίτερα επιζήμιος κατά την έκπτυξη των οφθαλμών και την άνθιση των δένδρων.

δ) Χαλάζι

Οι καταιγίδες με χαλάζι προκαλούν ζημιές στις γεωργικές καλλιέργειες στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, αλλά οι πιο ευάλωτες περιοχές είναι η λεκάνη της Μεσογείου (Punge et al. 2017). Ορισμένα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ότι η συχνότητα πτώσης χαλαζιού θα αυξηθεί μέχρι το τέλος του αιώνα (Fischer et al. 2014, Mohr et al. 2015). Το χαλάζι μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγωγής πολυετών καλλιεργειών, όπως η ελιά, το αμπέλι και τα οπωροφόρα δένδρα.

Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Μεγάλο μέρος της ανησυχίας σχετικά με την κλιματική αλλαγή πηγάζει από τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγικότητα και την ευημερία των παραγωγών παγκοσμίως (Gornall et al. 2010, Dinar & Mendelsohn 2011). Για τις χώρες της Μεσογείου, η γεωργία είναι ο κύριος χρήστης της γης και ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού και αποτελεί σημαντική πηγή εισοδήματος και απασχόλησης. Συνεπώς, οι οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή είναι καθοριστικής σημασίας για την κατανόηση της βιωσιμότητας των γεωργικών συστημάτων (Iglesias et al. 2012).

Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορούν να έχουν άμεσες ή έμμεσες επιδράσεις στον γεωργικό τομέα, ιδίως στη Ν. Ευρώπη. Οι άμεσες οικονομικές επιπτώσεις σχετίζονται με αλλαγές στην παραγωγικότητα και στις αποδόσεις των καλλιεργειών, ενώ οι έμμεσες επηρεάζουν τον τομέα μέσω αλλαγών που επέρχονται στην εμπορία των αγροτικών προϊόντων. Αυτές, με τη σειρά τους, μπορούν να εξαπλωθούν σε ολόκληρη την οικονομία του αγροτικού τομέα, με μακροοικονομικές επιπτώσεις στις τιμές των τροφίμων, στα γεωργικά εισοδήματα και, τελικά, στην επισιτιστική ασφάλεια των ανθρώπων σε τοπική, εθνική και παγκόσμια κλίμακα (EEA 2019). Επιπλέον, η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση των τιμών των αγροτικών προϊόντων και σε αλλαγές του εμπορικού ισοζυγίου μεταξύ των διαφόρων χωρών (Lobell et al. 2008).

Για την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο αγροτικό εισόδημα και την ευημερία, μελετώνται οι επιπτώσεις στο πλεόνασμα παραγωγών και καταναλωτών. Το πρώτο αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ των συνολικών εσόδων και του κόστους παραγωγής και το δεύτερο αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ της προθυμίας του καταναλωτή να πληρώσει για ένα αγροτικό προϊόν και του πραγματικού κόστους του, δηλαδή της τιμής της αγοράς. Στα σενάρια αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, αναμένεται να ενταθεί η απώλεια ευημερίας για τον αγροτικό τομέα στην Κ. και Ν. Ευρώπη. Επιπλέον, έχει εκτιμηθεί ότι άνοδος κατά 1 °C της παγκόσμιας θερμοκρασίας, θα έχει ως συνέπεια η γεωργική γη στη Ν. Ευρώπη να υποστεί απώλειες αξίας έως και 9% (Van Passel et al. 2017). Μεταξύ των κοινωνικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αναφέρονται η ανισότητα των φύλων και η μετανάστευση (Eastin 2018).

Προσαρμογή της δενδροκομίας στην κλιματική αλλαγή

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τομείς όπως η γεωργία, καθώς έχει σημαντικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις για την κοινωνία και την επισιτιστική ασφάλεια. Αυτό ενισχύεται από τη Συμφωνία των Παρισίων, η οποία υπογραμμίζει το γεγονός ότι τα μέτρα προσαρμογής πρέπει να εφαρμοστούν σε συνέργεια με μέτρα μετριασμού και τονίζεται ότι τα συστήματα παραγωγής τροφίμων πρέπει να είναι λιγότερο ευάλωτα στις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (UNFCCC 2015).

Ο οικονομικός αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στη γεωργική πρόσοδο εξαρτάται εν μέρει από την προθυμία και την ικανότητα των παραγωγών να ανταποκριθούν στις νέες κλιματολογικές συνθήκες, υιοθετώντας στρατηγικές προσαρμογής (Howden et al. 2007, Reidsma et al. 2010, Di Falco et al. 2011). Αυτές οι στρατηγικές μπορεί να περιλαμβάνουν την αλλαγή καλλιεργητικών πρακτικών ή οικονομικής διαχείρισης των εκμεταλλεύσεων (Smit & Skinner 2002, Nicholas & Durham 2012). Ωστόσο, η εφαρμογή στρατηγικών προσαρμογής στη δενδροκομία μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη, λόγω του μεγάλου κύκλου ζωής των δένδρων (Lobell et al. 2006). Η επιτυχής, όμως, προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή συνεπάγεται βελτιωμένες αποδόσεις ή μείωση της έκτασης των απωλειών και του κόστους παραγωγής, υποστηρίζοντας θετικά το γεωργικό εισόδημα (Shrestha 2014).

Οι αποφάσεις των παραγωγών σχετικά με την προσαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών τους εξαρτώνται από τις αντιλήψεις τους για τους γεωργικούς κινδύνους που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (Menapace et al. 2015). Όπως διατυπώνεται από τη θεωρία της προγραμματισμένης συμπεριφοράς (Ajzen 1991), οι υποκειμενικές πεποιθήσεις αποτελούν τη βάση πληροφοριών που δημιουργεί στάσεις και προθέσεις, που τελικά καταλήγουν στη συμπεριφορά. Ως εκ τούτου, η διερεύνηση των αντιλήψεων κινδύνου είναι θεμελιώδης για την κατανόηση της προσαρμογής. Σε μελέτη που έγινε στην Ιταλία, διαπιστώθηκε ότι οι αντιλήψεις των μηλοπαραγωγών για την κλιματική αλλαγή επηρεάζουν τις αποφάσεις τους και όσοι πιστεύουν στην κλιματική αλλαγή προβλέπουν μεγαλύτερες απώλειες στις αποδόσεις στο μέλλον (Menapace et al. 2015).

Σύμφωνα με τους Loritea et al. (2020), ο προσδιορισμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις δενδροκομικές καλλιέργειες και ο σχεδιασμός των στρατηγικών προσαρμογής απαιτούν προσεκτική εκ των προτέρων αξιολόγηση των καλλιεργειών σε τοπική κλίμακα, λόγω της έντονης χωρικής ετερογένειας και των υπόλοιπων υψηλών αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τη μοντελοποίηση των καλλιεργειών. Οι δράσεις προσαρμογής πρέπει να

αξιολογηθούν προσεκτικά και να επιλεγούν οι πιο βιώσιμες σε κάθε περίπτωση. Στις στρατηγικές προσαρμογής για τα οπωροφόρα είδη περιλαμβάνονται:

- *Προγραμματισμός νέων φυτεύσεων, επιλέγοντας τα κατάλληλα οπωροφόρα είδη και ποικιλίες, ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Πιθανή γεωγραφική επέκταση ορισμένων δενδροκομικών ειδών σε νέες, καταλληλότερες περιοχές καλλιέργειας, κυρίως λόγω της αλλαγής στις θερμοκρασίες του αέρα (Parker & Abatzoglou 2016).*
- *Ανάπτυξη μοντέλων για τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη φαινολογία των οπωροφόρων δένδρων της εύκρατης ζώνης.*
- *Ανάπτυξη νέων ποικιλιών με υψηλό δυναμικό απόδοσης και ανθεκτικότητα σε καταπονήσεις. Καθώς το ελλειπές χειμερινό ψύχος θα είναι το κύριο ζήτημα στο εγγύς μέλλον, έχουν ξεκινήσει προγράμματα βελτίωσης για την επιλογή νέων ποικιλιών με μικρές ή καθόλου απαιτήσεις σε ψύχος για τη διακοπή του ληθάργου (Gabalión-Leal et al. 2017). Τέτοιες ποικιλίες ροδακινιάς χρησιμοποιούνται ήδη σε τροπικά και υποτροπικά κλίματα (Layne & Bassi 2008). Επίσης, οι νέες ποικιλίες θα πρέπει να προσαρμόζονται και να αποδίδουν σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η έλλειψη νερού και οι υψηλές θερμοκρασίες.*
- *Καταγραφή κλιματικών παραμέτρων και έγκαιρη ενημέρωση των παραγωγών για τον χρόνο εφαρμογής των καλλιεργητικών πρακτικών.*
- *Συμπληρωματική κάλυψη των απαιτήσεων σε ψύχος των ήδη εγκατεστημένων δένδρων, με καλλιεργητικές πρακτικές και σκευάσματα. Ορισμένες χημικές ουσίες έχουν αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικές στο να προκαλούν την έκπτυξη των οφθαλμών και την άνθιση στα οπωροφόρα δένδρα (Erez et al. 2008, Ashebir et al. 2010). Ωστόσο, είναι αποτελεσματικές μόνο κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (Campoy et al. 2011) και μπορεί να προκαλέσουν φυτοτοξικότητα (Luedeling 2012). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι οι χειμερινές καλλιεργητικές πρακτικές (όπως το ψέκασμα νερού πάνω από τους βλαστούς) μπορούν να μειώσουν τη θερμοκρασία των οφθαλμών με ψύξη λόγω εξάτμισης (Erez 1995).*
- *Προσαρμογή στην αύξηση των απαιτήσεων των δένδρων σε νερό άρδευσης και στην έλλειψη διαθέσιμου νερού. Όπως αναφέρουν οι Fereres και Evans (2006), η πλειονότητα των καλλιεργητών παγκοσμίως εφαρμόζει τα προγράμματα άρδευσης των οπωρώνων ημερολογιακά ή με βάση μακροσκοπικές παρατηρήσεις. Η καλύτερη χρήση του διαθέσιμου νερού από τις βροχοπτώσεις και την άρδευση πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάπτυξης καλύτερα προσαρμοσμένων ποικιλιών, μαζί με την εφαρμογή αποτελεσματικών καλλιεργητικών πρακτικών και τεχνικών άρδευσης (Fereres et al. 2014). Μία σημαντική μέθοδος προσαρμογής στην έλλειψη νερού είναι η μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση του νερού άρδευσης στον οπωρώνα, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες. Στρατηγικές όπως η ελλειμματική άρδευση (Girona et al. 2005, Fereres & Soriano 2007), η στάγδην άρδευση και η τροποποίηση του μικροκλίματος του οπωρώνα χρησιμοποιώντας δίχτυα σκίασης ή πλαστικό κάλυμμα, έχουν δείξει ή υπόσχονται ικανοποιητικά αποτελέσματα (Fleischer et al. 2011, Quero-García et al. 2017, Moinina et al. 2018). Ωστόσο, η υιοθέτησή τους επηρεάζεται από την οικονομική δυνατότητα του παραγωγού.*

- *Παρακολούθηση του πληθυσμού εχθρών και παρασίτων με βάση τις κλιματικές συνθήκες και έγκαιρη εφαρμογή των φυτοπροστατευτικών προϊόντων στο κατάλληλο φαινολογικό στάδιο.*
- *Εκπαίδευση και ενημέρωση των παραγωγών σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δενδροκαλλιέργεια, καθώς και για την επιλογή των κατάλληλων σε κάθε περίπτωση μέτρων προσαρμογής. Όπως υποστηρίζουν οι Pashen & Ison (2014) «το πώς καταλαβαίνουμε το περιβάλλον είναι το πώς συμπεριφερόμαστε». Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ των πρακτικών προσαρμογής που προτείνουν οι ειδικοί και εκείνων που έχουν υιοθετηθεί από τους παραγωγούς (del Pozo et al. 2019).*
- *Παροχή οικονομικών κινήτρων στους παραγωγούς. Αποτελεί προϋπόθεση για την ενίσχυση του ρόλου που μπορεί να διαδραματίσει η γεωργία στη συμβολή στους κλιματικούς στόχους, όπως είναι για παράδειγμα η συμβολή των δενδροκομικών καλλιεργειών στην απορρόφηση του CO₂ της ατμόσφαιρας και η ενσωμάτωση του άνθρακα στο έδαφος (Rodríguez-Entrena et al. 2012, Bithas & Latinopoulos 2021).*

Συμπεράσματα

Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή περιλαμβάνουν αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, έλλειψη νερού και ακραία καιρικά φαινόμενα, αλλαγές στις περιοχές καλλιέργειας οικονομικά σημαντικών δενδροκομικών ειδών, μείωση των αποδόσεων και υποβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων καρπών. Σε πολλές εύκρατες περιοχές, η ικανοποίηση των αναγκών των οπωροφόρων δένδρων σε ψύχος πιθανότατα θα παρουσιάσει πρόβλημα. Η έρευνα ασχολείται με την ανάπτυξη νέων καλλιεργητικών πρακτικών που μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις των φυλλοβόλων οπωροφόρων ειδών σε ψύχος, καθώς και με την παραγωγή χημικών σκευασμάτων φιλικών προς το περιβάλλον για τη διακοπή του ληθάργου των οφθαλμών των δένδρων. Η κλιματική αλλαγή, επίσης, επηρεάζει και άλλες πτυχές της δενδροκομίας, όπως είναι η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης φυσιολογικών διαταραχών, η αποτυχία επικονίασης των ανθέων και οι αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα των φαινολογικών σταδίων. Ο συνδυασμός μοντελοποίησης (για παράδειγμα, για τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε ψύχος) και κλιματικών σεναρίων μπορεί να επιτρέψει μελέτες σχετικά με την αλληλεπίδραση χωρικών και καλλιεργητικών παραμέτρων κατά την αξιολόγηση στρατηγικών προσαρμογής σε μελλοντικές κλιματικές συνθήκες (Darbyshire et al. 2016). Οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό αναμένεται να αυξηθούν λόγω της αύξησης της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, ενώ η διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης θα είναι ακόμη πιο ασταθής λόγω της μειωμένης βροχόπτωσης στο μέλλον. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη πολύ λίγες μελέτες σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στους οπωρώνες της Νότιας Ευρώπης. Η προσαρμογή της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή απαιτεί ολοκληρωμένες στρατηγικές που περιλαμβάνουν διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης: τον οπωρώνα, το σύστημα καλλιέργειας και τον παραγωγό. Ενώ η βελτίωση των δενδροκομικών ειδών είναι μία μακροπρόθεσμη διαδικασία που αντιμετωπίζει άμεσα το πρόβλημα, η υιοθέτηση των κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών είναι η πιο άμεση στρατηγική, αλλά επηρεάζεται έντονα από την κλιματική αλλαγή. Από την άλλη, η μεταβολή της συμπεριφοράς των αγροτών προς την υιοθέτηση νέων καλλιεργητικών πρακτικών μπορεί να επιτευχθεί βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα με τον σχεδιασμό κατάλληλων οικονομικών κινήτρων (del Pozo et al. 2019). Επιπλέον, η συλλογή πληροφοριών που σχετίζονται με τη διακύμανση των κλιματικών παραμέτρων, τις στρατηγικές προσαρμογής και των επιπτώσεων στους παραγωγούς παρέχουν χρήσιμο υλικό στους υπεύθυνους λήψης

αποφάσεων για τη δημιουργία κατάλληλων πολιτικών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που επιβάλλει η κλιματική αλλαγή.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Μολασιώτης, Α., Δρογούδη, Π., Παντελίδης, Γ. (2020). Η δένδροκομία και οι προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής. Σε: 8^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Agrotica «Κλιματική αλλαγή και Γεωργία». Θεσσαλονίκη, 1-2 Φεβρουαρίου 2020, Περιλήψεις Εισηγήσεων, σελ. 21.
- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ) (2011). Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, Τράπεζα της Ελλάδος. Διαθέσιμο: http://www.bankofgreece.gr/BogEkdoseis/%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%B7%CF%82_%CE%95%CE%BA%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%B7.pdf

II. Ξενόγλωσση

- Ashebir, D., Deckers, T., Nyssen, J., Bihon, W., Tsegay, A., Tekie, H., Behailu, M. (2010). Growing apple (*Malus domestica*) under tropical mountain climate conditions in northern Ethiopia. *Experimental Agriculture*, Vol. 46, No. 1, pp. 53-65.
- Atauri, I.G.C., Brisson, N., Baculat, B., Seguin, B., Legave, J.M., Calleja, M., Farrera, I., Guedon, Y. (2010). Analysis of the flowering time in apple and pear and bud break in vine, in relation to global warming in France. *Acta Horticulturae*, Vol. 872, pp. 61-68.
- Atkinson, C.J., Brennan, R.M., Jones, H.G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 91, pp. 48-62.
- Avolio, E., Orlandi, F., Bellecci, C., Fornaciari, M., Federico, S. (2012). Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (southern Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 107, No. 3, pp. 531-540.
- Baldocchi, D., Wong, S. (2008). Accumulated winter chill is decreasing in the fruit growing regions of California. *Climatic Change*, Vol. 87, No. 1, pp. 153-166.
- Bithas, K., Latinopoulos, D. (2021). Managing tree-crops for climate mitigation. An economic evaluation trading-off carbon sequestration with market goods. *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 27, pp. 667-678.
- Blanke, M.M., Kunz, A. (2011). Effects of climate change on pome fruit phenology and precipitation. *Acta Horticulturae*, Vol. 922, pp. 381-386.
- Byrne, D.H., Bacon, T.A. (1992). Chilling estimation: its importance and estimation. *The Texas Horticulturist*, Vol. 18, pp. 8-9.
- Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Horticulturae*, Vol. 130, No. 2, pp. 357-372.
- Chmielewski, F.M., Müller, A., Bruns, E. (2004). Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 121, pp. 69-78.
- Dalhaus, T., Schlenker, W., Blanke, M.M., Bravin, E., Finger, R. (2020). The effects of extreme weather on apple quality. *Scientific Reports*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-7.
- Darbyshire, R., Measham, P., Goodwing, I. (2016). A crop and cultivar-specific approach to assess future winter chill risk for fruit and nut trees. *Climatic Change*. Vol. 137, pp. 541-556.

- De Melo-Abreu, J.P., Barranco, D., Cordeiro, M., Tous, J., Rogado, B.M., Villalobos, F.J. (2004). Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 125, pp. 117-127.
- del Pozo, A., Brunel-Saldias, N., Engler, A., Ortega-Farias, S., Acevedo-Opazo, C., Lobos, G.A., Jara-Rojas, R., Molina-Montenegro, M.A. (2019). Climate change impacts and adaptation strategies of agriculture in Mediterranean-Climate Regions (MCRs). *Sustainability*, Vol. 11, No. 10, p. 2769.
- Di Falco, S., Veronesi, M., Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 93, No. 3, pp. 829-846.
- Dinar, A., Mendelsohn, R. (2011). *Handbook on Climate Change and Agriculture*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Drkenda, P., Musić, O., Marić, S., Jevremović, D., Radičević, S., Hudina, M., Hodžić, S., Kunz, A., Blanke, M.M. (2018). Comparison of climate change effects on Pome and stone fruit phenology between Balkan countries and Bonn/Germany. *ErwerbsObstbau*, Vol. 60, No. 4, pp. 295-304.
- Duchêne, E., Huard, F., Dumas, V., Schneider, C., Merdinoglu, D. (2010). The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. *Climate Research*, Vol. 41, No. 3, pp. 193-204.
- Eastin, J. (2018). Climate change and gender equality in developing states. *World Development*, Vol. 107, pp. 289-305.
- EEA Report, No 4. (2019). *Climate Change Adaptation in the Agricultural Sector in Europe*.
- Erez, A. (1995). Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. *Dormancy and the related Problems of Deciduous Fruit Trees*, Vol. 395, pp. 81-96.
- Erez, A. (2000). Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: Erez, A. (Ed.), *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Dordrecht: Springer.
- Erez, A., Couvillon, G.A. (1987). Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Vol. 112, No. 4, pp. 677-680.
- Erez, A., Yablowitz, Z., Aronovitz, A., Hadar, A. (2008). Dormancy breaking chemicals; efficiency with reduced phytotoxicity. *Acta Horticulturae*, Vol. 772, pp. 105-112.
- Fereres, E., Evans, R.G. (2006). Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. *Irrigation Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 55-57.
- Fereres, E., Orgaz, F., Gonzalez-Dugo, V., Testi, L., Villalobos, F.J. (2014). Balancing crop yield and water productivity tradeoffs in herbaceous and woody crops. *Functional Plant Biology*, Vol. 41, pp. 1009-1018.
- Fereres, E., Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 2, pp. 147-159.
- Fischer, E.M., Sedláček, J., Hawkins, E., Knutti, R. (2014). Models agree on forced response pattern of precipitation and temperature extremes. *Geophysical Research Letters*, Vol. 41, No. 23, pp. 8554-8562.
- Fishman, S., Erez, A., Couvillon, G.A. (1987). The temperature-dependence of dormancy breaking in plants - mathematical analysis of a 2-step model involving a cooperative transition. *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 124, No. 4, pp. 473-483.

- Fleischer, A., Mendelsohn, R., Dinar, A. (2011). Bundling agricultural technologies to adapt to climate change. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 78, No. 6, pp. 982-990.
- Fujisawa, M., Kobayashi, K. (2010). Apple (*Malus pumila* var. *domestica*) phenology is advancing due to rising air temperature in northern Japan. *Global Change Biology*, Vol. 16, No. 10, pp. 2651-2660.
- Gabaldón-Leal, C., Ruiz-Ramos, M., de la Rosa, R., León, L., Belaj, A., Rodríguez, A., Santos, C., Lorite, I.J. (2017). Impact of changes in mean and extreme temperatures caused by climate change on olive flowering in southern Spain. *International Journal of Climatology*, Vol. 37, No S1, pp. 940-957.
- Gao, X., Pal, J.S., Giorgi, F. (2006). Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L03706.
- Gautam, H.R., Bhardwaj, M.L., Kumar, R. (2013). Climate change and its impact on plant diseases. *Current Science*, Vol. 105, No. 12, pp. 1685-1691.
- Ghrab, M., Mimoun, M.B., Masmoudi, M.M., Mechlia, N.B. (2014). Chilling trends in a warm production area and their impact on flowering and fruiting of peach trees. *Scientia Horticulturae*, Vol. 178, pp. 87-94.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L08707.
- Giorgi, F., Bi, X. (2005). Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L21715.
- Girona, J., Mata, M., Marsal, J. (2005). Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, Vol. 75, No. 2, pp. 152-167.
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. Sections*. Vol. 365, No. 1554, pp. 2973-2989.
- Gradziel, T.M., Lampinen, B., Connell, J.H., Viveros, M. (2007). 'Winters' almond: an early-blooming, productive, and high-quality pollenizer for 'Nonpareil'. *HortScience*, Vol. 42, No. 7, pp. 1725-1727.
- Gutierrez, A.P., Ponti, L., d'Oultremont, T., Ellis, C.K. (2008). Climate change effects on poikilotherm tritrophic interactions. *Climatic Change*, Vol. 87, pp. S167-S192.
- Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 50, pp. 19691-19696.
- Iglesias, A., Quiroga, S., Moneo, M., Garrote, L. (2012). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*, Vol. 112, No. 1, pp. 143-168.
- Insausti, P., Gorjón, S. (2013). Floods affect physiological and growth variables of peach trees (*Prunus persica* (L.) Batsch), as well as the postharvest behavior of fruits. *Scientia Horticulturae*, Vol. 152, pp. 56-60.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Global warming of 1.5°C. World Meteorological Organizations. Switzerland. Available: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

- Jackson, J.E., Hamer, P.J.C. (1980). The causes of year-to-year variation in the average yield of Cox's Orange Pippin apple in England. *Journal of Horticultural Science*, Vol. 55, No. 2, pp. 149-156.
- Jochner, S., Sparks, T.H., Laube, J., Menzel, A. (2016). Can we detect a nonlinear response to temperature in European plant phenology? *International Journal of Biometeorology*, Vol. 60, No. 10, pp. 1551-1561.
- Körner, C., Basler, D. (2010). Phenology under global warming. *Science*, Vol. 327, No. 5972, pp. 1461-1462.
- Lai, L.W. (2018). The relationship between extreme weather events and crop losses in central Taiwan. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 134, pp. 107-119.
- Layne, D.R., Bassi, D. (2008). *The peach: botany, production and uses*. CABI.
- Lee, J.H., Ryu, H.S., Chung, K.S., Posé, D., Kim, S., Schmid, M., Ahn, J.H. (2013). Regulation of temperature-responsive flowering by MADS-box transcription factor repressors. *Science*, Vol. 342, pp. 628-632.
- Legave, J., Garcia, G., Marco, F. (1983). Some descriptive aspects of drops process of flower buds, or young flowers observed on apricot tree in south of France. *Acta Horticulturae*, Vol. 121.
- Legave, J.M., Richard, J.C., Fournier, D. (2006). Characterisation and influence of floral abortion in French apricot crop area. In: 12. International Symposium on Apricot Culture and Decline. ISHS-International Society for Horticultural Science.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, Vol. 319, pp. 607-610.
- Lobell, D.B., Field, C.B. (2011). California perennial crops in a changing climate. *Climatic Change*, Vol. 109, No. 1, pp. 317-333.
- Lobell, D.B., Field, C.B., Cahill, K.N., Bonfils, C. (2006). Impacts of future climate change on California perennial crop yields: model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 141, pp. 206-218.
- Lobos, G.A., Hancock, J.F. (2015). Breeding blueberries for a changing global environment: A review. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 6, p. 782.
- Loritea, I.J., Cabezas-Luquea, J.M., Arqueroa, O., Gabaldón-Leala, C., Santosa, C., Rodríguezb, A., Ruiz-Ramos, M., Loveraa, M. (2020). The role of phenology in the climate change impacts and adaptation strategies for tree crops: A case study on almond orchards in Southern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 294, 108142.
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*. Vol. 144, pp. 218-229.
- Luedeling, E., Zhang, M., Girvetz, E.H. (2009). Climatic changes lead to declining winter chill for fruit and nut trees in California during 1950-2099. *PLoS One*, Vol. 4, e6166.
- Menapace L., Colsonb, G., Raffaelli, R. (2015). Climate change beliefs and perceptions of agricultural risks: An application of the exchangeability method. *Global Environmental Change*, Vol. 35, pp. 70-81.
- Menzel, A., Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, Vol. 397, pp. 659.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., ..., Züst, A.N.A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, Vol. 12, No. 10, pp. 1969-1976.
- Mohr, S., Kunz, M., Geyer, B. (2015). Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast. *Geophysical Research Letters*. Vol. 42, No. 24, pp. 904-910.

- Moinina, A., Lahlali, R., MacLean, D., Boulif, M. (2018). Farmers' Knowledge, Perception and Practices in Apple Pest Management and Climate Change in the Fes-Meknes Region, Morocco. *Horticulturae*, Vol. 4, No. 4, p. 42.
- Moretti, C.L., Mattose, L.M., Calbo, A.G., Sargent, S.A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, Vol. 43, pp. 1824-1832.
- Nicholas, K.A., Durham, W.H. (2012). Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. *Global Environmental Change*. Vol. 22, No. 2, pp. 483-494.
- Paltineanu, C, Chitu, E. (2020). Climate change impact on phenological stages of sweet and sour cherry trees in a continental climate environment. *Scientia Horticulturae*, Vol. 261, 109011.
- Pantelidis, G., Mavromatis, T., Drogoudi, P. (2021). Consecutive wet days may impede fruit quality of peach and nectarine and cause fruit drop. *Scientia Horticulturae*, Vol. 282, 110011.
- Parker, L.E., Abatzoglou, J.T. (2016). Projected changes in cold hardiness zones and suitable overwinter ranges of perennial crops over the United States. *Environmental Research Letters*, Vol. 11, 034001.
- Parker, L.E., Abatzoglou, J.T. (2018). Shifts in the thermal niche of almond under climate change. *Climatic Change*, Vol. 147 (1–2), pp. 211-224.
- Paschen, J.A., Ison, R. (2014). Narrative research in climate change adaptation - Exploring a complementary paradigm for research and governance. *Research Policy*, Vol. 43, No. 6, pp. 1083–1092.
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, D. (2014). Effects of timing and intensity of deficit irrigation on vegetative and fruit growth of apricot trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 134, pp. 110-118.
- Petri, J.L., Leite, G.B. (2004). Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. *Acta Horticulturae*, Vol. 662, pp. 53-60.
- Primack, R.B., Ibáñez, I., Higuchi, H., Lee, S.D., Miller-Rushing, A.J., Wilson, A.M., Silander Jr, J.A. (2009). Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures. *Biological Conservation*, Vol. 142, No. 11, pp. 2569-2577.
- Punge, H.J., Bedka, K.M., Kunz, M., Reinbold, A. (2017). Hail frequency estimation across Europe based on a combination of overshooting top detections and the ERA-INTERIM reanalysis. *Atmospheric Research*, Vol. 198, pp. 34-43.
- Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G.A. (2017). *Cherries: botany, production and uses*. CABI.
- Rami Reddy, P.V., Verghese, A., Rajan, V.V. (2012). Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, Vol. 18, pp. 121-127.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, Vol. 32, No. 1, pp. 91-102.
- Rodríguez-Entrena, M., Barreiro-Hurlé, J., Gómez-Limón, J.A., Espinosa-Goded, M., Castro-Rodríguez, J. (2012). Evaluating the demand for carbon sequestration in olive grove soils as a strategy toward mitigating climate change. *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, pp. 368-376.

- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C., Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, Vol. 421, pp. 57-60.
- Ruiz, D., Egea, J. (2008). Analysis of the variability and correlations of floral biology factors affecting fruit set in apricot in a Mediterranean climate. *Scientia Horticulturae*, Vol. 115, No. 2, pp. 154-163.
- Shrestha, S., Hennessey, T., Abdalla, M., Forristal, D., Jones, M.B. (2014). Determining short term responses of Irish dairy farms under climate change. *German Journal of Agricultural Economics*, Vol. 63, pp. 143-155.
- Smit, B., Skinner, M. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies of Global Change*, Vol. 7, No. 1, pp. 85-114.
- Snyder, R.L., Melo-Abreu, J.D. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics*. Volume 1.
- Stöckle, C.O., Marsal, J., Villar, J.M. (2011). Impact of Climate change on irrigated tree fruit production. *Acta Horticulturae*, Vol. 889, pp. 41-52.
- Stöckle, C.O., Nelson, R.L., Higgins, S., Brunner, J., Grove, G., Boydston, R., Whiting, M., Kruger, C. (2010). Assessment of climate change impact on Eastern Washington agriculture. *Climate Change*, Vol. 102, pp. 77-102.
- Sunley, R.J., Atkinson, C.J., Jones, H.G. (2006). Chill unit models and recent changes in the occurrence of winter chill and spring frost in the United Kingdom. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, Vol. 81, No. 6, pp. 949-958.
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C., Lionello, P. (2014). Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, Vol., 144, pp. 54-68.
- UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement, United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn, Germany. Available: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Van Passel, S., Massetti, E., Mendelsohn, R. (2017). A Ricardian analysis of the impact of climate change on European agriculture. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 67, No. 4, pp. 725-760.
- Vanalli, C., Casagrandi, R., Gatto, M., Bevacqua, D. (2021). Shifts in the thermal niche of fruit trees under climate change: The case of peach cultivation in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 300: 108327.
- Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J.M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., Espejo, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, Vol. 9, No. 4, 044001.
- Viti, R., Andreini, L., Ruiz, D., Egea, J., Bartolini, S., Iacona, C., Campoy, J.A. (2010). Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Scientia Horticulturae*, Vol. 124, No. 2, pp. 217-224.
- Weinberger, J.H. (1956). Prolonged dormancy trouble in peaches in the southeas in relation to winter temperatures. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Vol. 67, pp.107-112.

- Wenden, B., Barreneche, T., Meland, M., Blanke, M.M. (2017a). Harmonisation of phenology stages and selected cherry cultivars as bioindicators for climate change. *Acta Horticulturae*, Vol. 1162, pp. 9-12.
- Wenden, B., Mariadassou, M., Campoy, J.A., Quero-Garcia, J., Dirlewanger, E. (2017b). Statistical analysis of trends in sweet cherry flowering data across Europe. *Acta Horticulturae*, Vol. 1160, pp. 215-220.
- Wolfe, D.W., Schwartz, M.D., Lakso, A.N., Otsuki, Y., Pool, R.M., et al. (2005). Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometereology*, Vol. 49, pp. 303-309.
- Wolkovich, E.M., Burge, D.O., Walker, M.A., Nicholas, K.A. (2017). Phenological diversity provides opportunities for climate change adaptation in winegrapes. *Journal of Ecology*, Vol. 105, No. 4, pp. 905-912.
- Zavalloni, C., Andresen, J.A., Black, J.R., Winkler, J.A., Guentchev, G., Piromsopa, K., Pollyea, A., Bisanzet J.M. (2008). A preliminary analysis of the impacts of past and projected future climate on sour cherry production in the Great Lakes Region of the USA. *Acta Horticulturae*, Vol. 803, pp. 123-130.

Η ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΦΟΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΡΡΥΘΜΙΣΗ-ΦΟΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΩΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΕ

Αθανάσιος Αν. Γεωργίσης
Οικονομολόγος-Εφοριακός ΠΕ/Α' (MSc)
E-mail: georgisissakis@gmail.com

Μιχαήλ Τσατήρης
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: tsatiris@fmenr.duth.gr

Βασιλική Δήμου
Επίκουρος Καθηγήτρια
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: vdimou@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση (ΠΦΜ) ως εργαλείο περιβαλλοντικής πολιτικής. Αρχικά γίνεται αναφορά στην έννοια και τα κύρια χαρακτηριστικά της ΠΦΜ, καθώς και στην κριτική περί της επίτευξης ή μη ενός «διπλού μερίσματος». Ακολουθεί παρουσίαση της ΠΦΜ σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από την έρευνα προέκυψε ότι το πρώτο μέρισμα (περιβαλλοντικό) εντοπίζεται σε όλες τις εργασίες, ενώ η ύπαρξη και επίτευξη του δεύτερου μερίσματος (μέρισμα απόδοσης) αποτελεί αμφιλεγόμενο ζήτημα στην οικονομική βιβλιογραφία και είναι εφικτό υπό προϋποθέσεις. Στην ΕΕ οκτώ κράτη μέλη έχουν υιοθετήσει πλήρη ΠΦΜ, ενώ τα υπόλοιπα έχουν υιοθετήσει περιβαλλοντικούς φόρους, αλλά δεν έχουν ακόμη εφαρμόσει μία εκτεταμένη ΠΦΜ. Η θεωρία του «διπλού μερίσματος» αποδείχθηκε αληθινή σε πέντε χώρες της ΕΕ που εφάρμοσαν μία πλήρη μορφή ΠΦΜ. Ωστόσο, ο κοινοτικός κανόνας της ομόφωνης απόφασης κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ και η ανησυχία των περισσότερων κρατών για τις επιπτώσεις των μεταρρυθμίσεων στην ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών εντάσεως ενέργειας δεν επέτρεψε μέχρι σήμερα την εφαρμογή μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής ΠΦΜ. Ως λύσεις προτείνονται η Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού και η Ενισχυμένη Συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών.

Λέξεις-κλειδιά: Περιβαλλοντικοί φόροι, περιβαλλοντική φορολογική μεταρρύθμιση, διπλό μέρισμα, Ευρωπαϊκή Ένωση

Εισαγωγή

Η αυξανόμενη ανησυχία τις τελευταίες δεκαετίες για την υπερθέρμανση του πλανήτη και το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής έφεραν τα περιβαλλοντικά ζητήματα στο προσκήνιο της παγκόσμιας πολιτικής ατζέντας. Η επίλυσή τους καθιστά αναγκαία όσο ποτέ την ανάπτυξη σύγχρονων οικονομικών εργαλείων που θα ενσωματώνουν το περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος στο κόστος παραγωγής των επιχειρήσεων και θα οδηγούν στην αειφόρο ανάπτυξη. Μεταξύ αυτών που προτείνονται είναι η Περιβαλλοντική Φορολογία και ιδιαίτερα η Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση (Environmental Tax Reform-ETR).

Ορισμός

Η Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση (εφεξής ΠΦΜ) αντιπροσωπεύει μία σημαντική εξέλιξη στην περιβαλλοντική και δημοσιονομική πολιτική. Ορίζεται ως η μεταρρύθμιση του φορολογικού συστήματος μίας χώρας όπου υπάρχει μετατόπιση του φορολογικού βάρους από τους υφιστάμενους συμβατικούς φόρους, όπως επί της εργασίας (φόρος εισοδήματος φυσικών προσώπων, εισφορές κοινωνικής ασφάλισης εργοδοτών και εργαζομένων), του κεφαλαίου (φόρος εισοδήματος νομικών προσώπων) και της κατανάλωσης (έμμεσων φόρων), σε επιβλαβείς για το περιβάλλον δραστηριότητες, ώστε τα συνολικά φορολογικά έσοδα να παραμένουν σταθερά (European Commission 1997, ΕΕΑ 2005). Αυτή η αλληλεξάρτηση των περιβαλλοντικών φόρων με άλλους υφιστάμενους φόρους εξετάστηκε για πρώτη φορά από τον Sandmo (1975), ωστόσο η πρόταση για τη χρήση των εσόδων της περιβαλλοντικής φορολογίας για τη μείωση άλλων φόρων εμφανίστηκε στη βιβλιογραφία στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Sartzetakis & Tsigaris 2009).

Η ΠΦΜ ξεκίνησε να εφαρμόζεται αρχικά σε σχετικά μικρή κλίμακα και έπειτα εκτεταμένα σε ορισμένες χώρες της Βόρειας Ευρώπης τη δεκαετία του 1990 και στις αρχές της δεκαετίας του 2000 (Φινλανδία 1990 και 1997, Σουηδία 1991, Δανία 1993, Κάτω Χώρες 1996 και 2001, Γερμανία 1999 και Ηνωμένο Βασίλειο 1996, 2001, 2002) με την εισαγωγή νέων φόρων ή την αναθεώρηση των ήδη υπαρχόντων φόρων ενέργειας. Αφορούσε κύρια τη φορολογική επιβάρυνση της κατανάλωσης ενέργειας, των μεταφορών και των εκπομπών CO₂ και δευτερευόντως τη διαχείριση των χώρων υγειονομικής ταφής, τη διάθεση των αποβλήτων και τη χρήση ή την εξόρυξη πόρων (Neri et al. 2007, Bassi et al. 2009, International Institute for Labour Studies 2011). Επεκτάθηκε σταδιακά σε αρκετές χώρες σε όλο τον κόσμο, με σκοπό είτε την αύξηση των εσόδων ως απάντηση στις δημοσιονομικές ανάγκες είτε την επίτευξη των ευρύτερων περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών στόχων στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης (Withana et al. 2014).

Κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα

Το Διπλό Μέρισμα

Η ΠΦΜ, ως ένα πολλά υποσχόμενο μέσο περιβαλλοντικής πολιτικής, προσέλκυσε το ενδιαφέρον αρκετών χωρών της Ευρώπης λόγω της δυνατότητας του διπλού οφέλους, δηλαδή της βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος από τη μία μεριά και του

οικονομικού οφέλους από την άλλη, μέσω της ανακύκλωσης των φορολογικών εσόδων. Αυτή η θεωρητική ανάλυση του διπλού οφέλους των περιβαλλοντικών φόρων συναντάται στη βιβλιογραφία με τον όρο διπλό μέρισμα (double dividend) (Pearce 1991, Goulder 1995).

Το πρώτο ή περιβαλλοντικό ή πράσινο μέρισμα (first dividend or environmental dividend or green dividend) σχετίζεται με την αλλαγή της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς και την εγκατάλειψη μίας περιβαλλοντικά επιζήμιας δραστηριότητας, καθιστώντας την δαπανηρή. Το δεύτερο ή μπλε μέρισμα ή αλλιώς μέρισμα απόδοσης (second dividend or blue dividend or efficiency dividend) είναι το ίδιο σημαντικό με το πρώτο και αφορά τη χρήση των εσόδων που προέρχονται από την επιβολή ή την αύξηση των περιβαλλοντικών φόρων σε άλλους τομείς με θετικές οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες (Ciaschini et al. 2012, Miceikiene & Butvilaite 2015). Συνήθως, το δεύτερο μέρισμα εντοπίζεται στον τομέα της ευημερίας (χρησιμότητας) ή της απασχόλησης¹ (Bosquet 2000). Για παράδειγμα, οι υψηλότεροι φόροι επί της ενέργειας οδηγούν αφενός σε μείωση της χρήσης ενέργειας και ως εκ τούτου της ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (πρώτο μέρισμα), αφετέρου η ταυτόχρονη μείωση των φόρων επί της εργασίας μειώνει την πίεση στην απασχόληση και συμβάλλει στη μείωση της ανεργίας (δεύτερο μέρισμα). Επομένως, η μετάβαση από τη συμβατική στην περιβαλλοντική φορολογία δεν διορθώνει μόνο μία περιβαλλοντική εξωτερικότητα (πρώτο μέρισμα), αλλά, μέσω της ανακύκλωσης των φορολογικών εσόδων, μειώνει τις στρεβλωτικές επιπτώσεις της φορολογίας σε άλλους τομείς και βελτιώνει την ευημερία (δεύτερο μέρισμα).

Σύμφωνα με τους Goulder (1995), De Mooij (2000) και Takeda (2007), το διπλό μέρισμα μπορεί να διακριθεί σε ασθενές (weak) και ισχυρό (strong). Όταν τα έσοδα που προέρχονται από την πράσινη φορολογία επιστρέφονται στους φορολογούμενους μέσω της μείωσης άλλων προϋπαρχόντων στρεβλωτικών φόρων και δεν ανακυκλωθούν με τη μορφή εφάπαξ πληρωμών, το διπλό μέρισμα χαρακτηρίζεται ως ασθενές και οδηγεί σε εξοικονόμηση κόστους (θετικό ακαθάριστο κόστος ή αλλιώς θετικό καθαρό όφελος). Όταν η ανακύκλωση των εσόδων μέσω της αντικατάστασης ενός στρεβλωτικού φόρου με έναν ουδέτερο περιβαλλοντικό φόρο δημιουργεί ένα μηδενικό ή αρνητικό ακαθάριστο κόστος, ή με άλλα λόγια συμβάλλει στην αύξηση του εισοδήματος (ή του ΑΕΠ) και της ποιότητας του περιβάλλοντος, το διπλό μέρισμα χαρακτηρίζεται ως ισχυρό. Σε αυτή την περίπτωση, η εισαγωγή ενός πράσινου φόρου έχει πάντα θετικό οικονομικό αντίκτυπο και οδηγεί σε βελτίωση της ευημερίας, ακόμη και όταν το περιβαλλοντικό μέρισμα είναι αμελητέο. Μεταξύ των παραπάνω εννοιών, το ισχυρό διπλό μέρισμα είναι το πιο σημαντικό, διότι δεν είναι αναγκαίος ο ποσοτικός προσδιορισμός του ακαθάριστου οφέλους, γι' αυτό και αποτελεί θέμα ευρείας μελέτης στη θεωρητική βιβλιογραφία. Ειδικά για τις ευρωπαϊκές χώρες, το διπλό μέρισμα επικεντρώνεται κυρίως στην απασχόληση (De Mooij 2000) ως συνέπεια του υψηλού ποσοστού ανεργίας (Ciaschini et al. 2012).

¹ Ο Bosquet (2000) επισημαίνει τη σημασία της διάκρισης μεταξύ ευημερίας και απασχόλησης, καθώς οι μεταβολές που επιφέρει μία ΠΦΜ σε αυτές δεν συμπίπτουν κατ' ανάγκη. Η δημιουργία θέσεων απασχόλησης ή η μείωση της ανεργίας, για παράδειγμα, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι έχει αυξηθεί η ευημερία. Θα μπορούσε να επιτευχθεί ένα όφελος στην απασχόληση, χωρίς αντίστοιχο όφελος ευημερίας και, αντίθετα, θα μπορούσε να αυξηθεί η ευημερία, χωρίς αυτό να μεταφράζεται σε αύξηση των θέσεων απασχόλησης.

Η ουδετερότητα των περιβαλλοντικών φορολογικών εσόδων

Η φορολογική μεταρρύθμιση του περιβάλλοντος έχει σχεδιαστεί, ώστε να είναι ουδέτερη από άποψη εσόδων, με την έννοια ότι όλα τα έσοδα που προέρχονται από περιβαλλοντικούς φόρους επιστρέφουν στην οικονομία, μέσω αντίστοιχων μηχανισμών ανακύκλωσης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ώστε η δημοσιονομική θέση να είναι αμετάβλητη και η συνολική φορολογική επιβάρυνση να παραμένει η ίδια (EEA 2005, Dresner et al. 2006a, Bassi et al. 2009, Mazza & Brink 2013, Oueslati et al. 2016). Κατά τους Hruška & Dvořáková (2013), μία ΠΦΜ οφείλει να μετατοπίζει το φορολογικό βάρος από την εργασία και το κεφάλαιο προς τις ρυπογόνες δραστηριότητες, να ακολουθεί την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και την αρχή της ουδετερότητας των εσόδων. Με άλλα λόγια, μία ΠΦΜ βασιζόμενη σε ένα σύστημα ανακύκλωσης των εσόδων αποτελεί μία win-win στρατηγική που θα μπορούσε να επιτύχει δύο στόχους σε έναν (ταυτόχρονα περιβαλλοντικά οφέλη και οικονομική αποτελεσματικότητα), χωρίς πρόσθετο κόστος (Migliavacca 2006). Η μη ανακύκλωση των φορολογικών εσόδων καθιστά τη φορολογία πιο δαπανηρή συγκριτικά με τις κανονιστικές ρυθμίσεις (Daughbjerg & Svendsen 2003, Heine et al. 2012).

Κριτική περί του διπλού μερίσματος

Η ύπαρξη του διπλού μερίσματος είναι σημαντική για μία ΠΦΜ, επειδή υπονοεί ότι το περιβάλλον μπορεί να βελτιωθεί χωρίς κόστος για την οικονομία. Το πρώτο μέρισμα (περιβαλλοντικό) εντοπίζεται σε όλες τις εργασίες (Bovenberg & de Mooij 1994, Goulder 1995, Bovenberg & Goulder 1996, Bosquet 2000, Holmlund & Kolm 2000, Labandeira et al. 2004, German Federal Environment Agency 2005, Agnolucci 2009, Lutz & Meyer 2010, De Miguel & Manzano 2011b, Ciaschini et al. 2012, Oueslati 2013, Grdinić et al. 2015, Pereira & Pereira 2015 κ.ά.), ενώ η ύπαρξη και ιδιαίτερα η επίτευξη του δεύτερου μερίσματος (μέρισμα απόδοσης) αποτελεί αμφιλεγόμενο ζήτημα στην οικονομική βιβλιογραφία και κεντρικό θέμα της οικονομικής πολιτικής συζήτησης (Bosquet 2000, Manresa & Sancho 2005, Kosonen & Nicodème 2009, De Miguel & Manzano 2011a,b).

Ο ΟΟΣΑ (2004), εξετάζοντας διάφορα μοντέλα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το διπλό μέρισμα είναι εφικτό και εξαρτάται από το υπάρχον φορολογικό σύστημα και την αγορά εργασίας. Η αλληλεπίδραση των πράσινων φόρων με άλλους στρεβλωτικούς φόρους μπορεί να έχει θετική επίδραση στην απασχόληση (μέσω της ανακύκλωσης των εσόδων).

Κατά τους Takeda (2007) και Ciaschini et al. (2012), η δυνατότητα ανίχνευσης ενός διπλού μερίσματος είναι ρεαλιστική, αλλά αυτό εξαρτάται από το προ-υπάρχον φορολογικό σύστημα, την τεχνολογία παραγωγής και κυριότερα από τη δομή της φορολογικής μεταρρύθμισης. Για αυτό, το διπλό μέρισμα μπορεί να διαφέρει μεταξύ των περιοχών μίας χώρας που χαρακτηρίζεται από οικονομικές διαφορές σε περιφερειακό και κοινωνικό επίπεδο ή θα μπορούσε ακόμη και να μην επιτευχθεί για όλες τις περιοχές όπου υλοποιείται η ΠΦΜ.

Ο Agnolucci (2009) συμπεραίνει ότι η ΠΦΜ συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας (περιβαλλοντικό μέρισμα), ενώ έχει μικρή επίδραση σε επίπεδο απασχόλησης, η οποία μπορεί να είναι θετική ανάλογα με το μέγεθος της μείωσης του κόστους εργασίας και την αξία της σταυροειδούς ελαστικότητας των τιμών.

Οι Lutz & Meyer (2010), σε μελέτη τους για την εφαρμογή μίας ΠΦΜ σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες και την επίδρασή της στις εκπομπές CO₂, και την οικονομία, καταλήγουν

στο συμπέρασμα ότι είναι εφικτή η μείωση των εκπομπών CO₂ με αύξηση της απασχόλησης και μικρές απώλειες στο ΑΕΠ.

Οι Fernandez et al. (2011) αναφέρουν ότι είναι εφικτό να επιτευχθεί ένα διπλό μέρισμα στα πλαίσια μίας ΠΦΜ. Μία χώρα θα μπορούσε να αποθαρρύνει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων και να ενισχύσει την ενεργειακή αποδοτικότητα, μέσω της αύξησης των φόρων επί της ενέργειας, σε συνδυασμό με τη μείωση του φόρου εισοδήματος και την έκδοση χρέους. Θεωρούν ότι αυτή η μετατόπιση της φορολογικής επιβάρυνσης από το παρόν στο μέλλον είναι δίκαιη, δεδομένου ότι οι σημερινές γενιές φέρουν το κόστος της περιβαλλοντικής μεταρρύθμισης, ενώ οι μελλοντικές γενιές θα επωφεληθούν από ένα καθαρότερο περιβάλλον.

Ο Goulder (1995) επισημαίνει την ύπαρξη ενός ασθενούς διπλού μερίσματος, αλλά τονίζει ότι η υπόθεση ενός ισχυρού διπλού μερίσματος μέσω μίας πράσινης φορολογικής μεταρρύθμισης δεν είναι καθόλου εγγυημένη και ότι το περιβαλλοντικό όφελος ενδεχομένως να είναι αβέβαιο και να βρίσκεται μακριά στο μέλλον.

Οι Bovenberg & De Mooij (1994) και Bovenberg & Goulder (1996, 2002) σε μελέτες τους έδειξαν ότι οι περιβαλλοντικοί φόροι αλληλεπιδρούν με το υπάρχον σύνολο των έμμεσων φόρων και οδηγούν σε ένα λιγότερο αποτελεσματικό φορολογικό σύστημα. Είναι ουσιαστικά στρεβλωτικοί φόροι επί της εργασίας που οδηγούν σε απώλεια ευημερίας. Ο αντίκτυπος στα πραγματικά εισοδήματα των εργαζομένων είναι ίδιος, όπως και με κάθε άλλον στρεβλωτικό φόρο, ή ακόμη μεγαλύτερος, δεδομένης της στοχευόμενης φύσης τους και επομένως θεωρούν αδύνατη την επίτευξη ενός διπλού μερίσματος. Συγκεκριμένα, η επιβολή των εν λόγω φόρων αυξάνει τις τιμές στα αγαθά που καταναλώνουν οι εργαζόμενοι, μειώνοντας τον πραγματικό μισθό τους. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί σε μείωση της προσφοράς εργασίας. Ανακύκλωση των εσόδων από τον περιβαλλοντικό φόρο μέσω της μείωσης των φόρων εργασίας οδηγεί σε αύξηση του πραγματικού μισθού και επομένως την αύξηση της προσφοράς εργασίας. Ωστόσο, η μειωμένη ζήτηση για το ρυπογόνο αγαθό διαβρώνει τη φορολογική βάση, με επακόλουθο τη μείωση των εσόδων και τον αντίστοιχο περιορισμό στη χρηματοδότηση για τη μείωση της φορολογίας επί της εργασίας, οδηγώντας, εν τέλει, σε μείωση του πραγματικού μισθού, της προσφοράς εργασίας και της απασχόλησης. Επομένως, λόγω της ελαστικότητας της προσφοράς εργασίας, η καθαρή επίδραση της ΠΦΜ είναι συνήθως αρνητική. Κατά τους Fernandez et al. (2011), οι παραπάνω μελέτες των Goulder (1995), Bovenberg & Goulder (1996) και Bovenberg & de Mooij (1994) αποδεικνύουν ότι ένα διπλό όφελος είναι εφικτό στην ασθενή μορφή του, αλλά εξαιτίας του πολύπλοκου συνδυασμού της δομής του φορολογικού συστήματος και των εξωτερικών οικονομικών παραγόντων εκτιμούν πως η επίτευξή του είναι σχετικά απίθανο να συμβεί.

Οι Fullerton & Metcalf (1997) επισημαίνουν ότι η υπόθεση του διπλού μερίσματος δεν είναι βέβαιη σε κάθε περίπτωση αλλά μόνο υπό ορισμένες συνθήκες, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μία ΠΦΜ μπορεί να αυξήσει το βάρος του φορολογικού συστήματος.

Ο Bosquet (2000), ερευνώντας 136 προσομοιώσεις από 56 διαφορετικές μελέτες, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα υπό ορισμένες προϋποθέσεις ένα ισχυρό διπλό μέρισμα είναι εφικτό, ενώ μακροπρόθεσμα τα αποτελέσματα είναι διφορούμενα. Ειδικότερα, όταν η αγορά εργασίας είναι ευέλικτη και τα φορολογικά έσοδα ανακυκλώνονται μέσω της μείωσης των στρεβλωτικών φόρων επί της εργασίας, όπως οι εισφορές κοινωνικής ασφάλισης, αφενός μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (πρώτο μέρισμα) αφετέρου καταγράφονται οριακά κέρδη στην απασχόληση (δεύτερο

μέρισμα) και οριακά κέρδη ή ζημίες στην παραγωγή, ενώ οι επενδύσεις περιορίζονται και οι τιμές αυξάνουν ελαφρώς. Επισημαίνει ότι η μεταρρύθμιση ενδέχεται να προκαλέσει βλάβη σε ενεργοβόρους κλάδους, αλλά αυτό είναι απαραίτητο, προκειμένου η οικονομία να γίνει

ενεργειακά πιο αποδοτική και να επιτύχει τη μείωση των εκπομπών. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί φόροι μπορεί να βλάψουν τα φτωχά νοικοκυριά που δαπανούν μεγάλο μερίδιο του εισοδήματός τους σε ρυπογόνα αγαθά, αλλά αυτό δύναται να αντιμετωπιστεί μέσω της ανακύκλωσης των εσόδων και των κοινωνικά αντισταθμιστικών μέτρων.

Ο De Mooij (2000), χρησιμοποιώντας αρχικά ένα απλό γενικό πλαίσιο ισορροπίας, διαπιστώνει την αποτυχία επίτευξης ενός διπλού μερίσματος, ακόμη και αν τα έσοδα επιστρέφονται μέσω της μείωσης των στρεβλωτικών φόρων της εργασίας. Το ίδιο συμβαίνει και όταν υπάρχει μία μετατόπιση της φορολογικής επιβάρυνσης από την εργασία στο διεθνώς μετακινούμενο κεφάλαιο. Αντίθετα, μία μετατόπιση από την εργασία προς το μη μετακινούμενο κεφάλαιο μπορεί να αποφέρει διπλό μέρισμα. Επίσης, σε περίπτωση μίας μεγάλης οικονομίας που διαθέτει την ισχύ να επηρεάζει τις τιμές των ρυπογόνων εμπορευμάτων στη διεθνή αγορά, οι περιβαλλοντικοί φόροι λειτουργούν ως σιωπηροί εισαγωγικοί δασμοί και καθιστούν εφικτό ένα διπλό μέρισμα. Εν τέλει, εξάγοντας ένα γενικό συμπέρασμα, αναφέρει ότι η επίτευξη ενός διπλού μερίσματος είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί, τονίζοντας ταυτόχρονα πως αυτό δεν θα πρέπει να ερμηνευθεί ως επιχείρημα κατά της εισαγωγής των περιβαλλοντικών φόρων.

Οι Holmlund & Kolm (2000) επισημαίνουν ότι μία περιβαλλοντική φορολογική μεταρρύθμιση παρέχει ένα περιβαλλοντικό μέρισμα, αλλά η υπόθεση ότι αποτελεί μέσο για τη μείωση της ανεργίας φαίνεται αδύναμη, ενώ οδηγεί και σε μείωση του πραγματικού ΑΕΠ.

Κατά τους Bosello et al. (2006), η υπόθεση του διπλού μερίσματος απορρίπτεται, όταν η οικονομία αποτελείται από έναν παραγωγικό τομέα, χρησιμοποιώντας μόνο έναν παραγωγικό συντελεστή (εργασίας) και έναν εκπρόσωπο των καταναλωτών, ενώ οι Proost & Van Regemorter (1995) και Chiroleu-Assouline & Fodha (2014) αναφέρουν ότι η ύπαρξη ενός διπλού μερίσματος εξαρτάται ουσιαστικά από την ετερογένεια των παραγόντων, δηλαδή την ύπαρξη περισσότερων του ενός παραγωγικών συντελεστών ή/και ομάδων καταναλωτών.

Οι Vojáček & Klusák (2007) αναφέρουν ότι, σε περίπτωση που η περικοπή των άμεσων φόρων δεν είναι αρκετά αποτελεσματική (π.χ. λόγω των μεγάλων διοικητικών δαπανών), η ΠΦΜ μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες για την οικονομία, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στη ανταγωνιστικότητα και την ευημερία.

Ο Sandmo (2009) αναφέρει ως μία αξιοσημείωτη αδυναμία του επιχειρήματος υπέρ του διπλού μερίσματος (δηλ. του περιβαλλοντικού οφέλους και της αύξησης της απασχόλησης μέσω της μείωσης του φόρου μισθωτών υπηρεσιών), το γεγονός ότι αγνοεί πλήρως το πρόβλημα της φορολογικής επίπτωσης. Από τη μία πλευρά, οι επιχειρήσεις ευνοούνται από τη μείωση του φόρου μισθωτών υπηρεσιών αυξάνοντας τα κέρδη τους. Από την άλλη, είναι λογικό τα συνδικάτα να διεκδικήσουν μέρος αυτών των κερδών, εντείνοντας τα αιτήματά τους για αυξήσεις των μισθών. Κάτι τέτοιο, όμως, θα οδηγήσει σε μικρότερη ζήτηση για εργασία εκ μέρους των επιχειρήσεων. Επιπλέον, η αύξηση των πράσινων φόρων σε αγαθά όπως η ενέργεια και οι μεταφορές μειώνει τον πραγματικό μισθό των εργαζομένων, αναγκάζοντάς τους να ζητήσουν αντισταθμιστικές αυξήσεις των ονομαστικών μισθών. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το καθαρό αποτέλεσμα μίας ΠΦΜ σχετικά με τους μισθούς και την ανεργία ενδέχεται στην πραγματικότητα να είναι αρκετά μικρό.

Οι De Miguel & Manzano (2011a,b) συμφωνούν ότι το περιβαλλοντικό μέρισμα επιτυγχάνεται πάντοτε, ενώ η ύπαρξη του δεύτερου μερίσματος εξαρτάται από το είδος της μεταρρύθμισης, το μέγεθός της και τον τρόπο υλοποίησής της (άμεση ή σταδιακή εφαρμογή). Η άμεση εφαρμογή της συνεπάγεται βραχυπρόθεσμα μεγάλο κόστος, σε αντίθεση με τη σταδιακή εφαρμογή, που εμφανίζει κέρδη, αν και μακροπρόθεσμα αυτά τείνουν να εξαφανιστούν. Για παράδειγμα, μία απότομη αύξηση της τιμής των καυσίμων θα μπορούσε να δημιουργήσει πληθωριστικές πιέσεις. Παράλληλα, επισημαίνουν ότι οι καταναλωτικές συνήθειες μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις αποφάσεις των ατόμων και κατ' επέκταση τον βαθμό επίτευξης των δύο μερισμάτων. Εάν μία μεταρρύθμιση συνίσταται στην αύξηση του φόρου επί ενός ρυπογόνου αγαθού που καταναλώνεται συχνά, η περιβαλλοντική ευημερία μπορεί να είναι μικρότερη, επειδή τα άτομα, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, είναι απρόθυμα να μειώσουν την κατανάλωσή του. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση του περιβαλλοντικού μερίσματος. Από την άλλη, τα αγαθά αυτά είθισται να έχουν ανελαστική ζήτηση και να παράγουν λιγότερες στρεβλώσεις στην οικονομία.

Ο Oueslati (2013) επισημαίνει ότι οι φορολογικές μεταρρυθμίσεις αποθαρρύνουν επιζήμιες δραστηριότητες για το περιβάλλον, όπως η ρύπανση και η αλόγιστη χρήση των πόρων, και επιδρούν στην ανάπτυξη και την ευημερία. Το μέγεθος των επιδράσεων εξαρτάται από το είδος των φορολογικών μεταρρυθμίσεων και της δημοσιονομικής πολιτικής. Σε περίπτωση που τα έσοδα χρησιμοποιηθούν για τη μείωση φόρου μισθωτών υπηρεσιών και την αύξηση του ποσοστού των δημοσίων δαπανών στο πλαίσιο του ΑΕΠ, βελτιώνουν την ευημερία μακροπρόθεσμα. Βραχυπρόθεσμα τα αποτελέσματα παραμένουν αρνητικά.

Οι Abdullah & Morley (2014) δείχνουν σε μελέτη τους τη μικρή σχέση μεταξύ ΠΦΜ και οικονομικής ανάπτυξης μακροπρόθεσμα, ενώ βραχυπρόθεσμα τα αποτελέσματα είναι αρνητικά.

Επίσης, ο Oueslati (2015) απέδειξε ότι τα έσοδα μίας περιβαλλοντικής φορολογικής μεταρρύθμισης, σε συνδυασμό με μία αλλαγή στη δομή των δημοσίων δαπανών, μπορεί να βελτιώσει την ανάπτυξη και την ευημερία μακροπρόθεσμα, αν και κατά τη μεταβατική φάση (βραχυπρόθεσμα) αυτό συνεπάγεται σχετικά υψηλό κόστος κοινωνικής πρόνοιας.

Ορισμένες ακόμη μελέτες αμφισβητούν, επίσης, τη θεωρία του διπλού μερίσματος, τονίζοντας ότι δεν υπάρχει επαρκής απόδειξη για τη δημιουργία θετικών επιδράσεων στην οικονομία, αντίθετα θεωρείται πιο πιθανή η δημιουργία περαιτέρω στρεβλώσεων, ιδιαίτερα στις αγορές εργασίας και κεφαλαίου (λ.χ. αύξηση του κόστους παραγωγής και μετακύλιση του στους καταναλωτές), που οδηγούν σε απώλεια ευημερίας (Parry 1995, Heine et al. 2012). Επομένως, η επιχειρηματολογία περί του διπλού μερίσματος ενδέχεται να μην λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι ένας περιβαλλοντικός φόρος μπορεί να προκαλεί στρεβλώσεις στις φορολογικές βάσεις με αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομική δραστηριότητα (OECD 2010).

Η Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση στην ΕΕ

Η ιδέα της «πράσινης» φορολογικής μεταρρύθμισης υιοθετήθηκε από την ΕΕ το έτος 1993, όταν η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τη Λευκή Βίβλο για την ανάπτυξη, την ανταγωνιστικότητα και την απασχόληση, υποσχόμενη ένα διπλό όφελος: αφενός την προστασία του περιβάλλοντος αφετέρου την οικονομική πρόοδο μέσω της μείωσης του φόρου επί της εργασίας (Commission of the European Communities 1993). Η σημασία της ΠΦΜ έχει αναγνωριστεί στα πλαίσια της στρατηγικής της ΕΕ για την αειφόρο ανάπτυξη ως

εργαλείο για την επίτευξη των στόχων της ενεργειακής πολιτικής για το κλίμα (European Commission 2010).

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται δύο γενιές ΠΦΜ που διαφέρουν τόσο στον καθοδηγητικό σχεδιασμό όσο και στις διαδικασίες ανακύκλωσης των εσόδων. Η πρώτη γενιά ΠΦΜ εφαρμόστηκε από τη Φινλανδία (1990), τη Σουηδία (1991), τη Νορβηγία (1992) και την Ολλανδία (1992), επικεντρώθηκε στους φόρους άνθρακα και τα εν λόγω έσοδα χρησιμοποιήθηκαν κύρια στη μείωση του φόρου εισοδήματος. Περιλάμβανε πολλές εξαιρέσεις για τους τομείς εντάσεως ενέργειας, προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη μετεγκατάσταση των αντίστοιχων επιχειρήσεων. Η δεύτερη γενιά ορίστηκε για πρώτη φορά από τη Φινλανδία στα τέλη της δεκαετίας του 1990, με μεγαλύτερη έμφαση στην αύξηση των συμβατικών ενεργειακών φόρων και στοχευόμενη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης που επηρεάζουν άμεσα το κόστος της εργασίας. Ακολούθησαν το 1996 οι Κάτω Χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο και το 1999 η Γερμανία, με μία φιλόδοξη φορολογική μεταρρύθμιση, η οποία επικεντρώθηκε στην επέκταση και την αύξηση των φόρων επί της ενέργειας για τους τελικούς καταναλωτές και την επακόλουθη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης (Gago et al. 2014).

Σήμερα, οι παραπάνω χώρες ξεχωρίζουν, με βάση την εμπειρία τους, ως ηγέτιδες στον τομέα των ΠΦΜ και αποτελούν σημαντικό παράδειγμα για τα υπόλοιπα κράτη-μέλη στο πλαίσιο της διαδικασίας «πρασινίσματος» των εθνικών φορολογικών συστημάτων τους (Kurtinaitytė-Venediktovienė et al. 2014). Είναι χαρακτηριστικό ότι τα τελευταία χρόνια έχουν συσταθεί 19 σχετικές επιτροπές (Green Tax Commissions) σε ευρωπαϊκές χώρες και οκτώ κράτη-μέλη έχουν υιοθετήσει εκτεταμένες «πράσινες φορολογικές μεταρρυθμίσεις» (Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ολλανδία, Πορτογαλία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο), ενώ στοιχεία τέτοιων μεταρρυθμίσεων εφαρμόζονται στην Ιρλανδία (φόρος άνθρακα, χρέωση στις πλαστικές σακούλες) και την Ιταλία. Από τα δώδεκα νέα κράτη-μέλη της ΕΕ μόνο δύο (η Εσθονία και η Τσεχία) εξήγγειλαν ρητά και εφαρμόζουν μία ΠΦΜ. Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει απευθύνει συστάσεις στα περισσότερα κράτη-μέλη να προχωρήσουν σε ανάλογες μεταρρυθμίσεις (Speck & Jilkova 2010, Ercolano et al. 2014, Ζαχαριάδης 2015).

Όσον αφορά τον τρόπο προσέγγισης των ΠΦΜ, παρατηρείται ότι διαφέρει μεταξύ των κρατών-μελών της ΕΕ. Ορισμένα κράτη έχουν επικεντρωθεί σε περιορισμένο αριθμό φορολογικών βάσεων, ενώ άλλα υιοθετούν μία ευρύτερη προσέγγιση. Για παράδειγμα, στα πλαίσια επίτευξης των στόχων της πολιτικής για το κλίμα, η πλειοψηφία των χωρών της ΕΕ επιβάλλει φόρους οχημάτων. Αντίθετα, η Πολωνία και η Βουλγαρία χρησιμοποιούν φόρους οχημάτων, χωρίς να χρησιμοποιούν ως φορολογική βάση το CO₂, ενώ η Λιθουανία και η Εσθονία μέχρι το 2014 δεν εφαρμόζουν τέτοιους φόρους. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί φορολογικοί συντελεστές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των χωρών της ΕΕ (Kurtinaitytė-Venediktovienė et al. 2014). Ακόμη, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τομέα της ουδετερότητας των εσόδων, δηλαδή της χρήσης των περιβαλλοντικών εσόδων για τη μείωση άλλων φόρων. Για παράδειγμα, η φινλανδική ΠΦΜ δεν σχεδιάστηκε να είναι ουδέτερη από πλευράς εσόδων, ενώ τα έσοδα της γερμανικής ΠΦΜ χρησιμοποιήθηκαν για την εδραίωση του ομοσπονδιακού προϋπολογισμού (International Institute For Labour Studies 2011). Παρακάτω παρατίθενται τα κύρια χαρακτηριστικά των ΠΦΜ σε ορισμένες χώρες της ΕΕ:

Η βρετανική προσέγγιση έχει ως σημεία αναφοράς τα έτη 1996, 2001 και 2002. Αποτελείται από μία ευρεία χρήση περιβαλλοντικών φόρων που σχετίζονται με τομείς εκτός της ενέργειας (π.χ. φόρος για υγειονομική ταφή, φόρος αδρανών υλικών) και από την εισαγωγή

ενεργειακών φόρων επί των καυσίμων των μεταφορών, καθώς και επί των εμπορικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων (λ.χ. η εισφορά για την κλιματική αλλαγή). Σχεδιάστηκε με τρόπο, ώστε να είναι ουδέτερη από πλευράς εσόδων. Το 1990, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου εισήγαγε έναν φόρο επί των ορυκτών καυσίμων (Fossil Fuel Levy) που αφορούσε την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά, τα έσοδα αυτού του φόρου χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για την επιδότηση της πυρηνικής ενέργειας και λιγότερο για την υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μετά το 1998, χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για την ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από το 2003, το ποσοστό του φόρου έχει ρυθμιστεί στο μηδέν, ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι ο φόρος έχει καταργηθεί. Το 2001, εισήχθη ένας νέος φόρος από την κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου, η εισφορά για την κλιματική αλλαγή, που αφορούσε τη μη οικιακή χρήση της ενέργειας. Τα έσοδα από την εν λόγω εισφορά έχουν ανακυκλωθεί πίσω στις επιχειρήσεις, μέσω της μείωσης των φορολογικών εισφορών που καταβάλλουν οι εργοδότες. Μία έκπτωση 80% έχει εισαχθεί για τις βιομηχανίες εντάσεως ενέργειας (Agnolucci 2009, Speck & Jilkova 2010, Gago et al. 2014).

Η γαλλική προσέγγιση θεωρήθηκε ως μία από τις σημαντικότερες πολιτικές αποφάσεις στη χώρα. Ξεκίνησε το 1999, στα πλαίσια των δεσμεύσεων της γαλλικής κυβέρνησης για την υλοποίηση του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αφορούσε την εισαγωγή ενός ενεργειακού φόρου με την ονομασία «Taxe Generale sur les Activites Polluantes» (TGAP) και επρόκειτο να υλοποιηθεί μέχρι το 2001. Ο σκοπός του φόρου ήταν να ενοποιήσει και να απλοποιήσει ένα σύνολο υφιστάμενων τελών (επί βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, του πετρελαίου και του θορύβου) και να εφαρμόσει έναν ενεργειακό φόρο επί των ενεργοβόρων επιχειρήσεων που θα απέφερε τα 75% των εσόδων του TGAP. Εξαιρούνταν από τη φορολογία οι τομείς της γεωργίας, της αλιείας, της δασοκομίας, των οδικών μεταφορών, η παραγωγή ενέργειας και η χρήση ενέργειας για θέρμανση. Τα έσοδα θα χρησιμοποιούνταν για τη μείωση των κοινωνικών εισφορών επί της εργασίας παράλληλα με την εφαρμογή της 35ωρης εβδομαδιαίας απασχόλησης.

Ωστόσο, η γαλλική ΠΦΜ τερματίστηκε άδοξα τον Δεκέμβριο του 2000 με απόφαση του Συνταγματικού Δικαστηρίου της χώρας, που έκρινε την πρόταση ως αντισυνταγματική, επειδή περιείχε πάρα πολλές εξαιρέσεις. Όμως, οι κύριοι λόγοι της αποτυχίας οφείλονταν στο γεγονός ότι οι υπεύθυνοι λήψης των αποφάσεων δεν έλαβαν υπόψη τις απόψεις της κοινής γνώμης και των επιχειρήσεων. Ο TGAP παρουσιάστηκε ως πρόσθετη φορολογική επιβάρυνση για τον βιομηχανικό κλάδο και όχι ως ένας νέος φόρος, μέρος μίας συνολικής στρατηγικής μίας ΠΦΜ. Οι επιχειρηματίες δεν ήταν καλά ενημερωμένοι σχετικά με το διπλό μέρισμα που επρόκειτο να λάβουν. Επίσης, οι επηρεαζόμενες επιχειρήσεις δεν θα επωφελούνταν από τη μείωση των εισφορών επί της εργασίας, λόγω του σχετικά μικρού εργατικού δυναμικού τους και της υψηλής ειδίκευσης αυτού (οι μειώσεις επικεντρώνονταν σε εργατικό δυναμικό χαμηλής ειδίκευσης). Τέλος, το ευρύ κοινό ήταν αντίθετο στην εφαρμογή οικονομικών εργαλείων και θεωρούσε τον Κανονισμό ως τη μόνη δίκαιη πολιτική (Deroubaix. & Lénéque 2006).

Η γερμανική προσέγγιση αποτέλεσε αντικείμενο συζητήσεων στη Γερμανία από τη δεκαετία του 1980, εισήχθη τελικά το 1999, αναπτύχθηκε περαιτέρω το 2003 και επεκτάθηκε το 2004 (δύο φάσεις). Χαρακτηριστικό της γερμανικής ΠΦΜ ήταν το γεγονός ότι αρχικά δεν περιλάμβανε έναν φόρο άνθρακα (επιβλήθηκε τελικά το 2007), αλλά αφορούσε τη σταδιακή αύξηση των υφιστάμενων φόρων ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, στα ορυκτέλαια των καυσίμων μεταφορών, στο φυσικό αέριο και την επιβολή νέων φόρων στα

καύσιμα θέρμανσης, το βαρύ μαζούτ, και (κυρίως) την οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά τη δεύτερη φάση (2004), δόθηκε έμφαση στη μείωση των επιβλαβών για το περιβάλλον επιδοτήσεων και άλλων φορολογικών μειώσεων. Κύριοι στόχοι ήταν: α) η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η ορθολογική χρήσης της, με συνακόλουθη τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, β) η ενθάρρυνση της υιοθέτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γ) η προώθηση καινοτομιών και νέων τεχνολογιών, δ) ο περιορισμός των οικονομικών πιέσεων στο δημόσιο συνταξιοδοτικό σύστημα και ε) η μείωση του μισθοδοτικού κόστους. Είχαν προβλεφθεί απαλλαγές και μειώσεις φορολογικών συντελεστών για τον βιομηχανικό-μεταποιητικό τομέα (αρχικά 80%, με την προϋπόθεση ότι η κατανάλωση θα ήταν πάνω από ένα ελάχιστο όριο, ενώ το 2003 η μείωση περιορίστηκε στο 40%), τη γεωργία, την αλιεία και τη δασοκομία, καθώς και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πετρελαιοειδή και φυσικό αέριο. Μία μείωση 50% ίσχυε για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ορυκτελαίων στις δημόσιες μεταφορές. Ειδικές εξαιρέσεις ίσχυαν για οικολογικά αποδοτικές τεχνολογίες και για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η φορολογική μεταρρύθμιση είχε σχεδιαστεί να εισαχθεί σταδιακά μέχρι το 2005 και να είναι ουδέτερη από άποψη εσόδων (στην πράξη μέρος των εσόδων χρησιμοποιήθηκε για τη στήριξη του ομοσπονδιακού προϋπολογισμού), μέσω της αντίστοιχης μείωσης των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης (ειδικότερα των συνταξιοδοτικών), ομοιόμορφα κατανομημένα μεταξύ των εργαζομένων και των εργοδοτών. Το 2003, περίπου το 90% των εσόδων της ΠΦΜ κατευθύνθηκε στο δημόσιο συνταξιοδοτικό σύστημα. Το δυνητικό όφελος για τους εργοδότες και τους εργαζομένους είναι ένα μειωμένο ποσοστό εισφορών, από 20,3% το 1998 σε 19,5% το 2005 (German Federal Environment Agency 2005, Agnolucci 2009, Speck & Jilkova 2010, Heine et al. 2012).

Το κόστος της μεταρρύθμισης ήταν μικρότερο συγκριτικά με τα φορολογικά έσοδα που επέφερε, επειδή οι διοικητικές δαπάνες ήταν μικρές [εκτιμήθηκε ότι αντιστοιχούσαν μόνο στο 0,13% των εισπραττόμενων εσόδων (Schlegelmilch & Joas 2015)] και το μεγαλύτερο μέρος των εσόδων χρησιμοποιήθηκε για τη μείωση του μη μισθολογικού κόστους της εργασίας. Η ΠΦΜ συνέβαλε στη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 2-5% έως το 2005, στη μείωση της κατανάλωσης των καυσίμων μεταφοράς κατά 17% μέχρι το 2008, στην αύξηση της απασχόλησης με τη δημιουργία 250.000 επιπλέον θέσεων εργασίας και την αύξηση του ΑΕΠ (German Federal Environment Agency 2005, Cottrell et al. 2010). Ωστόσο, η γερμανική ΠΦΜ δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική και δεν προχώρησε όπως αναμενόταν επειδή: α) απέκλειε έναν φόρο άνθρακα, β) τμήματα του πληθυσμού δεν είχαν κατανοήσει επαρκώς τον τρόπο που η ΠΦΜ συνδέει τις αυξήσεις των τιμών επί της ενέργειας και τη μείωση του κόστους εργασίας, γεγονός που οφείλεται κύρια στην ελλιπή δημόσια συζήτηση και ειδησεογραφική κάλυψη του θέματος (German Federal Environment Agency 2005), γ) θεωρήθηκε φορολογικά οπισθοδρομική (Heine et al. 2012) και δ) πιθανόν εξαιτίας της δημόσιας δυσaráρεσκείας και του φόβου των αρνητικών επιπτώσεων στην ανταγωνιστικότητα (Gago et al., 2014), παρά τα αντίθετα εμπειρικά στοιχεία (Ludewig et al. 2010).

Η δανική προσέγγιση αρχικά περιλάμβανε την εισαγωγή ενός φόρου CO₂ για την κατανάλωση ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλεκτρική ενέργεια) από τα νοικοκυριά (1992) και τις επιχειρήσεις (1993). Η δανική ΠΦΜ μπορεί να διακριθεί σε τρεις φάσεις: η πρώτη αρχίζει το 1993, καλύπτοντας τη χρονική περίοδο 1994-1998, και απευθύνεται κυρίως στον τομέα των νοικοκυριών, η δεύτερη το 1995 και καλύπτει τα έτη 1996-2000 και η τρίτη εντοπίζεται το 1998 και αφορά τα έτη 1999-2000. Κατά την πρώτη περίοδο, εισήχθησαν πρόσθετοι περιβαλλοντικοί φόροι, όπως ο φόρος για το νερό της βρύσης, ο φόρος λυμάτων και ο φόρος στις πλαστικές και χάρτινες σακούλες, με ταυτόχρονη μείωση του προσωπικού

φόρου εισοδήματος. Κατά τη δεύτερη φάση και από το 1996, εισήχθησαν φόροι επί του φυσικού αερίου και επί της περιεκτικότητας των καυσίμων σε διοξείδιο του θείου (SO₂).

Για την προστασία της ανταγωνιστικότητας, προβλέπονται ειδικές φορολογικές διατάξεις για τον βιομηχανικό τομέα. Κατά την περίοδο 1993-1995, χορηγήθηκε μείωση του φόρου CO₂ των επιχειρήσεων σε ποσοστό 50%. Δόθηκαν πρόσθετες αποζημιώσεις σε κάθε εταιρεία, ανάλογα με τον βαθμό χρήσης της ενέργειας, με τις επιχειρήσεις εντάσεως ενέργειας να λαμβάνουν επιπλέον εκπτώσεις φόρου. Ένα μέρος των εσόδων διατέθηκε για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των δημοσίων έργων ενέργειας. Από το 1995, απαλλάσσεται η χρήση ενέργειας για τις βαριές διαδικασίες των βιομηχανιών εντάσεως ενέργειας και επιβάλλεται φόρος για ελαφριές διαδικασίες και για τη θέρμανση. Τα έσοδα που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για: α) τη μείωση των εργοδοτικών εισφορών και τη σύσταση ειδικού ταμείου για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, β) τη μείωση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών φόρων στα χαμηλότερα και μεσαία εισοδηματικά στρώματα, π.χ. με την αυξημένη υποστήριξη του παιδιού, την ενίσχυση των συνταξιούχων, τη μείωση των φόρων εισοδήματος φυσικών προσώπων και τη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης. Οι εκπομπές CO₂ μεταξύ των ετών 1990 και 2001 μειώθηκαν κατά 24% και του SO₂ κατά 80% μεταξύ των ετών 1995 και 2000 (Wiera et al. 2005, Cottrell et al. 2010, Speck & Jilkova 2010).

Η εσθονική προσέγγιση εφαρμόστηκε το 2006 με την επιβολή ενός φόρου στον άνθρακα, το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια, με παράλληλη μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων και επεκτάθηκε το 2009 με την αύξηση του φόρου μεταφορών (Ercolano et al. 2014).

Η ιταλική προσέγγιση εισήχθη το 1998, στα πλαίσια εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Κιότο, με την επιβολή ενός φόρου άνθρακα και αφορούσε τη μείωση των εκπομπών CO₂. Ήταν ένας προσεκτικά σχεδιασμένος φόρος που κύριο στόχο είχε την τροποποίηση των τιμών των καυσίμων με περιεκτικότητα άνθρακα, προκειμένου να ενθαρρυνθεί η σταδιακή υποκατάσταση του πετρελαίου από το φυσικό αέριο. Ο νόμος εκτιμούσε ότι τα έσοδα από τον φόρο θα ανέρχονταν περίπου σε 1,1 δις ευρώ το 1999 και 5,4 δισεκατομμύρια ευρώ το 2005. Προέβλεπε ότι κατά το πρώτο έτος θα πρέπει: α) το 60,5% των εσόδων να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των εργοδοτικών εισφορών ή την κάλυψη των κοινωνικών εισφορών για νέες προσλήψεις στο νότιο τμήμα της Ιταλίας (λόγω του υψηλού ποσοστού ανεργίας), β) το 31,1% των εσόδων να δαπανηθεί για την αποκατάσταση των περιβαλλοντικών ζημιών και γ) το υπόλοιπο 8,4% για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Στο τέλος του πρώτου έτους εφαρμογής του φόρου, τα έσοδα ανήλθαν περίπου σε 1,2 δισεκατομμύρια ευρώ, εκ των οποίων 681 εκ. ευρώ χρησιμοποιήθηκαν για τη μείωση της φορολογίας της εργασίας, 353 εκ. ευρώ για τη μείωση άλλων φόρων και 154 εκ. ευρώ σε έργα προστασίας του περιβάλλοντος. Ωστόσο, παρά τα θετικά αποτελέσματα, η εφαρμογή του φόρου ανεστάλη, λόγω της μεγάλης αύξησης της τιμής του πετρελαίου (Miglianacca 2006).

Οι Κάτω Χώρες (ιδιαίτερα η Ολλανδία) είναι πρωτοπόρες στην περιβαλλοντική φορολογία και περίπου το 10% των συνολικών φορολογικών εσόδων προέρχεται από πράσινους φόρους. Η ολλανδική προσέγγιση περιλαμβάνει πολλές φάσεις και αναθεωρήσεις, αρχής γενομένης από το 1991, με την «επίσημη» ΠΦΜ να εντοπίζεται το 1998 και να προορίζεται να είναι ουδέτερη από πλευράς εσόδων. Περιλαμβάνει φόρους επί της ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Αφορά κυρίως την έμμεση φορολόγηση της κατανάλωσης ενεργειακών προϊόντων, όπως τα καύσιμα κινητήρων (βενζίνη και ντίζελ), το φυσικό αέριο για την

παραγωγή ενέργειας και η ηλεκτρική ενέργεια. Επικεντρώνεται κύρια σε μικρούς χρήστες, ειδικότερα τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά, εξαιτίας της μικρής ανοικτής οικονομίας και των ανησυχιών σχετικά με τη διεθνή ανταγωνιστικότητα των εγχώριων επιχειρήσεων (για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις είναι πιο δύσκολη η μεταφορά δραστηριοτήτων σε άλλες χώρες). Παρέχονται φορολογικές απαλλαγές για τη χρήση καυσίμων στον αεροπορικό και ναυτιλιακό τομέα και για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ηλιακή και αιολική) από μικρούς χρήστες. Μεγάλο μέρος των εσόδων επιστρέφει στα νοικοκυριά, μέσω μείωσης των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης και του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων (Speck & Jilkova 2010, Vollebergh 2014). Αυτή η ανακύκλωση των εσόδων αποτελεί μία μορφή επιδοτήσεων προς τις βιομηχανίες, που σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές επιδοτήσεις, προστατεύουν την ανταγωνιστικότητα των εγχώριων βιομηχανιών στη διεθνή αγορά. Από την άλλη, όμως, προκαλεί προβλήματα εισοδηματικής διανομής εις βάρος των μικρών φορολογουμένων, έχοντας ως στόχο περισσότερο την ανακατανομή και λιγότερο την αλλαγή της συμπεριφοράς (Faure et al. 2006).

Η πορτογαλική προσέγγιση είναι πρόσφατη και αφορά την επιβολή ενός φόρου άνθρακα που ψηφίστηκε στις αρχές του 2015. Το 2014, η πορτογαλική κυβέρνηση διόρισε μία Επιτροπή για τη Φορολογική Μεταρρύθμιση του περιβάλλοντος που διατύπωσε μία ολοκληρωμένη πρόταση για την επιβολή ενός φόρου άνθρακα και αποσκοπούσε, μέσω της ανακύκλωσης των εσόδων, στην επίτευξη τριών μερισμάτων: α) τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 κατά 40% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (περιβαλλοντικό μέρισμα), β) τη μακροπρόθεσμη ενίσχυση της απασχόλησης και του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος πάνω από τα προ άνθρακα επίπεδα και γ) την ενίσχυση των δημόσιων οικονομικών με τη μείωση του δημόσιου χρέους. Ωστόσο, η πορτογαλική κυβέρνηση ήταν απρόθυμη να δεσμευτεί για την πλήρη ανακύκλωση των εσόδων ή την ενίσχυση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Το 2015, τα έσοδα από τον φόρο άνθρακα δαπανήθηκαν αποκλειστικά για τη μείωση του φόρου εισοδήματος των φυσικών προσώπων, ενώ η απόφαση για την ανακύκλωση των εσόδων τα επόμενα χρόνια έμεινε να εκκρεμεί. Αυτό ενδέχεται να οδηγήσει σε αρνητικές οικονομικές και δημοσιονομικές συνέπειες, επιτυγχάνοντας τελικά μόνο το περιβαλλοντικό μέρισμα (Pereira et al. 2016).

Η Σλοβενία (μη επίσημη ΠΦΜ) είναι η πρώτη χώρα της Ανατολικής Ευρώπης που εισήγαγε έναν φόρο CO₂ το 1997. Μέχρι το 1997, επιβάλλονταν φόροι κατ' αξία επί των ενεργειακών προϊόντων. Μετά το 1997, εγκαταλείφθηκαν οι φόροι αξίας (εκτός από τα καύσιμα κίνησης, που καταργήθηκαν το 1999) και εγκρίθηκαν φόροι προστιθέμενης αξίας και ειδικοί φόροι κατανάλωσης επί των ενεργειακών προϊόντων. Αυξήθηκε ο αριθμός των ενεργειακών αγαθών, επί των οποίων επιβάλλονται περιβαλλοντικοί φόροι και αναγνωρίζονται μειώσεις φόρου σε επιχειρήσεις. Τα φορολογικά έσοδα δεν ανακυκλώνονται, αν και σχεδιαζόταν η χρήση μέρους των εσόδων για τη συγχρηματοδότηση των επενδύσεων στην ενεργειακή απόδοση και τη μείωση των εκπομπών. Γενικά τα έσοδα από άλλους περιβαλλοντικούς φόρους προορίζονται για συγκεκριμένες περιβαλλοντικές επενδύσεις (Speck & Jilkova 2010).

Η σουηδική προσέγγιση ξεκίνησε το 1991 και ήταν η πρώτη μεγάλη ΠΦΜ στην Ευρώπη. Περιλαμβάνει κύρια δύο φάσεις, η πρώτη άρχεται το 1991 και η δεύτερη το 2001 (καλύπτει τα έτη 2001 έως 2010). Προορίζονταν να είναι δημοσιονομικά ουδέτερη σε μακροπρόθεσμη βάση, ενώ ήταν αποδεκτά τα ελλείμματα σε βραχυχρόνια περίοδο. Προέβλεπε την εισαγωγή ανάντη φόρων CO₂ SO₂ επί του φυσικού αερίου και του πετρελαίου και ενός κατάντη φόρου

επί των βιομηχανικών εκπομπών NO_x που επιβλήθηκαν μεταξύ των ετών 1991-1992. Οι αυξήσεις αυτές αντισταθμίστηκαν, εν μέρει, από τη μείωση των έμμεσων φόρων στα καύσιμα, του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων, τη μείωση των ασφαλιστικών εισφορών εργοδοτών και αυτοαπασχολούμενων και από την επιστροφή εσόδων σε βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που παράγουν. Εξαιρέθηκαν τα βιοκαύσιμα, η τύρφη και τα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο φόβος να πληγεί η ανταγωνιστικότητα των εγχώριων βιομηχανιών οδήγησε το 1992 τις κυβερνήσεις να χορηγήσουν στον βιομηχανικό τομέα πλήρη απαλλαγή από τους παραδοσιακούς φόρους ενέργειας. Το 2000, επιβλήθηκαν ενεργειακοί φόροι στον βιομηχανικό κλάδο, με τα αντίστοιχα έσοδα να ανακυκλώνονται στη μείωση των φόρων επί της ενέργειας στη γεωργία και τη χρηματοδότηση της συνεχούς εκπαίδευσης του εργατικού δυναμικού. Από το 2004 και μετά, οι εν λόγω βιομηχανίες υποχρεούνται να πληρώνουν μόνο το 21% των φορολογικών συντελεστών που προβλέπονται για τον φόρο άνθρακα, ενώ για τα εργοστάσια που «καλύπτονται» από το Σύστημα Εμπορίας Ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης ο φορολογικός συντελεστής μειώθηκε σταδιακά στο 15%. Οι βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαλλάσσονται πλήρως από όλους τους διορθωτικούς φόρους, εκτός από τον φόρο SO₂. Μειονέκτημα αποτελεί η προβληματική προσαρμογή των φορολογικών συντελεστών κατά την πάροδο του χρόνου. Οι φόροι SO₂ και NO_x έχουν καθοριστεί σε ονομαστικούς όρους από το 1991, μειωμένη σε πραγματικές τιμές κατά περίπου 35%, ενώ ο φόρος CO₂, παρόλο που έχει προσαρμοστεί με βάση τον ρυθμό πληθωρισμού, αυτό έχει συμβεί σποραδικά και όχι σε ετήσια βάση (Bosquet 2000, EEA 2005, Speck & Jilkova 2010, Heine et al. 2012).

Τα αποτελέσματα της ΠΦΜ υπήρξαν ενθαρρυντικά, καθώς ο φόρος άνθρακα συνετέλεσε στη δυναμική επέκταση της βιοενέργειας στη δεκαετία του 1990, ιδίως για την παραγωγή τηλεθέρμανσης (EEA 2005), ενώ εκτιμάται ότι μεταξύ των ετών 1990 και 2007 οι εκπομπές CO₂ μειώθηκαν κατά 9% (Cottrell et al. 2010).

Η τσέχικη προσέγγιση εισήχθη σιωπηρά στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και εγκρίθηκε ρητά με νόμο από την τσεχική κυβέρνηση τον Μάιο του 2007, ως υποχρέωση εναρμόνισης με την κοινοτική οδηγία 2003/96/EK. Περιλάμβανε αρχικά την αύξηση του φόρου καυσίμων των μεταφορών και μετέπειτα την επιβολή ενός φόρου επί των στερεών καυσίμων στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, στο φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια. Προβλέπονται απαλλαγές για την οικιακή θέρμανση με φυσικό αέριο, την τηλεθέρμανση, την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (αιολική, ηλιακή ή γεωθερμική ενέργεια), την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα. και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στον σιδηροδρομικό τομέα (τρένο, μετρό, τραμ). Η εισαγωγή των νέων περιβαλλοντικών φόρων αποτελεί μέρος μίας ΠΦΜ σε τρία χρονικά στάδια και αναμενόταν να ολοκληρωθεί το 2017. Τα έσοδα δαπανώνται στη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης των εργοδοτών και των εργαζομένων και του φόρου εισοδήματος φυσικών και νομικών προσώπων. Κατά το πρώτο στάδιο εφαρμογής της ΠΦΜ, η αρχή της ουδετερότητας των εσόδων εκπληρώθηκε με τον ορισμό του φόρου εισοδήματος στο 15%, τη μείωση του ποσοστού κοινωνικής ασφάλισης από 8% στο 6,5% και του φόρου εισοδήματος νομικών προσώπων από 24% σε 21% και περαιτέρω σε 19% (Vojáček & Klusák 2007, Hruška & Dvofíáková 2013).

Η φιλανδική προσέγγιση εντοπίζεται αρχικά το έτος 1990, με την εισαγωγή ενός γνήσιου φόρου διοξειδίου του άνθρακα (δηλαδή ο φόρος επιβάλλεται σε όλα τα ενεργειακά προϊόντα, με εξαίρεση τα καύσιμα για τις μεταφορές). Ο σχεδιασμός του φόρου έχει αλλάξει αρκετές

φορές. Μεταξύ των ετών 1990 και 1994, ο φόρος βασίστηκε αποκλειστικά και μόνο στην περιεκτικότητα του ενεργειακού προϊόντος σε άνθρακα, από το 1994 μέχρι το 1996 βασίστηκε αρχικά στην αναλογία 60% άνθρακα και 40% ενεργειακό περιεχόμενο και μετέπειτα σε 75:25 και τελικά από το 1997 και μετά επιβλήθηκε ένας καθαρός φόρος CO₂. Το 1997, αναπτύχθηκε μία πλήρης οικολογική φορολογική μεταρρύθμιση, με την αύξηση του φόρου άνθρακα και την εισαγωγή φόρου υγειονομικής ταφής και το 1998 εισάγεται φόρος επί της ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα φορολόγησης της ενέργειας της Φινλανδίας δεν κάνει διάκριση μεταξύ των νοικοκυριών και των βιομηχανιών, με εξαίρεση τον φόρο επί της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου προβλέπεται μειωμένος φορολογικός συντελεστής για τον βιομηχανικό τομέα. Προβλέπονται απαλλαγές για τις εκπομπές που προέρχονται από τα καύσιμα των θαλάσσιων και αεροπορικών μεταφορών. Ως αντιστάθμισμα, μειώθηκε ο φόρος εισοδήματος των φυσικών προσώπων και οι εργοδοτικές εισφορές κοινωνικής ασφάλισης. Το 2012, αυξήθηκαν οι φόροι μεταφορών, με ταυτόχρονη μείωση των φόρων εργασίας. Το κύριο χαρακτηριστικό της φιλανδικής ΠΦΜ είναι η μη ουδετερότητα (έλλειμμα) των εσόδων (Speck & Jilkova 2010).

Άλλα κράτη μέλη της ΕΕ, όπως η Λιθουανία, η Λετονία, η Πολωνία, η Κροατία (Miceikiene & Butvilaite 2015) και η Κύπρος (Ζαχαριάδης 2015), έχουν υιοθετήσει πράσινους φόρους, όμως δεν έχουν ακόμη εφαρμόσει μία εκτεταμένη ΠΦΜ. Στην Ελλάδα δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα μία ΠΦΜ. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά παραδείγματα εφαρμογής ΠΦΜ σε κράτη-μέλη της ΕΕ.

Πίνακας 1. Παραδείγματα εφαρμογής ΠΦΜ σε χώρες της ΕΕ.

Χώρα	Φόρος	Έτος	ΠΦΜ- Μεταστροφή φόρων
Γαλλία	Ενεργειακός φόρος «Taxe Generale sur les Activites Polluantes»	1999-2001	Μείωση των κοινωνικών εισφορών επί της εργασίας. Τερματίστηκε άδοξα το 2001.
Γερμανία	Φόροι επί ορυκτελαίων στα καύσιμα μεταφορών	1999-2003	Μείωση της φορολογικής επιβάρυνσης της εργασίας μέσω της μείωσης των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης για τους εργοδότες και τους εργαζόμενους
	Φόρος ηλεκτρικής ενέργειας	1999	
	Φόρος στο μαζούτ	2000-2003	
	Φόρος επί των καυσίμων θέρμανσης, το φυσικό αέριο και το μαζούτ	2004	
Δανία	1 ^ο Πακέτο (Πακέτο Ενέργειας) → Αύξηση του φόρου CO ₂ + φόρος SO ₂ και ενεργειακός φόρος στην κατανάλωση φυσικού αερίου + φόρος στη χρήση ενέργειας για τη θέρμανση νοικοκυριών	1994-1998, 1996-2000, 1999-2000	Ένα πρόγραμμα τριών φάσεων που αφορούν νοικοκυριά και βιομηχανίες. Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων και των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης
	2 ^ο Πακέτο (Πακέτο Άνοιξης) → Αύξηση των φόρων ενέργειας και μεταφορών	2010-2019	Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων
Εσθονία	Φόρος στον άνθρακα, το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια	2006	Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων
	Αύξηση του φόρου μεταφορών	2009	
Ηνωμένο Βασίλειο	Φόροι καυσίμων επί των μεταφορών	1990	Μείωση των εργοδοτικών ασφαλιστικών εισφορών φόρος υγειονομικής ταφής

	Φόρος υγειονομικής ταφής	1996	Μείωση των εργοδοτικών εισφορών κοινωνικής ασφάλισης
	Εισφορά κλιματικής αλλαγής	2001	Μείωση των εργοδοτικών εισφορών κοινωνικής ασφάλισης
	Φόροι αδρανών υλικών	2002	Μείωση των εργοδοτών εισφορών κοινωνικής ασφάλισης και χρήση των εσόδων σε ειδικά Funds
Ολλανδία	Φόρος CO ₂ , φόρος επί της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου	1996-1998	Επιστροφή εσόδων στα νοικοκυριά μέσω μείωσης των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης και του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων
Πορτογαλία	Φόρος CO ₂	2015	Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων
Σουηδία	Ενεργειακός φόρος, φόρος CO ₂ , φόρος SO ₂	1991	Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων
	Φόρος NO _x	1992	Επιστροφή εσόδων σε βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που παράγουν
	Φόροι ενέργειας στη βιομηχανία	2000	Μείωση των φόρων ενέργειας στη γεωργία
	Πράσινη φορολογική μεταρρύθμιση	2001-2006	Μείωση των φόρων εισοδήματος και αύξηση των σχετικών περιβαλλοντικών φόρων
	Πρόγραμμα δημοσιονομικής πολιτικής	2007-2009	Αναθεώρηση των συντελεστών και των τομέων
Τσεχία	Αύξηση του φόρου καυσίμων μεταφορών	1995-2007	Μείωση του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων και του φόρου εργασίας (σιωπηρή ΠΦΜ)
	Φόρος στον άνθρακα, το φυσικό αέριο και την ηλεκτρική ενέργεια	2008	Μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης των εργοδοτών και των εργαζομένων και του φόρου εισοδήματος φυσικών προσώπων (ρητά εξαγγελθείσα ΠΦΜ)
Φιλανδία	Φόρος CO ₂	1990	Μείωση του φόρου εισοδήματος και των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης
	Αύξηση του φόρου CO ₂ , φόρος υγειονομικής ταφής	1997	Μείωση των φόρων επί της εργασίας.
	Περιβαλλοντικοί φόροι	1997-1998	Μείωση των φόρων επί της εργασίας
	Περιβαλλοντικοί φόροι (αυξήσεις των φόρων που σχετίζονται με τις μεταφορές)	2012	Μείωση των φόρων επί της εργασίας
Πηγή: Speck & Jilkova, 2010, Ercolano et al., 2014, Pereira et al., 2016. Ίδια σχεδίαση.			

Από την εξέταση των ΠΦΜ στις χώρες της ΕΕ, μπορεί κανείς να επισημάνει δύο γεγονότα. Πρώτον, οι περισσότερες έχουν επικεντρωθεί στην επιβολή ενεργειακών φόρων, ιδιαίτερα επί των καυσίμων μεταφορών. Δεύτερον, όλες οι χώρες έχουν θεσπίσει ειδικές διατάξεις (εξαιρέσεις ή μειώσεις) για τον βιομηχανικό κλάδο, ιδιαίτερα για τον τομέα υψηλής εντάσεως ενέργειας, ενώ δεν υπάρχουν ανάλογες εξαιρέσεις για τα νοικοκυριά, παρά το γεγονός ότι 80% των εκπομπών CO₂ προέρχεται από τις παραγωγικές δραστηριότητες των βιομηχανιών και μόνο το 20% από την άμεση κατανάλωση των νοικοκυριών (θερμότητα, βενζίνη κ.λπ.). Αυτό, ενδεχομένως, να αποτελεί μία κρυφή επιδότηση προς τον βιομηχανικό

κλάδο και να οδηγεί σε μία αναποτελεσματική κατανομή πόρων, αποδεικνύοντας ότι πολλές ειδικές διατάξεις δεν βασίζονται εξ ολοκλήρου σε οικονομικά επιχειρήματα αλλά σε πολιτικές αποφάσεις. Από την άλλη, όμως, πιθανόν αυτές να κρίνονται αναγκαίες, προκειμένου να αποφευχθεί ένα σοκ στην οικονομία και μία απώλεια της διεθνούς ανταγωνιστικότητας (International Institute for Labour Studies 2011).

Οι Speck & Jilkova (2010) συμπεραίνουν ότι οι βαθύτεροι λόγοι εφαρμογής των ΠΦΜ είναι παρόμοιοι σε όλα τα κράτη-μέλη της ΕΕ, όπως η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και η στήριξη της απασχόληση μέσω της μείωσης του κόστους εργασίας. Παρατηρούν ότι ο σχεδιασμός και ο τρόπος εφαρμογής των αντίστοιχων προγραμμάτων διαφέρει μεταξύ των κρατών, εξαιτίας των ανησυχιών για τις αναδιανεμητικές επιπτώσεις και του φόβου της απώλειας της διεθνούς ανταγωνιστικότητας των εγχώριων επιχειρήσεων. Οι κυβερνήσεις, κατά τη διαδικασία λήψης των πολιτικών αποφάσεων, αναγκάζονται εκ των πραγμάτων να κάνουν συμβιβασμούς μεταξύ της οικονομικής αποτελεσματικότητας και των προαναφερθέντων ανησυχιών, χορηγώντας φορολογικές απαλλαγές στα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα και στις βιομηχανίες εντάσεως ενέργειας.

Γενικότερα, τα αποτελέσματα των μελετών δείχνουν ότι η εφαρμογή ΠΦΜ στις χώρες της ΕΕ είχε θετικές επιδράσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία. Για παράδειγμα, η θεωρία του «διπλού μερίσματος» αποδείχθηκε αληθινή σε πέντε χώρες της ΕΕ που εφάρμοσαν μία πλήρη μορφή ΠΦΜ (Σουηδία, Δανία, Κάτω Χώρες, Φινλανδία και Γερμανία), ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο η μεταρρύθμιση ήταν ουδέτερη. Τα κυριότερα και άμεσα οφέλη εντοπίζονται στον τομέα του περιβάλλοντος, όπου παρατηρείται μείωση της χρήσης των καυσίμων και των αερίων του θερμοκηπίου (με την επιφύλαξη του φαινομένου της «διαρροής άνθρακα».² Όσον αφορά την οικονομική δραστηριότητα, τα αποτελέσματα είναι ουδέτερα ή ακόμη και θετικά, ανάλογα με την ανακύκλωση ή μη των εσόδων από τους περιβαλλοντικούς φόρους. Αν τα έσοδα χρησιμοποιούνται για τη μείωση άλλων στρεβλωτικών φόρων, λ.χ. επί της εργασίας, μειώνεται το κόστος εργασίας των επιχειρήσεων και αυξάνεται η απασχόληση, καθώς ενθαρρύνονται αφενός οι εργοδότες να προσλάβουν περισσότερο προσωπικό (στην περίπτωση μείωσης των εργοδοτικών εισφορών) και αφετέρου περισσότεροι άνθρωποι να ενταχθούν στο εργατικό δυναμικό (στην περίπτωση μείωσης των φόρων εισοδήματος). Αντίθετα, η επιβολή πράσινων φόρων χωρίς ανακύκλωση των εσόδων οδηγεί σε μία αύξηση της συνολικής φορολογικής επιβάρυνσης, αναγκάζοντας τις επιχειρήσεις να περάσουν το επιπλέον αυτό κόστος στους καταναλωτές, οδηγώντας τελικά σε αύξηση των τιμών και σε απώλεια της παραγωγής και του ΑΕΠ (Neri et al. 2007, Barker et al. 2009).

Επιπλέον, η εμπειρία των χωρών που έχουν ήδη εφαρμόσει ΠΦΜ δείχνει την αναγκαιότητα σταδιακής εφαρμογής των μεταρρυθμίσεων, προκειμένου οι βιομηχανίες να προσαρμοστούν σταδιακά στην νέα φορολογική κατάσταση και, ως εκ τούτου, να μειωθεί η πιθανότητα μετεγκατάστασης αυτών σε άλλες χώρες. Στην περίπτωση της Σουηδίας, για παράδειγμα, το

² Ως «διαρροή άνθρακα» νοείται το φαινόμενο όπου η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (ή γενικότερα αερίων του θερμοκηπίου) σε μία περιοχή ή χώρα οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε μία δεύτερη περιοχή ή χώρα.

συνολικό μεταρρυθμιστικό πρόγραμμα χρειάστηκε να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί πάνω από 10 χρόνια (EEA 2005).

Η πανευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση

Η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης ΠΦΜ σε επίπεδο ΕΕ έχει αποδειχθεί στην πράξη δύσκολη και παραμένει μέχρι σήμερα περισσότερο ένα εθνικό ζήτημα, με μόνη εξαίρεση την εναρμόνιση των κρατών-μελών με την οδηγία 2003/96/ΕΚ για την ενεργειακή φορολογία. Ως κύριοι λόγοι αναφέρονται ο κοινοτικός κανόνας της ομόφωνης απόφασης κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ και η πολιτική αντίστασης των κρατών-μελών στο ενδεχόμενο μεταβίβασης φορολογικών αρμοδιοτήτων από το εθνικό στο ευρωπαϊκό επίπεδο (Bassi et al. 2009, Ekins et al. 2012, Withana et al. 2014). Για αυτό, κρίνεται απαραίτητη η εξεύρεση εναλλακτικών οδών, προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω εμπόδια. Ως τέτοιες επιλογές προτείνονται: α) η Ενισχυμένη Συνεργασία, δηλαδή μία στενότερη αλληλεπίδραση ανάμεσα σε μία ομάδα ομοϊδεατών κρατών-μελών (τουλάχιστον οκτώ), που μπορεί να οδηγήσει σε δεσμευτικές υποχρεώσεις για όσους συμμετέχουν και β) η Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού (ΑΜΣ), μία μορφή συνεργασίας μεταξύ των κρατών-μελών, με στόχο να ανταλλάγουν πληροφορίες και να συμφωνήσουν σε κοινά μη δεσμευτικούς στόχους (Bassi et al. 2009).

Ενισχυμένη συνεργασία

Τα κράτη-μέλη που επιθυμούν να ξεκινήσουν μία διαδικασία Ενισχυμένης Συνεργασίας στον τομέα της ΠΦΜ θα πρέπει να ζητήσουν από την προεδρία του Συμβουλίου να θέσει το θέμα στην ημερήσια διάταξη της σχετικής σύνθεσης του Συμβουλίου (πιθανότατα ECOFIN) και να υποβάλει σχέδιο συμπερασμάτων για έγκριση. Τόσο το Συμβούλιο όσο και η Επιτροπή έχουν τη διακριτική ευχέρεια να αποφασίσουν σχετικά με το αίτημα. Πράξεις που έχουν εκδοθεί στο πλαίσιο της ενισχυμένης συνεργασίας εφαρμόζονται μόνο από τα συμμετέχοντα κράτη-μέλη. Οι πράξεις αυτού του είδους δεν αποτελούν μέρος του κεκτημένου της ΕΕ. Ωστόσο, η διαδικασία παραμένει ανοικτή σε όλα τα κράτη-μέλη και μπορούν να συμμετάσχουν σε οποιαδήποτε στιγμή, υπό τον όρο ότι θα συμμορφώνονται με τις αποφάσεις που έχουν ήδη ληφθεί.

Στην πράξη είναι δύσκολο να εφαρμοστεί η εν λόγω διαδικασία, εξαιτίας νομικών και πολιτικών περιορισμών. Για παράδειγμα, η Συνθήκη της Νίκαιας απαιτεί την εξακρίβωση ότι το εξεταζόμενο ζήτημα δεν μπορεί να λυθεί «εντός εύλογου χρονικού διαστήματος κατ' εφαρμογή των σχετικών διατάξεων των Συνθηκών». Επιπλέον, υπάρχει απροθυμία των κρατών-μελών να συμφωνήσουν σε μία ενισχυμένη συνεργασία, υπό το φόβο ότι αυτό θα αποτελέσει προηγούμενο για τη χρήση του μέσου ευρύτερα. Έτσι δεν κατέστη ακόμη εφικτή η πρακτική εφαρμογή της Ενισχυμένης Συνεργασίας.

Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού

Μία άλλη διαδικασία είναι η Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού (εφεξής ΑΜΣ), η οποία έχει ήδη εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τομέων της πολιτικής. Η ΑΜΣ αποτελεί μία πολιτική δέσμευση εκ μέρους των κρατών-μελών που είναι νομικά δεσμευτική, χωρίς όμως να λαμβάνει τη μορφή οδηγιών, κανονισμών ή αποφάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, οι συμμετέχουσες χώρες αξιολογούνται μεταξύ τους (άσκηση πίεσης), με τον ρόλο της

Επιτροπής να περιορίζεται στην επιτήρηση. Παραδείγματα χρήσης της ανοικτής μεθόδου συντονισμού αποτελούν η στρατηγική για την αειφόρο ανάπτυξη, το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος, η κοινή στρατηγική εφαρμογής της οδηγίας-πλαίσιο για τα ύδατα κ.ά. Η χρήση της ΑΜΣ αφορά τη συμμετοχή όλων των κρατών-μελών, έχει χρονικό ορίζοντα πολλών δεκαετιών και ενδείκνυται για ριζικές ΠΦΜ. Είναι εξαιρετικά ευέλικτη, πράγμα που της επιτρέπει να λαμβάνει υπόψη τις διαφορετικές καταστάσεις στα κράτη-μέλη (για παράδειγμα σε σχέση με τη γήρανση και το μέγεθος του φορολογητέου πληθυσμού).

Ωστόσο, η ΑΜΣ παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως: α) η εξασφάλιση επαρκούς δέσμευσης εκ μέρους όλων των παραγόντων μπορεί να είναι δύσκολη ελλείψει νομοθετικού πλαισίου. Τα κράτη μέλη μπορούν να παρεκκλίνουν από τις κατευθυντήριες γραμμές της ΠΦΜ και τις δεσμεύσεις που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της ΑΜΣ, ως αντίδραση στην εσωτερική πολιτική πίεση, π.χ. εξαιτίας μίας αλλαγής της κυβέρνησης, β) η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ανοικτής μεθόδου συντονισμού είναι δύσκολη, καθώς η ΑΜΣ είναι αρκετά πρόσφατη διαδικασία που σχεδιάζεται μακροπρόθεσμα με χρονοδιάγραμμα 10, 20 ή και περισσότερα χρόνια.

Σύγκριση Ανοικτής Μεθόδου Συντονισμού και Ενισχυμένης Συνεργασίας

Η Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού αναμένεται να συναντήσει λιγότερη πολιτική αντίσταση, διότι τα φορολογικά θέματα παραμένουν στην εθνική αρμοδιότητα των μελών και είναι χωρίς αποκλεισμούς όσον αφορά τη συμμετοχή όλων των κρατών-μελών. Η ΑΜΣ είναι μία «εθελοντική» προσέγγιση, με την έννοια ότι, σε αντίθεση με την ενισχυμένη συνεργασία, δεν οδηγεί άμεσα στη θέσπιση νομικά δεσμευτικών κανόνων. Από την άλλη πλευρά, η ΑΜΣ μπορεί, ενδεχομένως, να είναι μία «αδύναμη» προσέγγιση και να οδηγεί σε μικρότερο αποτέλεσμα συγκριτικά με την ενισχυμένη συνεργασία. Είναι απίθανο να πετύχει, αν δεν υποστηρίζεται από μία επαρκώς ευρεία συναίνεση σχετικά με την αναγκαιότητα του στόχου για τη μακροπρόθεσμη ριζική ΠΦΜ και επαρκής θεσμική ικανότητα και σταθερότητα. Θεωρητικά, λοιπόν, η ενισχυμένη συνεργασία φαίνεται να είναι προτιμότερη, λόγω της δεσμευτικότητας που συνεπάγεται, αλλά η ΑΜΣ αποτελεί πιο ενδιαφέρουσα επιλογή, εξαιτίας των περιορισμών που συνεπάγεται η πρώτη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όμως, η ΑΜΣ και η Ενισχυμένη Συνεργασία δεν είναι απαραίτητα δύο αλληλοαποκλειόμενες εναλλακτικές λύσεις, αλλά μπορεί να σχετίζονται ή ακόμη και να συμπίπτουν μεταξύ τους ή να θεωρηθούν ως διαδοχικά στάδια της ίδιας προσέγγισης για την επίτευξη περαιτέρω εναρμόνισης. Ποια από τις δύο είναι η πιο κατάλληλη λύση εξαρτάται κάθε φορά από τις ιδιαίτερες συνθήκες και περιστάσεις. Κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι στα θέματα φορολογίας που απαιτείται η ομόφωνη λήψη αποφάσεων στο Συμβούλιο, αν ορισμένα κράτη-μέλη αντιτίθενται σταθερά στη υιοθέτηση των μέτρων της ΕΕ στον τομέα αυτό, η ενισχυμένη συνεργασία μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή, επειδή θα επιτρέψει τη θέσπιση νομικά δεσμευτικών κανόνων, τουλάχιστον σε εκείνα τα κράτη-μέλη που είναι πιο πρόθυμα να προχωρήσουν σε μία δεδομένη φορολογική πολιτική. Αν, όμως, αυτό θα σήμαινε ότι μόνο ένας μικρός αριθμός κρατών-μελών τα οποία έχουν σχετικά αδύναμο αντίκτυπο στην ΕΕ ως σύνολο θα συμμετάσχει σε ενισχυμένη συνεργασία, στη συνέχεια, μία περιεκτική εθελοντική προσέγγιση που βασίζεται στην ΑΜΣ μπορεί να είναι προτιμότερη.

Συμπεράσματα

Με την παρούσα μελέτη επιχειρήθηκε η παρουσίαση της Περιβαλλοντικής Φορολογικής Μεταρρύθμισης ως ένα σύγχρονο εργαλείο περιβαλλοντικής πολιτικής και η εφαρμογή της σε χώρες της ΕΕ. Από την έρευνα προέκυψε ότι η ΠΦΜ αποτελεί μία «win-win» πολιτική που, αν σχεδιαστεί σωστά, μπορεί να αποφέρει ένα διπλό μέρισμα-όφελος, τόσο περιβαλλοντικό όσο και οικονομικό, αν και το τελευταίο είναι περιορισμένο. Στην ΕΕ οι περισσότερες χώρες έχουν επικεντρωθεί στην επιβολή ενεργειακών φόρων, ιδιαίτερα επί των καυσίμων μεταφορών και έχουν θεσπίσει ειδικές διατάξεις (εξαιρέσεις ή μειώσεις) για τον βιομηχανικό κλάδο, ιδιαίτερα για τον τομέα εντάσεως ενέργειας. Οκτώ κράτη μέλη έχουν υιοθετήσει πλήρη ΠΦΜ. Τα υπόλοιπα έχουν υιοθετήσει περιβαλλοντικούς φόρους, αλλά δεν έχουν ακόμη εφαρμόσει μία εκτεταμένη ΠΦΜ. Η θεωρία του «διπλού μερίσματος» αποδείχθηκε αληθινή σε πέντε χώρες της ΕΕ που εφάρμοσαν μία πλήρη μορφή ΠΦΜ. Ωστόσο, ο κοινοτικός κανόνας της ομόφωνης απόφασης κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ και η ανησυχία των περισσότερων κρατών για τις επιπτώσεις των μεταρρυθμίσεων στην ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών εντάσεως ενέργειας δεν επέτρεψε μέχρι σήμερα την εφαρμογή μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής ΠΦΜ. Ως λύσεις προτείνονται η Ανοικτή Μέθοδος Συντονισμού και η Ενισχυμένη Συνεργασία μεταξύ των κρατών-μελών.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

Ζαχαριάδης, Θ. (2015). Ας μην Αφήσουμε την Κρίση να Πάει Χαμένη: Προς μία «Πράσινη Φορολογική Μεταρρύθμιση». Κέντρο Οικονομικών Ερευνών Πανεπιστημίου Κύπρου, Σχόλιο Οικονομικής Πολιτικής, Τεύχος 29, Απρίλιος 2015.

II. Ξενόγλωσση

Abdullah, S., Morley, B. (2014). Environmental taxes and economic growth: Evidence from panel causality tests. *Energy Economics*, Vol. 42, pp. 27-33.

Agnolucci, P. (2009). The effect of the German and British environmental taxation reforms: A simple assessment. *Energy Policy*, Vol. 37, No. 8, pp. 3043-3051.

Barker, T., Ekins, P., Junankar, S., Pollitt, H., Summerton, P. (2009). The competitiveness effects of European environmental fiscal reforms. *European Review of Energy Market*, Vol. 3, No. 1, pp.1-33.

Bassi, S., Ten Brink, P., Pallemmaerts, M., (IEEP), Von Homeyer, I. (Ecologic) (2009). Feasibility of Implementing a Radical ETR and its Acceptance. Report under task C of the 'Study on Tax Reform in Europe over the Next Decades: Implication for the Environment, for Eco/Innovation and for Household Distribution'.

Bosello, F., Roson, R., Tol, R.S.J. (2006). Economy-wide estimates of the implications of climate change: human health. *Ecological Economics*, Vol. 58, pp. 579-581.

Bosquet, B. (2000). Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence. *Ecological Economics*, Vol. 34, No. 1, pp. 19-32.

Bovenberg, A.L., De Mooij, R.A. (1994). Environmental levies and distortionary taxation. *American Economic Review*, Vol. 84, No. 4, pp. 1085-1089.

Bovenberg, L., Goulder, L.H. (1996). Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: General equilibrium analysis. *American Economic Review*, Vol. 86, pp. 985-1000.

- Bovenberg, L., Goulder, L.H. (2002). Environmental taxation and Regulation. In: Handbook of Public Economics, Auerbach AJ, Feldstein M. (Eds), Vol. 3, chap. 23, pp. 1471-1545.
- Chiroleu-Assouline, M., Fodha M. (2014). From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms. *European Economic Review*, Vol. 69, pp. 126-142.
- Ciaschini, M., Pretaroli, R., Severini, F., Socci, C. (2012). Regional double dividend from environmental tax reform: An application for the Italian economy. *Research in Economics*, Vol. 66, No. 3, pp. 273-283
- Ciuleviciene, V., Slavickiene, A. (2014). Ekologiniu mokesciu reiksme darniam Lietuvos vystymuisi. Darnus vystymasis: teorija ir praktika, Kolektyvine monografija. Vilniaus universitetas. pp. 309-335.
- Commission of the European Communities (1993). Growth, competitiveness, employment: The challenge and ways forward into the 21st century. White Paper, Bulletin of the European Communities, Supplement 6/93, Publications Office of the European Union, Luxembourg 1993.
- Cottrell, J., Mander, R., Schmidt, S., Schlegelmilch, K. (2010). Environmental fiscal reform in Europe: Research, experience and best practice. ETUI Policy Brief, Issue 5/2010 European Trade Union Institute, Brussels (2010).
- Daughjerg, C., Petersen, A.B. (2004). New Policy Ideas and Old Policy Networks: Implementing Green Taxation in Scandinavia. *Journal of Public Policy*, Vol. 24, No. 2, pp. 219-249.
- Daughjerg, C., Svendsen, G.T. (2003). Designing green taxes in a political context: From optimal to feasible environmental regulation. *Environmental Politics*, Vol.12, No. 4, pp. 76-95.
- De Miguel, C., Manzano, B. (2011a). Green tax reforms and habits. *Resource and Energy Economics*, Vol. 33, No. 1, pp. 231-246.
- De Miguel, C., Manzano, B. (2011b). Gradual green tax reforms. *Energy Economics*, Vol. 33, Supplement 1, pp. S50-S58.
- De Mooij, R.A. (2000). Environmental taxation and the double dividend. In: Badi, H.B., Sadka, E. (2000). Book Series: Contributions to Economic Analysis, Vol. 246. Emerald group publishing limited, Kidlington, United Kingdom.
- Deroubaix, J.-F., Lévêque, F. (2006). The rise and fall of French Ecological Tax Reform: social acceptability versus political feasibility in the energy tax implementation process. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 8, pp. 940-949.
- Dresner, S., Dunne, L., Clinch, P., Beauermann, C., (2006a). Social and political responses to ecological tax reform in Europe: an introduction to the special issue. *Energy Policy*, Vol. 34, No. 8, pp. 895-904.
- Ekins, P., Pollitt, H., Barton, J., Blobel, D. (2011). The implications for households of environmental tax reform (ETR) in Europe. *Ecological Economics*, Vol. 70, No. 12, pp. 2472-2485.
- Ekins, P., Pollitt, H., Summerton, Ph., Chewpreecha, U. (2012). Increasing carbon and material productivity through environmental tax reform. *Energy Policy*, Vol. 42, pp. 365-376.
- Ercolano, S., Gaeta, G.L., Romano, O. (2014). Environmental tax reform and individual preferences: An empirical analysis on European micro data. *Journal of Behavioral and Experiment Economics*, Vol. 51, pp. 1-11.
- European Commission (1997). Tax Provisions with a Potential Impact on Environmental Protection. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

- European Commission (2010). Communication from the Commission, Europe 2020: A Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth. Brussels.
- European Environment Agency, (2005). Market-based Instruments for Environmental Policy in Europe. EEA Technical Report No8/2005. Copenhagen, Denmark.
- Faure, M., Peeters, M., Wibisana, A. (2006). Economic instruments: suited to developing countries? In: Faure, M., Niessen, N. (Eds), *Environmental Law in Development: Lessons from the Indonesian Experience*. Cheltenham: Edward Elgar, pp. 218-262.
- Fernandez, E., Perez, R., Ruiz, J. (2011). Optimal green tax reforms yielding double dividend. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 7, pp. 4253-4263.
- Fullerton, D., Metcalf, G. E. (1997). Environmental Taxes and the Double-Dividend Hypothesis: Did You Really Expect Something for Nothing? NBER Working Paper series, No. W6199.
- Gago, A., Labandeira, X., López-Otero, X. (2014). A Panorama on Energy Taxes and Green Tax Reforms. *Hacienda Pública Española/Review of Public Economics*, Vol. 208, No. 1, pp. 145-190.
- German Federal Environmental Agency (UBA). Effects of Germany's Ecological Tax Reforms on the Environment, Employment and Technological Innovation. Summary of the Final Report of the Project: "Quantifizierung der Effekte der Ökologischen Steuerreform auf Umwelt, Beschäftigung und Innovation", Berlin 2005.
- Goulder, L.H (1995). Environmental taxation and the "double dividend": a Reader's guide. *International Tax and Public Finance*, Vol. 2, No. 2, pp. 157-183.
- Heine, D., Norregaard, J., Parry, I. (2012). Environmental Tax Reform: Principles from Theory and Practice to Date. International Monetary Fund Working Paper No12/180.
- Holmlund, B., Kolm, A.S. (2000). Environmental tax reform in a small open economy with structural unemployment. *International Tax and Public Finance*, Vol. 7, No. 3, pp. 315-333.
- Hruška, Z., Dvořáková, L. (2013). Theoretical and practical problems of environmental taxation in conditions of the Czech Republic». *E&M Ekonomie a Management*, Vol. 6, No. 1, pp. 18-32.
- International Institute for Labour Studies (2011). The double dividend and environmental tax reforms in Europe. Joint Discussion Paper Series No. 13, November 2011.
- Kurtinaitytė-Venediktovienė, D., Pereira, P., Černiauskas, G. (2014). Environmental taxes in northern Europe. The recent evolution and current status in the baltic countries. *Societal studies (Socialinių mokslų studijos)*, Vol. 6, No. 2, pp. 331-348.
- Labandeira, X., Labeaga, J.M., Rodriguez, M. (2004). Green tax reforms in Spain. *European Environment*, Vol. 14, pp. 290-299.
- Ludewig, D., Meyer, B., Schlegelmilch, K. (2010). Greening the Budget: Pricing Carbon and Cutting Energy Subsidies to Reduce the Financial Deficit in Germany. Washington DC: Heinrich Boell Foundation.
- Lutz, C., Meyer, B. (2010). Environmental Tax Reform in the European Union: Impact on CO2 Emissions and the Economy. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, Vol. 34, No. 1, pp.1-10.
- Mazza, L., Brink, P. (2013). Reforming Environmental Taxes and Harmful Subsidies: Challenges and Opportunities. Institute for European Environmental Policy, Brussels.
- Miceikiene, A., Butvilaite, A. (2015). Evaluation of the experience in environmental tax reforms in the EU countries. *European Scientific Journal*, Vol.11, No. 19, pp. 280-299.

- Migliavacca, S. (2006). Environmental taxation and the double dividend hypothesis. In: A. Cavaliere, H. Ashiabor, K. Deketelaere, L. Kreiser, J. Milne (Eds), *Critical Issues in Environmental Taxation: International and Comparative Perspectives*, Vol. 3, pp. 267-283.
- NERI (University of Aarhus), Cambridge Econometrics, ESRI, IEEP, University of Economics (Prague), PSI and WIIW (2007). *Competitiveness Effects of Environmental Tax Reforms. Final Report to the European Commission, DG Research and DG Taxation and Customs Union*, NERI, Aarhus.
- OECD (2004). *Environment and Employment: An Assessment*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris.
- OECD (2010). *Taxation, Innovation and the Environment*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Oueslati, W. (2013). Short and Long-term Effects of Environmental Tax Reform. *Journal of Macroeconomics*, Vol. 40, pp.190-201.
- Oueslati, W. (2015). Growth and welfare effects of environmental tax reform and public spending policy. *Economic Modelling*, Vol. 45, pp.1-13.
- Oueslati, W., Zipperer, V., Rousselière, D., Dimitropoulos, A. (2016). «Exploring the relationship between environmentally related taxes and inequality in income sources: An empirical cross-country analysis». *OECD Environment Working Papers*, No. 100, OECD Publishing, Paris.
- Parry, W.H.I., (1995). Pollution taxes and revenue recycling. *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, pp. 64-77.
- Pearce, D. (1991). The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming. *The Economic Journal*, Vol. 101, pp. 938-948.
- Pereira, A., Pereira R. (2015). Achieving the Triple Dividend in Portugal: A Dynamic General-Equilibrium Evaluation of a Carbon Tax Indexed to Emissions Trading. *Working Papers*, No 155, from Department of Economics, College of William and Mary.
- Sandmo, A. (1975). Optimal taxation in the presence of externalities. *The Swedish Journal of Economics*, Vol. 77, No. 1, pp. 86-98.
- Sandmo, A. (2009). *The Scale and Scope of Environmental Taxation*. Norwegian School of Economics and Business Administration (NHH), Department of Economics, Discussion Paper No. 18/2009.
- Sartzetakis, E., Tsigaris, P. (2009). Uncertainty and the Double Dividend Hypothesis. *Environment and Development Economics*, Vol. 14, No. 5, pp. 565-585.
- Schlegelmilch, K., Joas, A. (2015). *Fiscal considerations in the design of green tax reforms*. Green Growth Knowledge Platform (GGKP), Conference edition, Venice, Italy.
- Speck, S., Jilkova, J. (2010). *Design of Environmental Tax Reforms in Europe*. In: P. Ekins, M. Skou (Eds), *Carbon Energy Taxation - Lessons from Europe*. Oxford: Oxford University Press.
- Takeda, S. (2007). The double dividend from carbon regulations in Japan. *Journal of the Japanese and International Economics*, Vol. 21, No. 3, pp. 336-364.
- Vojáček, O., Klusák, J. (2007). *Environmental tax reform: qualitative research in the Czech Republic*. Paper for the Petre project. Available: http://www.petre.org.uk/pdf/vojacek_klusak_ETR_czech.pdf
- Vollebergh, H. (2014). «Green tax reform: Energy tax challenges for the Netherlands. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

- Wiera, M., Birr-Pedersenb, K., Jacobsenc, H.K., Klok d, J. (2005). Are CO2 taxes regressive? Evidence from the Danish experience. *Ecological Economics*, Vol. 52, pp. 239-251.
- Withana, S., Ten Brink, P., Illes, A., Nanni, S., Watkins, E. (2014). *Environmental Tax Reform in Europe: Opportunities for the Future*. A report by the Institute for European Environmental Policy (IEEP) for the Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment. Final Report. Brussels.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΦΟΡΟΛΟΓΙΑ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΦΟΡΟΙ: ΕΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΑΣΚΗΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Αθανάσιος Αν. Γεωργίσης
Οικονομολόγος-Εφοριακός ΠΕ/Α' (MSc)
E-mail: georgisissakis@gmail.com

Μιχαήλ Τσατήρης
Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: tsatiris@fmenr.duth.gr

Βασιλική Δήμου
Επίκουρος Καθηγήτρια
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: vdimo@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της μελέτης είναι η παρουσίαση ενός χρήσιμου και διαδεδομένου εργαλείου Περιβαλλοντικής Πολιτικής: της Περιβαλλοντικής Φορολογίας. Αναλύονται ο σκοπός και οι λειτουργίες των περιβαλλοντικών φόρων, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι κατηγορίες αυτών, καθώς και τα εμπόδια που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή τους. Επίσης, γίνεται σύντομη αναφορά στην περιβαλλοντική φορολογία στην ΕΕ. Από την έρευνα προέκυψε ότι το σύνολο των κρατών-μελών υιοθετούν πράσινους φόρους στα φορολογικά τους συστήματα. Οι περισσότερες χώρες έχουν επικεντρωθεί στην επιβολή ενεργειακών φόρων, κύρια επί των καυσίμων μεταφορών, και έχουν θεσπίσει ειδικές διατάξεις (εξαιρέσεις ή μειώσεις) για τον βιομηχανικό κλάδο. Η παράθεση παραδειγμάτων επιβολής πράσινων φόρων, ιδιαίτερα η επιβολή εισφοράς στις πλαστικές σακούλες στην Ιρλανδία, έδειξε ότι είναι δυνατή η επιτυχής εφαρμογή αυτού του είδους των φόρων με θετικά οφέλη τόσο στο περιβάλλον όσο και στα δημόσια έσοδα, αρκεί να σχεδιαστούν και εφαρμοστούν κατάλληλα. Ωστόσο, δεν κατέστη μέχρι σήμερα δυνατή η εφαρμογή μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Φορολογικής Μεταρρύθμισης, εξαιτίας της απαιτούμενης από το κοινοτικό δίκαιο ομοφωνίας κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ και της ανησυχίας των περισσότερων κρατών για τις πιθανές επιπτώσεις των μεταρρυθμίσεων στην ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών εντάσεως ενέργειας.

Λέξεις-κλειδιά: Περιβαλλοντική φορολογία, περιβαλλοντικοί φόροι, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, πράσινη φορολογική μεταρρύθμιση

Εισαγωγή

Στην εποχή μας, η εκάστοτε περιβαλλοντική πολιτική εκφράζεται μέσω διαφόρων εργαλείων που διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα παραδοσιακά εργαλεία που λαμβάνουν τη μορφή άμεσων νομοθετικών ρυθμίσεων και προκαθορισμένων προτύπων, τα αποκαλούμενα εργαλεία «εντολών και ελέγχου», και τα σύγχρονα οικονομικά εργαλεία που βασίζονται στον μηχανισμό της αγοράς και τις εθελοντικές συμφωνίες. Μεταξύ των προτεινόμενων εργαλείων περιλαμβάνεται η Περιβαλλοντική ή Πράσινη Φορολογία¹, που μαζί με τα τέλη χρήσης και το σύστημα εμπορεύσιμων αδειών είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα οικονομικά μέσα (EEA 2005, Dresner et al. 2006a, International Institute for Labour Studies, 2011). Στη βιβλιογραφία χαρακτηρίζονται ως ένα από τα αποτελεσματικά μέσα άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής (Ekins & Speck 2000, EEA 2005, Λαζαρέτου 2010, Miceikiene & Butvilaite 2015). Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η ανάδειξη της Περιβαλλοντικής Φορολογίας ως αποτελεσματικό εργαλείο Περιβαλλοντικής Πολιτικής.

Περιβαλλοντική ή Πράσινη Φορολογία

Ορισμός

Στη διεθνή βιβλιογραφία δεν υπάρχει γενικά αποδεκτός ορισμός του όρου περιβαλλοντική ή «πράσινη» φορολογία. Μία συνήθης ερμηνεία του όρου είναι οι φόροι των οποίων τα έσοδα προορίζονται για περιβαλλοντικούς σκοπούς και για τη χρηματοδότηση περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων μέσω δημοσιονομικών φορέων και οργανισμών (Eurostat 2013). Κατά τη Λαζαρέτου (2010), περιβαλλοντικοί φόροι νοούνται φόροι και τέλη² που αυξάνουν άμεσα ή έμμεσα το κόστος ενός προϊόντος ή μίας δραστηριότητας με αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.

Στο παρελθόν, η δυσκολία της δημιουργίας ενός επίσημου ορισμού αποδεκτού από όλους οδήγησε τους υπεύθυνους να εστιάσουν την προσοχή τους στις φορολογικές βάσεις που έχουν ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία. Επομένως, αν ένας φόρος μπορεί να ονομαστεί περιβαλλοντικός εξαρτάται από τη φορολογική βάση (EEA 2005). Ο ΟΟΣΑ, ο Διεθνής οργανισμός Ενέργειας και η Ευρωπαϊκή Ένωση κατέληξαν να ορίσουν ως περιβαλλοντικούς φόρους κάθε υποχρεωτική, μονομερής πληρωμή προς τη γενική κυβέρνηση που επιβάλλεται στις φορολογικές βάσεις που θεωρούνται ιδιαίτερης περιβαλλοντικής σημασίας (OECD 2006). Βέβαια, στην πράξη η απόφαση του χαρακτηρισμού και της ταξινόμησης των φόρων

¹ Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, οι όροι «περιβαλλοντική φορολογία», «πράσινη φορολογία», «περιβαλλοντικοί φόροι» και «πράσινοι φόροι» ταυτίζονται εννοιολογικά.

² Οι φόροι είναι μη ανταποδοτικοί, υπό την έννοια ότι τα οφέλη που παρέχονται από την κυβέρνηση προς τους φορολογούμενους δεν βρίσκονται σε αναλογία προς τις πληρωμές τους. Αντίθετα, τα έξοδα και τέλη ορίζονται ως υποχρεωτικές και ανταποδοτικές πληρωμές προς το Δημόσιο ή σε φορείς εκτός της γενικής κυβέρνησης, π.χ. το τέλος διαχείρισης λυμάτων ή το τέλος αποκομιδής απορριμμάτων. Σε ορισμένες, μάλιστα, χώρες, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, αντί των πολιτικά και κοινωνικά φορτισμένων όρων «περιβαλλοντικοί φόροι» και «περιβαλλοντικά έξοδα και τέλη» γίνεται χρήση του όρου «περιβαλλοντική εισφορά» (π.χ. εισφορά για την κλιματική αλλαγή), (EEA 2005).

ή τελών είναι δύσκολη υπόθεση και ενδέχεται να εξαρτάται από την κρίση αυτών που την εκτελούν.

Σκοπός και λειτουργίες

Ο βασικός σκοπός της περιβαλλοντικής φορολογίας είναι η προστασία του περιβάλλοντος και ο επηρεασμός των παραγωγικών και καταναλωτικών συμπεριφορών που βλάπτουν το περιβάλλον μέσω της αύξησης του κόστους των ρυπογόνων δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, η επιβολή ενός ενεργειακού φόρου ή ενός φόρου άνθρακα στοχεύει στην αύξηση της τιμής των προϊόντων που βασίζονται στην ενέργεια ή την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τα κατάλληλα μηνύματα για μείωση της ρύπανσης, είτε με τη μετάβαση σε λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις (χρήση καθαρότερων καυσίμων και τεχνολογιών) είτε με τη μείωση της χρήσης ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης (Štreimikienė & Bubnienė 2005).

Οι βασικές λειτουργίες των περιβαλλοντικών φόρων είναι η αύξηση των δημοσίων εσόδων, η προώθηση της περιβαλλοντικής προστασίας και η κάλυψη του κόστους αυτής (Miceikiene & Butvilaite 2015). Σε κάθε περίπτωση, η αύξηση των εσόδων και η αλλαγή της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες λειτουργίες. Για παράδειγμα, η επιβολή φόρου στα καύσιμα κίνησης εισήχθηκε αρχικά με σκοπό την αύξηση των δημοσίων εσόδων και μετέπειτα ως πράσινος φόρος για την προστασία του περιβάλλοντος (Green Fiscal Commission 2009).

Ταξινόμηση και κατηγορίες περιβαλλοντικών φόρων

Οι περιβαλλοντικοί φόροι μπορούν να διακριθούν σε φόρους ποσότητας και αξίας ή σε άμεσους και έμμεσους φόρους (Schlegelmilch & Joas 2015) και να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη φορολογική τους βάση (Eurostat 2013).

Φόροι ποσότητας και αξίας

Οι φόροι ποσότητας επιβάλλουν ένα συγκεκριμένο ποσό φόρου ανά μονάδα ποσότητας που παράγεται ή καταναλώνεται. Τα φορολογικά έσοδα εξαρτώνται μόνο από την παραγόμενη/καταναλισκόμενη ποσότητα και όχι από τις τιμές. Για παράδειγμα, η επιβολή φόρου στην ποσότητα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (λ.χ. 20 €/MWh) ανεξάρτητα από την τιμή χρέωσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι φόροι αξίας επιβάλλονται ως ποσοστό επί των τιμών των αγαθών. Τα έσοδα δεν εξαρτώνται μόνο από την παραγόμενη/καταναλισκόμενη ποσότητα του αγαθού αλλά και από την τιμή του. Αυτό σημαίνει ότι οι παράγοντες της αγοράς, η προσφορά και η ζήτηση, επηρεάζουν τις τιμές και έχουν άμεση επίδραση στα φορολογικά έσοδα. Η επιβολή φόρου επί της αξίας της ποσότητας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ένα παράδειγμα.

Άμεσοι και έμμεσοι φόροι

Άμεσοι περιβαλλοντικοί φόροι είναι αυτοί που καταβάλλονται άμεσα από αυτόν που καταναλώνει τη φορολογική βάση. Παράδειγμα άμεσου φόρου αποτελούν τα τέλη κυκλοφορίας οχημάτων, όπου ο ιδιοκτήτης του οχήματος είναι υπεύθυνος για την άμεση απόδοση του φόρου στο κράτος.

Έμμεσοι περιβαλλοντικοί φόροι είναι αυτοί που καταβάλλει ο καταναλωτής, αλλά εισπράττονται και αποδίδονται στο κράτος από τους ενδιάμεσους εμπλεκόμενους φορείς. Ένας φόρος επί της ηλεκτρικής ενέργειας ή το τέλος πλαστικής σακούλας που πληρώνει ο καταναλωτής αλλά εισπράττονται και αποδίδονται στο κράτος από τον προμηθευτή, θεωρούνται έμμεσοι φόροι.

Συνήθως, η ταξινόμηση των περιβαλλοντικών φόρων γίνεται σύμφωνα με τη φορολογική τους βάση. Διακρίνονται σε φόρους που σχετίζονται με α) την ενέργεια (ενεργειακοί φόροι), συμπεριλαμβανομένων των καυσίμων για τις μεταφορές, β) τις μεταφορές (φόροι μεταφορών), εξαιρουμένων των καυσίμων για τις μεταφορές, γ) τη ρύπανση και δ) τη χρήση πόρων (π.χ. φόροι εκπομπών, μη-ενεργειακών προϊόντων, πρώτων υλών και αποβλήτων).

Οι φόροι ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων των φόρων CO₂ και των καυσίμων για τις μεταφορές)

Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι φόροι επί της παραγωγής ενέργειας και επί των ενεργειακών προϊόντων που χρησιμοποιούνται τόσο στις μεταφορές όσο και για λοιπές χρήσεις. Τα πιο σημαντικά ενεργειακά προϊόντα στον τομέα των μεταφορών είναι η βενζίνη και το ντίζελ και για λοιπές χρήσεις το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και η ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, περιλαμβάνονται οι φόροι που επιβάλλονται στα αποθέματα των ενεργειακών προϊόντων, στα βιοκαύσιμα και σε οποιαδήποτε μορφή ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ακόμη, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι φόροι επί των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και οι φόροι διοξειδίου του θείου (SO₂).

Οι φόροι διοξειδίου του άνθρακα υπάγονται περισσότερο στην κατηγορία των ενεργειακών φόρων, παρά στους φόρους ρύπανσης. Συνήθως, δεν είναι εφικτό οι φόροι CO₂ να προσδιοριστούν χωριστά στις φορολογικές στατιστικές, επειδή είναι ενσωματωμένοι στους ενεργειακούς φόρους. Επιπλέον, εισάγονται αρκετές φορές ως υποκατάστατο άλλων φόρων ενέργειας και τα έσοδα τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλα σε σύγκριση με τα έσοδα από τους φόρους ρύπανσης. Αυτό σημαίνει ότι η κατάταξη των φόρων CO₂ στους φόρους ρύπανσης αντί στους ενεργειακούς φόρους θα στρέβλωνε τα στοιχεία και τις συγκρίσεις τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Επομένως, εφόσον οι φόροι CO₂ είναι αναγκαίο να σημαίνονται χωριστά, θα πρέπει να αναφέρονται ως χωριστή κατηγορία δίπλα στους ενεργειακούς φόρους.

Επίσης, τα κρατικά έσοδα από τον πλειστηριασμό των αδειών εκπομπών ρύπων, παρόλο που δεν θεωρούνται φορολογικά έσοδα με την στενή έννοια του όρου, αντιμετωπίζονται ως τέτοια στα πλαίσια των εθνικών λογαριασμών και συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των ενεργειακών φόρων. Το πιο σημαντικό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον κόσμο είναι το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (EU ETS).

Οι φόροι μεταφορών (εξαιρουμένων των καυσίμων για τις μεταφορές)

Οι φόροι μεταφορών περιλαμβάνουν τους φόρους που συνδέονται με την κυριότητα, τη χρήση και τον λοιπό εξοπλισμό των μεταφορικών μέσων (μηχανοκίνητα οχήματα, αεροπλάνα, πλοία, σιδηρόδρομοι, κ.ά.), καθώς και με συναφείς υπηρεσίες μεταφορών (π.χ. τα ετήσια τέλη κυκλοφορίας, οι δασμοί για ναυλωμένες ή τακτικές πτήσεις, κ.ά.). Από τους φόρους μεταφορών εξαιρούνται οι φόροι στη βενζίνη, στο ντίζελ και στα λοιπά καύσιμα, οι οποίοι εμπεριέχονται στους ενεργειακούς φόρους. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να

επισημανθεί ότι, οι φόροι επί των εκπομπών CO₂ των οχημάτων που εισάγονται ως εφάπαξ φόροι ή ως ετήσιοι φόροι και δεν έχουν σχέση με την πραγματική χρήση των οχημάτων ή με τις πραγματικές εκπομπές που παράγονται, θεωρούνται ως φόροι μεταφορών και όχι ως φόροι ενέργειας. Διότι ως φορολογική βάση λαμβάνεται μία τεχνική ιδιότητα του οχήματος, όπως οι μέσες εκπομπές CO₂ ανά 100 km ή η μέση κατανάλωση καυσίμου ανά 100 km, σε συνδυασμό με άλλα παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά, π.χ. το βάρος του οχήματος ή η ισχύς του κινητήρα.

Οι φόροι ρύπανσης

Πρόκειται για φόρους που επιβάλλονται σε ρυπογόνες δραστηριότητες. Περιλαμβάνει τους φόρους που επιβάλλονται στις μετρούμενες ή εκτιμώμενες εκπομπές ρύπων στον αέρα, στο νερό, στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και στις εκπομπές θορύβου (με εξαίρεση τους φόρους επί εκπομπών CO₂, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, αυτοί υπάγονται στους ενεργειακούς φόρους).

Οι φόροι χρήσης πόρων

Με εξαίρεση τους φόρους στο πετρέλαιο και στο φυσικό αέριο, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τους φόρους που συνδέονται με την εξόρυξη ή τη χρήση φυσικών πόρων, όπως το νερό, τα δάση, η άγρια χλωρίδα και πανίδα, κ.λπ., καθώς οι δραστηριότητες αυτές εξαντλούν τους φυσικούς πόρους. Επίσης, υπάγονται οι ειδικοί φόροι που καταβάλλονται για τη μεταβολή των τοπίων περιβάλλοντος (π.χ. καταστροφή των δασών).

Εξαιρούμενοι Φόροι

Οι φόροι που εξαιρούνται από την έννοια των περιβαλλοντικών φόρων είναι: α) ο φόρος προστιθέμενης αξίας, β) οι φόροι γης, γ) οι φόροι στα μισθώματα των περιουσιακών στοιχείων του υπεδάφους, δ) οι φόροι οينوπνευματωδών ποτών, καπνού και συναφών καταναλωτικών ειδών, ε) οι φόροι επί του εισοδήματος και επί της εργασίας.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της χρήσης των περιβαλλοντικών φόρων, όπως αυτά αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Συνδέονται στενά με τη θεμελιώδη αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», που προβλέπει ότι το περιβαλλοντικό κόστος πρέπει να χρηματοδοτείται από τους ρυπαίνοντες και να αντανakλάται στις τιμές των αγαθών και των υπηρεσιών που προκαλούν τη ρύπανση (EEA 1996, 2005). Υπό την έννοια αυτή, μπορεί να θεωρηθούν ως δίκαιοι φόροι, αφού αυτοί που επιλέγουν να ρυπαίνουν περισσότερο πληρώνουν περισσότερα (Λαζαρέτου 2010).
- Αποτελούν ιδιαίτερα αποτελεσματικά εργαλεία για την εσωτερίκευση του εξωτερικού κόστους. Η εσωτερίκευση του περιβαλλοντικού κόστους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μία αποτελεσματική περιβαλλοντική πολιτική (Bithas 2006). Οι περιβαλλοντικοί φόροι συμβάλλουν στην εσωτερίκευση των εξωτερικοτήτων με λιγότερο παρεμβατικό τρόπο. Με την άμεση ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού κόστους στις τιμές των αγαθών, των υπηρεσιών ή των δραστηριοτήτων που δημιουργούν το κόστος αυτό, αντανakλάται το πραγματικό κοινωνικό κόστος και επιτυγχάνεται μία δίκαιη και αποτελεσματική κατανομή των

πόρων της οικονομίας (EEA 1996, Ekins et al. 2012). Ωστόσο, παρόλο που η εσωτερική του εξωτερικού κόστους είναι ελκυστική από θεωρητικής απόψεως, στην πράξη σημαντικό πρόβλημα παραμένει η ακριβής εκτίμηση του εξωτερικού κόστους και της ποσοτικοποίησης των τοπικών ζημιών που προκαλεί η ρύπανση, παρά την πρόοδο που έχει επιτευχθεί στις μέρες μας (Heine et al. 2012, Schlegelmilch & Joas 2015).

- Βελτιώνουν την ανταγωνιστικότητα εναλλακτικών λύσεων λιγότερο ρυπογόνων. Για παράδειγμα, ένα φόρος επί των καυσίμων των οχημάτων αυξάνει τη ζήτηση για εναλλακτικές λύσεις χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών, όπως η δημόσια συγκοινωνία ή η ποδηλασία (OECD 2010).
- Ενθαρρύνουν την ανάπτυξη νέων τεχνολογικών καινοτομιών ή/και την υιοθέτηση των ήδη υπαρχόντων μεθόδων παραγωγής χαμηλής ρύπανσης (λ.χ. η παροχή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές), που οδηγούν σε παραγωγικές διαδικασίες και προϊόντα φιλικότερα προς το περιβάλλον. Για παράδειγμα, η επιβολή φόρου επί των θειούχων καυσίμων ενθαρρύνει την ανάπτυξη νέων, λιγότερο ρυπογόνων καυσίμων. Οι καινοτομίες μπορούν, επίσης, να βοηθήσουν στη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας. (Barde 1994, Porter & Van der Linde 1995, EEA 1996, 2005, Klok et al. 2004, Faure et al. 2006, OECD 2010, Acemoglu et al. 2012, Vollebergh 2013).
- Έχουν ελάχιστα διοικητικά έξοδα και μικρότερη γραφειοκρατία σε σύγκριση με άλλους φόρους (Glomm et al. 2008). Όταν ένας περιβαλλοντικός φόρος μπορεί να συμπεριληφθεί στα ήδη υπάρχοντα συστήματα φόρων, δεν συνεπάγεται ιδιαίτερο διοικητικό κόστος. Αντίθετα, όταν απαιτείται η σύσταση νέων συστημάτων φορολογίας ή παρακολούθησης (π.χ. συστήματα εκπομπών ρύπων), η διοικητική επιβάρυνση είναι μεγαλύτερη (EEA 1996).
- Συνεπάγονται μικρότερο οικονομικό κόστος και θεωρούνται αποτελεσματικότερο μέσο από ότι οι κανονισμοί «διοίκησης και ελέγχου». Οι περιβαλλοντικοί φόροι είναι ελκυστικοί, επειδή μπορούν να πείσουν έναν ρυπαίνοντα να μειώσει τη ρύπανση μέχρι το σημείο όπου το οριακό κόστος της μείωσης της ρύπανσης είναι ίσο με τον φόρο και να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς στόχους με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Οι περιβαλλοντικοί οικονομολόγοι έχουν αποδείξει ότι οι πράσινοι φόροι συνεπάγονται χαμηλότερο οικονομικό κόστος για την κοινωνία συγκριτικά με τα κανονιστικά πρότυπα, καθώς απαιτούν λιγότερο λεπτομερείς πληροφορίες και μικρότερο διοικητικό κόστος επιβολής και ελέγχου, επιτυγχάνοντας την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Η χρήση της φορολογίας παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στις επιχειρήσεις, διότι επιτρέπει να αποφασίσουν ελεύθερα τον τρόπο ελέγχου και μείωσης της ρύπανσης. Ένας περιβαλλοντικός φόρος επιτρέπει σε κάθε ρυπαίνοντα να αποφασίσει αν τον συμφέρει να πληρώσει τον φόρο ή να μειώσει τη ρύπανση. Οι ρυπαίνοντες που αντιμετωπίζουν υψηλό κόστος μείωσης της ρύπανσης θα επιλέξουν να πληρώσουν τον φόρο, ενώ εκείνοι που αντιμετωπίζουν χαμηλό κόστος θα προτιμήσουν να περιορίσουν τη ρύπανση και να αποφύγουν την καταβολή του φόρου. Αντίθετα, οι κανονισμοί καθορίζουν ρητά τα όρια εκπομπών ρύπανσης, την τεχνολογία και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν άμεσα. Ένας κανονισμός ελέγχου αναμένει από όλους τους ρυπαίνοντες να περιορίσουν τη ρύπανση που προκαλούν κατά τον ίδιο βαθμό ανεξάρτητα από το κόστος εφαρμογής

που απαιτείται³ (EEA 1996, 2005, Stavins 2003, Faure et al. 2006, Kosonen & Nicodème 2009).

- Αυξάνουν τα δημόσια έσοδα και οδηγούν σε ένα «διπλό μέρισμα». Η επιβολή νέων ή η αύξηση υφιστάμενων περιβαλλοντικών φόρων αφενός βοηθά στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων αφετέρου αυξάνει τα δημόσια έσοδα (Sandmo 2009), αποτελώντας έναν τρόπο αντιμετώπισης της οικονομικής κρίσης και του προβλήματος του ισοσκελισμού των ελλειμματικών προϋπολογισμών εκ μέρους των κυβερνήσεων (De Miguel et al., 2015). Δεδομένου ότι οι παραγωγοί και οι καταναλωτές πιθανώς δεν θα σταματήσουν πλήρως τις δραστηριότητές τους, η επιβολή των περιβαλλοντικών φόρων θα διευρύνει τη φορολογητέα βάση και θα αυξήσει τα φορολογικά έσοδα. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις οι περιβαλλοντικοί φόροι αποτελούν μόνιμη πηγή εσόδων. Παράδειγμα αποτελεί ο φόρος στις πλαστικές σακούλες που επιβλήθηκε στην Ιρλανδία και οδήγησε σε σημαντική μείωση της χρήσης τους από τους καταναλωτές. Όμως, ένας σημαντικός αριθμός συνεχίζει να πωλείται, παρά την αύξηση του φορολογικού συντελεστή, με αποτέλεσμα ο φόρος να εξακολουθεί να φέρνει σημαντικά έσοδα (Bassi et al. 2009). Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας και η χαμηλή αντίδρασή της σε μεταβολές των τιμών (ανελαστική ζήτηση) καθιστά τον τομέα αυτόν ιδανική φορολογική βάση και πηγή αύξησης των δημοσίων εσόδων. Αυτά τα έσοδα δύναται να χρησιμοποιηθούν τόσο για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και την κάλυψη των περιβαλλοντικών δαπανών (Barde 1994, Filipovic & Golusin 2015) όσο και για τη μείωση άλλων στρεβλωτικών φόρων (λ.χ. των φόρων επί της εργασίας), οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο σε ένα «διπλό μέρισμα» (Goulder 1995, EEA 1996, 2005, Gago et al. 2014).
- Προλαμβάνουν την «κλοπή» της περιβαλλοντικής ευημερίας από τους ρυπαίνοντες. Η απουσία ενός συστήματος πληρωμής για τη χρησιμοποίηση των περιβαλλοντικών πόρων οδηγεί σε «κλοπή» της περιβαλλοντικής ευημερίας εκ μέρους των ρυπαίνοντων και εις βάρος του κοινωνικού συνόλου, κάτι που δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό από μία δημοκρατική κοινωνία. Οι περιβαλλοντικοί φόροι και οι χρεώσεις που συνεπάγονται αποτελούν εργαλείο πρόληψης αυτού του είδους της «κλοπής» (Bithas 2006).

Στον αντίποδα των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι περιβαλλοντικοί φόροι παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα που αποτελούν ισχυρά επιχειρήματα όσων αντιτίθενται στην ιδέα της πράσινης φορολόγησης, όπως:

- Δεν είναι πάντα αποτελεσματικοί. Όταν το ύψος τους είναι πολύ χαμηλό, αποτυγχάνουν να εσωτερικεύσουν πλήρως το περιβαλλοντικό κοινωνικό κόστος και συχνά δεν πληρώνονται από τα μέλη των ισχυρών λόμπι, ιδιαίτερα στους τομείς εντάσεως ενέργειας (Ward & Cao 2012).

³ Θεωρητικά, ένας κανονισμός θα μπορούσε να εφαρμοστεί με διαφορετικό τρόπο για κάθε ρυπαίνοντα, αλλά το υψηλό διοικητικό κόστος και οι απαιτούμενες πληροφορίες καθιστούν απαγορευτικό κάτι τέτοιο.

- Οδηγούν σε μείωση της φορολογικής βάσης. Η επιλογή της πράσινης φορολόγησης μπορεί βραχυχρόνια να αυξάνει τη φορολογική βάση, μακροπρόθεσμα, όμως, οδηγεί σε μείωσή της, καθώς πληρούνται οι περιβαλλοντικοί στόχοι. Ενώ αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί από περιβαλλοντικής άποψης ως επιτυχία, από φορολογικής άποψης ενέχει τον κίνδυνο της σταδιακής συρρίκνωσης των εσόδων (Bassi et al. 2009).
- Προκαλούν οικονομικές στρεβλώσεις. Οι περιβαλλοντικοί φόροι προκαλούν στρεβλώσεις στην οικονομία, ιδιαίτερα όταν τα έσοδα δεν χρησιμοποιούνται για την μείωση άλλων φόρων. Ενδεχομένως να οδηγούν σε αύξηση του πληθωρισμού και να προκαλούν αυξήσεις του κόστους παραγωγής (Bassi et al. 2009). Βέβαια, από την άλλη πλευρά, η πράσινη φορολογία αυξάνει τις επενδύσεις και την απασχόληση σε τομείς που παράγουν αγαθά φιλικότερα προς το περιβάλλον (Oueslati et al. 2016).
- Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι περισσότερο δαπανηροί και λιγότερο αποτελεσματικοί από ότι οι κανονισμοί. Σε περιπτώσεις σοβαρών περιβαλλοντικών απειλών, όπου ο χρόνος αντίδρασης είναι περιορισμένος, οι κανονισμοί είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο για την επίτευξη του σχετικού στόχου (Faure et al. 2006). Για παράδειγμα, υπάρχουν κατηγορίες ρύπανσης που ακόμη και οι ελάχιστες εκπομπές είναι τόσο τοξικές, ώστε να κρίνεται απαραίτητη η τήρηση των θεσμοθετημένων κατώτατων ορίων ανά πάσα στιγμή (Dresner et al. 2006a).
- Δημιουργούν αναδιανεμητικά προβλήματα. Τα χαμηλού εισοδήματος νοικοκυριά είναι συγκριτικά περισσότερο ευάλωτα από ό,τι τα πλούσια. Οι πράσινοι φόροι και ιδιαίτερα οι φόροι ενέργειας και μεταφορών, όταν δε συνοδεύονται από σχετική αποζημίωση, επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ευημερία των φτωχότερων νοικοκυριών από ό,τι των πλουσιότερων, επειδή αυτά ξοδεύουν αναλογικά μεγαλύτερο μέρος του εισοδήματός τους σε περιβαλλοντικά αγαθά, όπως η θέρμανση και το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό, βέβαια, δεν ισχύει σε όλους τους τομείς. Για παράδειγμα, η επιβολή φόρου επί των αεροπορικών ταξιδίων πλήττει κύρια τα πλούσια νοικοκυριά και λιγότερο τα χαμηλού εισοδήματος που ταξιδεύουν σπανιότερα. Οι περισσότερες εμπειρικές έρευνες επιβεβαιώνουν αυτές τις αρνητικές αναδιανεμητικές επιδράσεις (Barde 1994, EEA 1996, Baranzini et al. 2000, Ekins & Speck 2000, Ekins & Dresner 2004, Wiera et al. 2005, Kosonen & Nicodème 2009, Cottrell et al. 2010, Casal 2012, Heine et al. 2012, Chiroleu-Assouline & Fodha 2014, Gago et al. 2014).
- Η επιβολή περιβαλλοντικών φόρων μπορεί να βλάψει τη διεθνή ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, ιδιαίτερα των εντάσεως ενέργειας που ανταγωνίζονται στις παγκόσμιες αγορές αλουμινίου, τσιμέντου, χάλυβα, κ.ά. Σε ανταγωνιστικές αγορές, ακόμη και μικρές αυξήσεις του κόστους μπορεί να είναι επιζήμιες, ιδιαίτερα σε συγκεκριμένους τομείς, επιχειρήσεις ή περιοχές. Η κατάσταση γίνεται πιο σύνθετη, όταν τα παραγόμενα προϊόντα διακινούνται διεθνώς και, κατά συνέπεια, η δυνατότητα των παραγωγών να μετακυλήσουν τη φορολογική επιβάρυνση στην τιμή του προϊόντος είναι εκ των πραγμάτων μικρή. Εξαιτίας της επιβολής περιβαλλοντικών φόρων, οι επιχειρήσεις ενδέχεται να βιώσουν ένα ανταγωνιστικό μειονέκτημα στις εγχώριες και ξένες αγορές σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές τους από άλλες χώρες που δεν βιώνουν αυτές τις αυξήσεις του κόστους και να μετατοπίσουν την παραγωγή τους σε χώρες με χαμηλότερους φόρους (Barde 1994,

EEA 1996, Baranzini et al. 2000, Ekins & Speck 2000, Kosonen & Nicodème 2009, Barker et al. 2009, Cottrell et al. 2010, Λαζαρέτου 2010, Heine et al. 2012).

Εμπόδια κατά την εφαρμογή των περιβαλλοντικών φόρων

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι περιβαλλοντικοί φόροι, στην πράξη χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό από τον αναμενόμενο, εξαιτίας των προαναφερθέντων μειονεκτημάτων αλλά και της ύπαρξης περαιτέρω εμποδίων κατά την εφαρμογή τους, όπως:

- Η στάση των κυβερνήσεων, των πολιτικών παρατάξεων και μεμονωμένων πολιτικών απέναντι στους πράσινους φόρους. Οι κυβερνήσεις θεωρούν την περιβαλλοντική φορολογία περισσότερο ως μία πηγή αύξησης των δημόσιων εσόδων και λιγότερο ως ένα αποτελεσματικό μέσο για την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, σε αντίθεση με τα σοσιαλοδημοκρατικά κόμματα, τα κεντρώα και κεντροδεξιά κόμματα είναι λιγότερο πιθανό να υιοθετήσουν και να υποστηρίξουν πράσινους φόρους, λόγω της απροθυμίας τους να φορολογήσουν τα συμφέροντα των παραγωγών, όπως οι αγρότες και οι βιομηχανίες (Daugbjerg & Svendsen 2001, Daugbjerg & Petersen 2004, Klok et al. 2004, Bassi et al. 2009).
- Η ύπαρξη ισχυρών ομάδων συμφερόντων. Από τη μία μεριά, το ευρύ κοινό και οι ομάδες περιβαλλοντικής πίεσης ερμηνεύουν τους φόρους ως «αγορά δικαιωμάτων ρύπανσης» και αντιτίθενται στην επιβολή τους (Barde 1994). Από την άλλη, οι ρυπαίνοντες συνασπίζονται σε καλά οργανωμένες ομάδες και συνήθως έχουν προνομιακή σχέση με πολιτικά κόμματα και δυνατότητα πρόσβασης και άσκησης πιέσεων στα ανώτερα κυβερνητικά κλιμάκια. Αντίθετα, οι οχλούμενοι είναι συνήθως διασκορπισμένοι και πολιτικά ανοργάνωτοι (Kasa 2000, OECD 2005). Στην πράξη, βέβαια, οι κυβερνήσεις δεν μπορούν να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν μέτρα, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την πολιτική πραγματικότητα και τις διάφορες ομάδες συμφερόντων (Pearce 2006).
- Η αρνητική στάση των ρυπαινόντων και των πολιτών απέναντι στη φορολογία και τους κυβερνητικούς φορείς. Οι ρυπαίνοντες, ιδιαίτερα στους τομείς εντάσεως ενέργειας και χρήσης φυσικών πόρων (π.χ. χημικές βιομηχανίες, εταιρείες εξόρυξης ορυκτών πόρων κ.ά.), αντιτίθενται στους πράσινους φόρους, επειδή αυξάνουν το κόστος παραγωγής και προσπαθούν είτε να αποτρέψουν την επιβολή τους είτε να επηρεάσουν τον σχεδιασμό των φορολογικών συστημάτων, επιτυγχάνοντας χαμηλά επίπεδα φόρου ή την επιστροφή των φορολογικών εσόδων με τη μορφή επιδοτήσεων (άμεσων ή βάσει περιβαλλοντικών προϋποθέσεων) ή τη μείωση άλλων φόρων (π.χ. φόρων εισοδήματος). Επίσης, οι λέξεις «φόρος» και «περιβαλλοντικοί φόροι» ηχούν αρνητικά στα αυτιά των πολιτών, δεδομένου ότι συνδέονται με αύξηση της φορολογικής επιβάρυνσης. Πιστεύουν ότι οι κυβερνήσεις χρησιμοποιούν τους όρους «πράσινοι» και «περιβαλλοντικοί» φόροι ως κάλυψη για την απόκτηση νέων εσόδων και τη μείωση του δημοσιονομικού ελλείμματος. Δείχνουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη σε ανεξάρτητους φορείς που μπορούν να ελέγχουν και να πιστοποιούν ότι τα έσοδα πραγματικά διατίθενται για τον σκοπό που επιβάλλονται. (Klok et al. 2004, Dresner et al. 2006 a,b, Bassi et al. 2009, Hruška & Dvofíáková 2013).
- Η δυσκολία κατανόησης των πράσινων φορολογικών μεταρρυθμίσεων και της έννοιας του διπλού μερίσματος εκ μέρους των πολιτών, καθώς και η έλλειψη

ενημέρωσης εκ μέρους των κυβερνήσεων. Οι πολίτες δυσκολεύονται να κατανοήσουν την σύνδεση μεταξύ της επιβολής περιβαλλοντικών φόρων και της ταυτόχρονης μείωσης των φόρων επί της απασχόλησης, θεωρώντας τις φορολογικές μεταρρυθμίσεις ως μία άσκοπη κυκλική μετακίνηση χρημάτων. Αντίθετα, κατανοούν ευκολότερα μία φορολογική επιβάρυνση, όταν τα φορολογικά έσοδα χρησιμοποιούνται σε μέτρα υπέρ του περιβάλλοντος (Dresner et al. 2006 a,b, Vojáček & Klusák 2007, Hruška & Dvofíáková 2013).

- Ο κοινοτικός κανόνας της ομόφωνης απόφασης κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ λειτουργεί αποτρεπτικά για την εισαγωγή των περιβαλλοντικών φόρων στα φορολογικά συστήματα των κρατών-μελών και την εφαρμογή μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής πράσινης φορολογικής μεταρρύθμισης (EEA 1996, Bassi et al. 2009).
- Η ύπαρξη διεθνών συνθηκών και συμφωνιών στα πλαίσια του παγκόσμιου εμπορίου απαγορεύουν τις εθνικές επιδοτήσεις ή τους αντισταθμιστικούς δασμούς για την κάλυψη του κόστους επιβολής των περιβαλλοντικών φόρων (Westin 1994, OECD 2005).

Πράσινη φορολογία και Ευρωπαϊκή Ένωση

Από την ανάλυση των στατιστικών στοιχείων που αφορούν τους πράσινους φόρους, όπως αυτοί παρακολουθούνται και καταγράφονται από τη Eurostat (2017), για τη χρονική περίοδο 2002-2015 προέκυψε ότι:

- Το σύνολο των κρατών-μελών της ΕΕ υιοθετούν πράσινους φόρους στα φορολογικά τους συστήματα.
- Στην ΕΕ, για την παραπάνω περίοδο υπήρξε αύξηση τόσο της τάσης επιβολής πράσινων φόρων από όλα τα κράτη-μέλη όσο και των συνολικών περιβαλλοντικών φορολογικών εσόδων σε επίπεδο κοινότητας, με εξαίρεση τα έτη 2008 και 2009, όπου παρατηρήθηκε μείωση, εξαιτίας της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης. Η λήψη και εφαρμογή μέτρων δημοσιονομικής εξυγίανση και η προώθηση της πράσινης φορολογίας από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο συνέβαλαν στην εκ νέου αύξηση των πράσινων φορολογικών εσόδων από το 2010 και μετά.
- Οι περιβαλλοντικές φορολογικές πολιτικές των χωρών της ΕΕ βασίζονται κύρια στην επιβολή φόρων ενέργειας (περιλαμβανομένων των φόρων επί των καυσίμων μεταφορών), δευτερευόντως στους φόρους μεταφορών και ελάχιστα στην επιβολή φόρων στους τομείς της γεωργίας, της βιοποικιλότητας, της εξόρυξης των φυσικών πόρων και του άνθρακα. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα 3/4 των εσόδων από περιβαλλοντικούς φόρους στην ΕΕ προέρχεται από φόρους ενέργειας, ως συνέπεια εφαρμογής της Οδηγίας 2003/96/EK, με τους φόρους μεταφορών να καλύπτουν σχεδόν εξ ολοκλήρου το υπόλοιπο 1/3. Το ποσοστό των φόρων ρύπανσης και πόρων παραμένει σε εξαιρετικά χαμηλό επίπεδο.
- Το 2015, οι ενεργειακοί φόροι ήταν ιδιαίτερα «δημοφιλείς» στη Λιθουανία, το Λουξεμβούργο, τη Ρουμανία και την Τσεχία και οι φόροι μεταφορών στη Νορβηγία και τη Μάλτα (αντιπροσώπευαν το 40,6% και 40,3% αντίστοιχα των συνολικών φορολογικών τους εσόδων). Οι φόροι ρύπανσης και πόρων υιοθετήθηκαν πρόσφατα στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, για αυτό και αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρό

ποσοστό (μόλις 3,5%) των συνολικών περιβαλλοντικών φορολογικών εσόδων στην ΕΕ.

- Τα μεγαλύτερα φορολογικά έσοδα εντοπίζονται στις μεγαλύτερες οικονομίες της ΕΕ, (Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία, Ιταλία και Γαλλία). Το 63% των συνολικών φορολογικών εσόδων της ΕΕ προέρχεται από τις τέσσερις αυτές οικονομίες.
- Η Δανία έχει τον μεγαλύτερο αριθμό διαφορετικών περιβαλλοντικών φόρων (21), με την Ιταλία να ακολουθεί με 10 και το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Σουηδία να έπονται με 9. Τον μικρότερο αριθμό (2) είχαν η Βουλγαρία, η Εσθονία, το Λουξεμβούργο και η Ουγγαρία (Hodžić & Bratić 2016). Στην Ελλάδα, επιβάλλονται τέσσερις περιβαλλοντικοί φόροι: i) το τέλος ταξινόμησης οχημάτων, ii) τα τέλη κυκλοφορίας, iii) ο ειδικός φόρος κατανάλωσης ενεργειακών προϊόντων και πρόσφατα, iv) το ειδικό τέλος κατανάλωσης λεπτών πλαστικών σακουλών.
- Οι φόροι ενέργειας επιβαρύνουν περισσότερο τις επιχειρήσεις και λιγότερο τα νοικοκυριά. Σε ορισμένες χώρες (Λουξεμβούργο, Μάλτα, Αυστρία) σημαντικό ποσοστό καταβάλλεται από μη κατοίκους των χωρών αυτών, κυρίως λόγω των αγορών καυσίμων κίνησης από κατοίκους γειτονικών χωρών.
- Τα 2/3 των φόρων μεταφορών καταβάλλονται από τα νοικοκυριά και το υπόλοιπο 1/3 από τις επιχειρήσεις.
- Τα έσοδα από την επιβολή πράσινων φόρων έχουν αυξητική τάση, όχι όμως ανάλογη της δυναμικής που αναμενόταν λόγω: i) των ανησυχιών των κρατών σχετικά με τη διεθνή ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, ii) της υιοθέτησης άλλων οικονομικών μέσων, όπως τα συστήματα εμπορίας αδειών εκπομπής ρύπων και iii) των αναδιανεμητικών προβλημάτων στα φτωχότερα νοικοκυριά.
- Το ποσοστό των πράσινων φορολογικών εσόδων ως προς τα συνολικά φορολογικά έσοδα, σήμερα κυμαίνεται από 4,5% έως 10,6%. Μεσομακροπρόθεσμα, εκτιμάται ότι θα μπορούσε να ανέλθει στο 15% (Eurostat 2017).

Η Περιβαλλοντική ή Πράσινη Φορολογική Μεταρρύθμιση

Η Περιβαλλοντική ή Πράσινη Φορολογική Μεταρρύθμιση (Environmental Tax Reform-ETR) (ΠΦΜ) αντιπροσωπεύει μία σημαντική εξέλιξη στην περιβαλλοντική και δημοσιονομική πολιτική. Ορίζεται ως μία μεταρρύθμιση του εθνικού φορολογικού συστήματος, όπου υπάρχει μετατόπιση του φορολογικού βάρους από τους υφιστάμενους συμβατικούς φόρους, όπως επί της εργασίας (φόρος εισοδήματος φυσικών προσώπων, εισφορές κοινωνικής ασφάλισης εργοδοτών και εργαζομένων), του κεφαλαίου (φόρος εισοδήματος νομικών προσώπων) και της κατανάλωσης (ΦΠΑ και άλλων έμμεσων φόρων) σε επιβλαβείς για το περιβάλλον δραστηριότητες, ώστε η δημοσιονομική θέση και η συνολική φορολογική επιβάρυνση να παραμένουν αμετάβλητες (ουδετερότητα των εσόδων) (European Commission 1997, EEA 2005). Αυτή η θεωρητική ανάλυση του διπλού οφέλους των περιβαλλοντικών φόρων συναντάται στη βιβλιογραφία με τον όρο «διπλό μέρισμα» (double dividend) (Pearce 1991, Goulder 1995).

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται δύο γενιές ΠΦΜ που διαφέρουν τόσο στον καθοδηγητικό σχεδιασμό όσο και στις διαδικασίες ανακύκλωσης των εσόδων. Η πρώτη γενιά ΠΦΜ εφαρμόστηκε από τη Φινλανδία (1990), τη Σουηδία (1991), τη Νορβηγία (1992) και

την Ολλανδία (1992), επικεντρώθηκε στους φόρους άνθρακα και τα εν λόγω έσοδα χρησιμοποιήθηκαν κύρια στη μείωση του φόρου εισοδήματος. Περιλάμβανε πολλές εξαιρέσεις για τους τομείς εντάσεως ενέργειας, προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη μετεγκατάσταση των αντίστοιχων επιχειρήσεων. Η δεύτερη γενιά ορίστηκε για πρώτη φορά από τη Φινλανδία στα τέλη της δεκαετίας του 1990, με μεγαλύτερη έμφαση στην αύξηση των συμβατικών ενεργειακών φόρων και στοχευόμενη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης που επηρεάζουν άμεσα το κόστος της εργασίας. Ακολούθησαν το 1996 οι Κάτω Χώρες και το Ηνωμένο Βασίλειο και το 1999 η Γερμανία με μία φιλόδοξη φορολογική μεταρρύθμιση, η οποία επικεντρώθηκε στην επέκταση και την αύξηση των φόρων επί της ενέργειας για τους τελικούς καταναλωτές και την επακόλουθη μείωση των εισφορών κοινωνικής ασφάλισης (Gago et al. 2014).

Τα τελευταία χρόνια, έχουν συσταθεί 19 σχετικές επιτροπές (Green Tax Commissions) σε ευρωπαϊκές χώρες, αλλά μόνο οκτώ κράτη-μέλη της ΕΕ έχουν υιοθετήσει εκτεταμένες πράσινες φορολογικές μεταρρυθμίσεις (Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ολλανδία, Πορτογαλία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο). Στοιχεία τέτοιων μεταρρυθμίσεων εφαρμόζονται στην Ιρλανδία και την Ιταλία, ενώ από τα δώδεκα νεότερα κράτη-μέλη της ΕΕ μόνο δύο (η Εσθονία και η Τσεχία) εξήγγειλαν ρητά και εφαρμόζουν μία ΠΦΜ (Speck & Jilkova 2010, Ercolano et al. 2014, Ζαχαριάδης 2015). Στην Ελλάδα, δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα μία ΠΦΜ.

Γενικότερα, από τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι η εφαρμογή ΠΦΜ στις χώρες της ΕΕ είχε θετικές επιδράσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην οικονομία. Για παράδειγμα, η θεωρία του «διπλού μερίσματος» αποδείχθηκε αληθινή σε πέντε χώρες της ΕΕ που εφάρμοσαν μία πλήρη μορφή ΠΦΜ (Σουηδία, Δανία, Κάτω Χώρες, Φινλανδία και Γερμανία), ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο η μεταρρύθμιση ήταν ουδέτερη. Τα κυριότερα και άμεσα οφέλη εντοπίζονται στον τομέα του περιβάλλοντος, όπου παρατηρείται μείωση της χρήσης των καυσίμων και των αερίων του θερμοκηπίου (με την επιφύλαξη του φαινομένου της «διαρροής άνθρακα»)⁴. Όσον αφορά την οικονομική δραστηριότητα, τα αποτελέσματα είναι ουδέτερα ή ακόμη και θετικά, ανάλογα με την ανακύκλωση ή μη των εσόδων από τους περιβαλλοντικούς φόρους. Αν τα έσοδα χρησιμοποιούνται για τη μείωση άλλων στρεβλωτικών φόρων, λ.χ. επί της εργασίας, μειώνεται το κόστος εργασίας των επιχειρήσεων και αυξάνεται η απασχόληση, καθώς ενθαρρύνονται αφενός οι εργοδότες να προσλάβουν περισσότερο προσωπικό (στην περίπτωση μείωσης των εργοδοτικών εισφορών) και αφετέρου περισσότεροι άνθρωποι να ενταχθούν στο εργατικό δυναμικό (στην περίπτωση μείωσης των φόρων εισοδήματος). Αντίθετα, η επιβολή πράσινων φόρων χωρίς ανακύκλωση των εσόδων οδηγεί σε μία αύξηση της συνολικής φορολογικής επιβάρυνσης, αναγκάζοντας τις επιχειρήσεις να περάσουν το επιπλέον αυτό κόστος στους καταναλωτές, οδηγώντας τελικά σε αύξηση των τιμών και σε μία απώλεια της παραγωγής και του ΑΕΠ (Neri et al. 2007, Barker et al. 2009).

⁴ Ως «διαρροή άνθρακα» νοείται το φαινόμενο όπου η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (ή γενικότερα αερίων του θερμοκηπίου) σε μία περιοχή ή χώρα οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε μία δεύτερη περιοχή ή χώρα.

Ωστόσο, παρά τα οφέλη, η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής ΠΦΜ σε επίπεδο ΕΕ έχει αποδειχθεί στην πράξη δύσκολη και παραμένει μέχρι σήμερα περισσότερο ένα εθνικό ζήτημα, με μόνη εξαίρεση την εναρμόνιση των κρατών-μελών με την οδηγία 2003/96/ΕΚ για την ενεργειακή φορολογία. Ως κύριοι λόγοι αναφέρονται ο κοινοτικός κανόνας της ομόφωνης απόφασης κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων στην ΕΕ και η πολιτική αντίστασης των κρατών-μελών στο ενδεχόμενο μεταβίβασης φορολογικών αρμοδιοτήτων από το εθνικό στο ευρωπαϊκό επίπεδο (Bassi et al. 2009, Ekins et al. 2012, Withana et al. 2014).

Παραδείγματα περιβαλλοντικών φόρων

Ορισμένα αποτελεσματικά παραδείγματα περιβαλλοντικών φόρων είναι (EEA 2005): α) ο φόρος επί των καυσίμων κινητήρων σε όλες σχεδόν τις χώρες της Ευρώπης, β) ο φόρος οξειδίου του αζώτου στη Σουηδία, γ) ο φόρος λιπασμάτων στον τομέα της γεωργίας στην Ολλανδία, δ) ο φόρος διάθεσης απορριμμάτων και ο φόρος μπαταριών στη Δανία, ε) ο φόρος φυτοφαρμάκων στη Νορβηγία, στ) το τέλος κυκλοφοριακής συμφοράς στο Λονδίνο, ζ) ο φόρος πλαστικής σακούλας στην Ιρλανδία, κ.ά. Παρακάτω αναλύονται τρία παραδείγματα πράσινων φόρων σε χώρες-μέλη της ΕΕ.

Η εισφορά/φόρος στις πλαστικές σακούλες - Η περίπτωση της Ιρλανδίας.

Ένα επίκαιρο παράδειγμα εφαρμογής περιβαλλοντικού φόρου, λόγω της πρόσφατης επιβολής από 1^η Ιανουαρίου 2018 ανάλογου φόρου στην Ελλάδα, αποτελεί η περίπτωση της εισφοράς επί της πλαστικής σακούλας στην Ιρλανδία.

Στην Ιρλανδία, μέχρι το έτος 2001, τα καταστήματα λιανικής πώλησης παρείχαν στους πελάτες τους δωρεάν τις πλαστικές σακούλες. Την εποχή εκείνη οι πλαστικές σακούλες δεν ήταν το πιο διαδεδομένο είδος απορριμμάτων στη χώρα (αποτελούσαν περίπου το 5% του συνόλου των εθνικών απορριμμάτων), ωστόσο υπήρχε διάχυτη μία εμφανής ρύπανση από πλαστικές σακούλες σε όλη την ιρλανδική ύπαιθρο και κατά μήκος των ακτών. Οι συχνοί ισχυροί άνεμοι και το έντονο τοπίο της υπαίθρου, με τους θάμνους, τους φράχτες, τις συστάδες δέντρων και τις τάφρους, συνέβαλαν αφενός μεν στο να «διανύουν» οι απορριπτόμενες πλαστικές σακούλες μεγάλες αποστάσεις αφετέρου δε να παγιδεύονται και να συσσωρεύονται κατά μήκος των δρόμων και των ακτών. Μάλιστα, η συσσώρευση αυτή ήταν ιδιαίτερα εμφανής τον χειμώνα, που δεν υπήρχε βλάστηση. Τον Μάρτιο του 2002, η ιρλανδική κυβέρνηση αποφάσισε να επιβάλει χρηματική εισφορά/φόρο με την ονομασία «PlasTax» ύψους 0,15 € ανά τεμάχιο για την παροχή πλαστικής σακούλας μίας χρήσης στους πελάτες των καταστημάτων λιανικής πώλησης. Ο φόρος ήταν αρκετά υψηλότερος από τη συνήθη τιμή πώλησης μίας πλαστικής σακούλας. Ωστόσο, δεν είχε Pigouvian χαρακτήρα, υπό την έννοια ότι δεν υπήρξε καμία προσπάθεια από την ιρλανδική κυβέρνηση να προσδιορίσει το οριακό εξωτερικό κόστος της χρήσης της πλαστικής σακούλας και να καθορίσει το βέλτιστο επίπεδο (Pigouvian) του φόρου (Convery et al. 2007).

Ο συγκεκριμένος φόρος σχεδιάστηκε με στόχο να παρακινήσει τους καταναλωτές να φέρουν μαζί τους επαναχρησιμοποιούμενες τσάντες και σκοπό να μειώσει την παρουσία της πλαστικής σακούλας στο αγροτικό τοπίο και τελικά να αλλάξει τη εν γένει συμπεριφορά τους απέναντι στο περιβάλλον. Κατά τον σχεδιασμό του φόρου υπήρξε εκτεταμένη διαβούλευση της κυβέρνησης με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Χορηγήθηκε απαλλαγή από τον φόρο σε πλαστικές σακούλες κάτω από ένα ορισμένο μέγεθος για λόγους υγιεινής και ασφάλειας

των τροφίμων. Επιλέχθηκε η ανάληψη ισχυρής διαφημιστικής εκστρατείας από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, προκειμένου να τονιστεί η αναγκαιότητα εισαγωγής της εισφοράς και να καμφθεί η αντίσταση της κοινής γνώμης. Η είσπραξη των εσόδων αποφασίστηκε να γίνει από το υπάρχον φορολογικό σύστημα, μέσω της υποβολής των δηλώσεων ΦΠΑ των επιχειρήσεων, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος συλλογής. Τέλος, υπήρξε προσωπική δέσμευση του Υπουργού Οικονομικών για την εφαρμογή και στήριξη του φόρου.

Η επιβολή του φόρου, από το πρώτο κιόλας έτος εφαρμογής, είχε θεαματικά αποτελέσματα. Η χρήση της πλαστικής σακούλας σε καταστήματα λιανικής πώλησης μειώθηκε κατά 94% (από 328 σε 21 σακούλες ανά κάτοικο ετησίως) και υπήρξε αισθητή βελτίωση στο τοπίο. Τα σκουπίδια από πλαστικές σακούλες αντιπροσώπευαν πλέον μόνο το 0,32% των συνολικών εθνικών απορριμμάτων. Οι ετήσιες εισπράξεις ήταν της τάξης των 12.000.000 €, με το διοικητικό κόστος να ανέρχεται περίπου στο 3% των εσόδων. Εξαιτίας του χαμηλού ύψους του φόρου, τα έσοδα δεν ανακυκλώθηκαν στη μείωση άλλων στρεβλωτικών φόρων της οικονομίας. Τοποθετήθηκαν σε ένα περιβαλλοντικό ταμείο για την κάλυψη των διοικητικών εξόδων εφαρμογής της εισφοράς και για την προώθηση άλλων περιβαλλοντικών προγραμμάτων. Επίσης, ο φόρος δεν εισήγαγε προβλήματα ανταγωνιστικότητας, διότι το μικρό ποσοστό της εισφοράς επί του συνολικού λογαριασμού των καταναλωτών για ψώνια δεν αποτέλεσε κίνητρο «διαρροής» καταναλωτών σε γειτονικές χώρες.

Το 2006, μετά το πρώτο φορολογικό σοκ, η κατανάλωση αυξήθηκε σε 31 σακούλες ανά κάτοικο ετησίως. Σε απάντηση, η ιρλανδική κυβέρνηση αύξησε από την 1η Ιουλίου 2007 την εισφορά σε 0,22 ευρώ ανά πλαστική σακούλα, για να αποθαρρύνει περαιτέρω τους καταναλωτές. Η χρήση της πλαστικής σακούλας περιορίστηκε εκ νέου σε 16 τεμάχια ανά κάτοικο ετησίως και τα έσοδα μειώθηκαν από 26.700.000 ευρώ το 2008 σε 14.100.000 ευρώ το 2012. Εν κατακλείδι, ο φόρος έχει αποδειχθεί αποτελεσματικός τόσο περιβαλλοντικά όσο και φορολογικά και θα ήταν επιζήμιος για το ιρλανδικό δημόσιο να τον αφαιρέσει (Convery et al. 2007, Schlegelmilch & Joas 2015).

Η ΕΕ λαμβάνοντας υπόψη α) την περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλεί η ρίψη των πλαστικών σακουλών στο ύπαιθρο και τα υδάτινα οικοσυστήματα και β) το γεγονός ότι ορισμένα κράτη (όπως η Ιρλανδία, η Δανία και το Βέλγιο) είχαν καταφέρει να μειώσουν σημαντικά τα επίπεδα κατανάλωσης της πλαστικής σακούλας, εξέδωσε την Οδηγία 2015/720/ΕΕ (τροποποίηση της Οδηγίας 94/62/ΕΚ σχετικά με τη μείωση της κατανάλωσης λεπτών πλαστικών σακουλών μεταφοράς), με την οποία τα κράτη-μέλη καλούνται να μειώσουν την ετήσια κατανάλωση σε πλαστικές σακούλες ανά άτομο στις 90 μέχρι το τέλος του 2019 και στις 40 μέχρι το 2025, ή να διασφαλίσουν ότι αυτές δεν θα παρέχονται πλέον δωρεάν, αλλά θα χρεώνονται (<http://eur-lex.europa.eu>).

Στην Ελλάδα, στα πλαίσια εφαρμογής της παραπάνω Οδηγίας, αποφασίστηκε από την 1^η Ιανουαρίου 2018 η επιβολή τέλους στην κατανάλωση πλαστικών σακουλών μεταφοράς πάχους 0-50 μm της τάξης των 3 λεπτών του ευρώ και από 1 Ιανουαρίου 2019 7 λεπτών του ευρώ. Από το τέλος εξαιρούνται οι σακούλες πάχους μικρότερου των 15 μm που χρησιμοποιούνται για λόγους υγιεινής ή παρέχονται ως πρωτογενής συσκευασία χύδην τροφίμων. Σκοπός του τέλους είναι α) η μείωση της κατανάλωσης λεπτών πλαστικών σακουλών μεταφοράς και κατ' επέκταση ο περιορισμός της υψηλής συσσώρευσης αποβλήτων που προκαλούν σημαντική ρύπανση στο περιβάλλον (ιδιαίτερα στα υδάτινα οικοσυστήματα) και βλάπτουν την υγεία των καταναλωτών, β) η ενθάρρυνση δραστηριοτήτων για τη χρήση επαναχρησιμοποιούμενων τσαντών μεταφοράς. Στόχος του

μέτρου είναι η μείωση του ετήσιου κατά κεφαλήν επιπέδου κατανάλωσης λεπτών σακουλών μεταφοράς από 363 που είναι σήμερα σε 90 μέχρι τις 31.12.2019 και 40 μέχρι 31.12.2025. Ταυτόχρονα, προβλέπεται η επιβολή διοικητικών κυρώσεων (χρηματικών προστίμων) στους παραγωγούς, εμπόρους και διανομείς πλαστικών σακουλών που δεν συμμορφώνονται με τις υποχρεώσεις που ορίζει η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΦΕΚ 2812 Β'/2017) και κυμαίνονται από 200 μέχρι 10.000 ευρώ, ανάλογα με την ιδιότητα του παραβάτη.

Ο φόρος οξειδίου του αζώτου - Η περίπτωση της Σουηδίας

Η Σουηδία, αντιμετωπίζοντας από τη δεκαετία του 1980 σοβαρό πρόβλημα μόλυνσης του εδάφους και των υδάτων εξαιτίας των εκπομπών μονοξειδίου (NO) και διοξειδίου του αζώτου (NO₂) που παράγονται από τις διεργασίες καύσης των μεταφορικών μέσων, των βιομηχανιών και της ενέργειας, θέσπισε το 1992 έναν υψηλό φόρο επί των εκπομπών NO_x από μεγάλες σταθερές πηγές καύσης (π.χ. σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βιομηχανικές μονάδες, αποτεφρωτήρες απορριμμάτων). Σε αντίθεση με τις εκπομπές CO₂ και SO₂, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα των καυσίμων σε άνθρακα και θείο, οι εκπομπές NO_x παράγονται μέσω της αντίδρασης του αζώτου με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, συμβάλλοντας στη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής. Ο φόρος σχεδιάστηκε ως συμπλήρωμα των υφιστάμενων ρυθμιστικών μέτρων, με σκοπό να ενθαρρύνει τις επενδύσεις σε προηγμένες τεχνολογίες καύσης και να μειώσει τη ρύπανση (OECD 2013).

Η ανησυχία επηρεασμού της ανταγωνιστικότητας των σουηδικών επιχειρήσεων εξαιτίας της υψηλής φορολόγησης αντιμετωπίστηκε με τη θεσμοθέτηση της επιστροφής των εσόδων (πλην των διοικητικών εξόδων) που εισπράττονται από την επιβολή του φόρου ανάλογα με την εκπεμπόμενη ποσότητα NO_x. Όσες επιχειρήσεις εκπέμπουν μικρές ποσότητες NO_x ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας επωφελούνται του καθεστώτος επιστροφής, ενώ φορολογούνται μόνο οι επιχειρήσεις που εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του φόρου είναι η καθιέρωση της υποχρεωτικής διαρκούς παρακολούθησης των εκπομπών (OECD 2013).

Ο φόρος ορίστηκε σε 6000 δολάρια ανά τόνο NO_x που εκπέμπεται από μόνιμες εγκαταστάσεις καύσης που παράγουν τουλάχιστον 50 μεγαβατώρας (MWh) ωφέλιμης ενέργειας. Οι μικρότερες βιομηχανίες αποφασίστηκε να εξαιρεθούν από τον φόρο, λόγω του υψηλού κόστους που απαιτείται για την παρακολούθηση των εκπομπών. Αρχικά, ο φόρος αφορούσε περίπου 200 βιομηχανίες που παρήγαγαν περισσότερο από 50 MWh ωφέλιμης ενέργειας το έτος. Η αποτελεσματικότητά του φόρου, σε συνδυασμό με την πτώση του κόστους παρακολούθησης, οδήγησε στην επέκταση της ρύθμισης σε όλες τις βιομηχανίες παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μεταλλικών κατασκευών, χαρτοπολτού, τροφίμων, ξύλου, αποτέφρωσης αποβλήτων και χημικών προϊόντων που παράγουν περισσότερα από 25 MWh ανά έτος.

Μέσα σε 20 μήνες από την έναρξη εφαρμογής του φόρου, παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου κατά 35%. Από το 1992 έως το 2010, οι εκπομπές ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας μειώθηκαν περισσότερο από 50%. Βέβαια, αυτή η μείωση δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην επίδραση του φόρου αλλά οφείλεται και στις ειδικές ρυθμίσεις που προβλέπονται από τον Περιβαλλοντικό Κώδικα της Σουηδίας κατά την αδειοδότηση των βιομηχανιών. Επίσης, ο σχεδιασμός του φόρου τόνωσε τη ζήτηση για νέες, καινοτόμες και πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι το έτος 1992,

όταν και εισήχθη ο φόρος, μόνο το 7% των βιομηχανιών που υπαγόταν στη φορολογία είχαν εγκαταστήσει τεχνολογία μείωσης των NOx, ενώ έναν χρόνο αργότερα το ποσοστό αυτό είχε αυξηθεί στο 62% και το 1995 στο 72%. Ακόμη, λόγω της καθιέρωσης του μηχανισμού επιστροφής εσόδων, δεν υπήρξε ουσιαστική αύξηση του κόστους για τις βιομηχανίες, και ως εκ τούτου καμία επίπτωση στις τιμές των προϊόντων (OECD 2013).

Το κύριο μειονέκτημα του φόρου αυτού είναι ότι η προβλεπόμενη επιστροφή εσόδων μοιάζει με επιδότηση από την κοινωνία προς τους παραγωγούς, με συνέπεια να μην ισχύει η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει». Οι ρυπαίνοντες δεν πληρώνουν το πλήρες περιβαλλοντικό κόστος της ρύπανσης που προκαλούν και αυτό οδηγεί σε μία απώλεια ευημερίας για την κοινωνία. Επίσης, η μη αύξηση της τιμής των προϊόντων εξαιτίας του μηχανισμού επιστροφής δεν αποτελεί αποθαρρυντικό παράγοντα της ζήτησης ρυπογόνων αγαθών εκ μέρους των καταναλωτών, ενώ καθίσταται πολύ δύσκολο να επιτευχθεί μία θεμελιώδης απεξάρτηση της οικονομίας από ενεργοβόρες δραστηριότητες και η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (OECD 2013).

Η επιτυχής εφαρμογή του εν λόγω φόρου είχε ως αποτέλεσμα να θεσπιστεί ανάλογος φόρος το 2007 στη Νορβηγία, το 2010 στη Δανία, καθώς και σε άλλες χώρες, όπως η Γαλλία, η Ιταλία και η Ισπανία (OECD 2013).

Η εισφορά για την κλιματική αλλαγή - Η περίπτωση του Ηνωμένου Βασιλείου

Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει υιοθετήσει μία σειρά σημαντικών μέτρων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ των οποίων και η επιβολή εισφοράς/φόρου για την κλιματική αλλαγή (Climate Change Levy-CCL). Τον Μάρτιο του 1998, η βρετανική κυβέρνηση όρισε στον Λόρδο Marshall να εξετάσει το ενδεχόμενο χρήσης οικονομικών μέσων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον βιομηχανικό και εμπορικό τομέα. Η έκθεση Μάρσαλ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα οικονομικά μέσα θα ήταν ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση των εκπομπών και ουσιαστικά σηματοδότησε την έναρξη επιβολής μίας εισφοράς για την κλιματική αλλαγή. Η εισφορά ανακοινώθηκε τον Μάρτιο του 1999, η τελική της μορφή αποφασίστηκε τον Μάρτιο του 2000 και τέθηκε σε εφαρμογή τον Απρίλιο του 2001 (Varma 2003, Dresner et al. 2006b, Pearce 2006, Agnolucci 2009, Advani et al. 2013).

Ο φόρος σχεδιάστηκε στα πλαίσια του πρωτοκόλλου του Κιότο και των δεσμεύσεων της βρετανικής κυβέρνησης να επιτύχει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Κύριος στόχος του φόρου είναι να ενθαρρύνει τις επιχειρήσεις, μέσω της αύξησης της τιμής των συμβατικών πηγών ενέργειας, να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας ή να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η εισφορά αφορά τη βιομηχανική και εμπορική χρήση της ενέργειας και εφαρμόζεται κατά την «ώρα του εφοδιασμού». Στον φόρο υπόκειται η χρήση: α) φυσικού αερίου, υγροποιημένου αερίου πετρελαίου (LPG) ή άλλων αέριων υδρογονανθράκων σε υγρή κατάσταση, β) στερεών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, ο λιγνίτης, το κοκ (εξαιρείται το πετρέλαιο) και γ) ηλεκτρικής ενέργειας από τις επιχειρήσεις (λ.χ. χημικές βιομηχανίες ή βιομηχανίες χάλυβα), τη γεωργία (όπως η εντατική χοιροτροφία και πτηνοτροφία), το δημόσιο και τον τομέα των υπηρεσιών. Επιλέχθηκε ένας κατάντη φόρος επί της κατανάλωσης ενέργειας των επιχειρήσεων, δεδομένου ότι ένας ανάντη φόρος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα επηρέαζε έμμεσα τους καταναλωτές. Σε συνδυασμό με την CCL, η έκθεση Marshall συνέστησε την εισαγωγή ενός εθνικού συστήματος εμπορίας

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, παρέχοντας στις επιχειρήσεις πρόσθετα κίνητρα και ευελιξία για τη επίτευξη της μείωσης των εκπομπών.

Ο φόρος ορίστηκε σε 0,43 p/kWh για την ηλεκτρική ενέργεια, 0,15 p/kWh για τον άνθρακα και 0,15 p/kWh για το φυσικό αέριο. Από 1 Απριλίου 2007, αποφασίστηκε η εισφορά να αυξάνεται σε ετήσια βάση σύμφωνα με τον πληθωρισμό. Η αρχική εκτίμηση προέβλεπε ετήσια εξοικονόμηση άνθρακα τουλάχιστον 2 MtC (εκατομμύρια τόνων άνθρακα) μέχρι το έτος 2010, με τη μοντελοποίηση να αυξάνει το ποσό σε 3,5 MtC (ή 12,8 MtCO₂) και να προβλέπει μείωση της ενεργειακής ζήτησης στο εμπόριο και στον δημόσιο τομέα κατά 14,6%. Μεταξύ των ετών 1999 και 2005, υπολογίστηκε ότι η CCL εξοικονόμησε περίπου 60.5 MtCO₂, που προήλθε κυρίως από τις επιχειρήσεις εντάσεως ενέργειας, ενώ οι εισπράξεις από την εισφορά κατά τα έτη 2012-2013 ανήλθαν σε £ 636.000.000. Η εισφορά οδήγησε σε μείωση κατά 2% των εκπομπών CO₂ στο Ηνωμένο Βασίλειο από το 2002.

Το πιο σημαντικό εμπόδιο για την εισαγωγή μίας ΠΦΜ στο Ηνωμένο Βασίλειο ήταν η στάση του κοινού, γι' αυτό το λόγο, κατά τον σχεδιασμό της εισφοράς εξαιρούνταν οι οικιακοί χρήστες και οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο αναλυτικά, από τον φόρο εξαιρούνται: α) τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, β) οι επιχειρήσεις με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (κάτω από 1.000 kWh/μήνα ηλεκτρισμού και 4397 kWh/μήνα αερίου), γ) τα φιλανθρωπικά ιδρύματα (για τις μη επιχειρηματικές δραστηριότητες), δ) ο τομέας των μεταφορών, ε) οι οικιακοί χρήστες, στ) η ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται στο Ηνωμένο Βασίλειο και ζ) η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (η εξαίρεση καταργήθηκε από 1^η Αυγούστου 2015).

Η μεγαλύτερη ανησυχία των επιχειρήσεων σχετικά με τον φόρο αφορούσε την επίπτωση στην ανταγωνιστικότητα. Η επιβολή ενός ενεργειακού φόρου μπορούσε να προκαλέσει αλλαγές στις καθαρές εξαγωγές των βιομηχανιών ενέργειας και να επηρεάσει τη διεθνή ανταγωνιστικότητα των βρετανικών επιχειρήσεων, ιδιαίτερα όταν ανταγωνιστικές επιχειρήσεις άλλων χωρών δεν επιβαρύνονταν από παρόμοιους περιβαλλοντικούς φόρους. Έτσι, προβλέφθηκε έκπτωση κατά 80% του ποσοστού της εισφοράς που υποχρεούνται να καταβάλλουν οι βιομηχανίες εντάσεως ενέργειας (από τον Απρίλιο του 2011 η έκπτωση για το φυσικό αέριο, τον άνθρακα και το υγραέριο μειώθηκε στο 65%, ενώ από τον Απρίλιο του 2013 η έκπτωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε σε 90%) με αντάλλαγμα την επίτευξη συμφωνηθέντων στόχων εξοικονόμησης ενέργειας ή μείωσης των εκπομπών κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης περιόδου (10 ετών) μέσω εθελοντικών συμφωνιών για την κλιματική αλλαγή (Climate Change Agreements-CCAs). Μη επίτευξη των στόχων σημαίνει αυτόματα και απώλεια των εκπτώσεων. Επιπλέον μείωση πέρα από τον τιθέμενο στόχο δημιουργεί μία πίστωση η οποία μπορεί να γίνεται αντικείμενο διαπραγμάτευση, μέσω του συστήματος εμπορίας εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Επίσης, αποφασίστηκε η ανακύκλωση των φορολογικών εσόδων στις επιχειρήσεις, κυρίως μέσω της μείωσης των εργοδοτικών ασφαλιστικών εισφορών (αρχικά κατά ποσοστό 0,3-0,4% και από το 2002 κατά 1%) αλλά και μέσω της στήριξης επενδυτικών προγραμμάτων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση. Η συνολική καθαρή φορολογική επιβάρυνση από την επιβολή της εισφοράς είναι θεωρητικά μηδενική, δεδομένου ότι τα έσοδα, κατά κύριο λόγο, ανακυκλώνονται. Ωστόσο, στην πράξη, για κάθε επιμέρους κλάδο ο φόρος μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός ανάλογα με το αν οι πληρωμές (που εξαρτώνται από την κατανάλωση ενέργειας) υπερβαίνουν ή όχι τις μειώσεις των εργοδοτικών εισφορών.

Η εισαγωγή της εισφοράς για την κλιματική αλλαγή και η χορήγηση εκπτώσεων βάσει συμφωνηθέντων στόχων αποτέλεσαν πρωτοποριακά μέτρα χωρίς προηγούμενο για το Ηνωμένο Βασίλειο (Ray et al., 2007). Όμως, παρά την συμβολή της CCL και των CCA στην άμβλυνση των εκπομπών CO₂ και τις αμελητέες επιπτώσεις στην ανταγωνιστικότητα και την απασχόληση, ορισμένες ατέλειες που επισημάνθηκαν κατά τον σχεδιασμό εξακολουθούν να υφίστανται (Advani et al., 2013):

- Η βρετανική κυβέρνηση αποφάσισε να επιβάλει την εν λόγω εισφορά και όχι έναν φόρο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην κατανάλωση ενέργειας, αφενός για να αποφευχθεί η φορολόγηση της οικιακής χρήσης των καυσίμων και αφετέρου για λόγους δυσκολίας προσδιορισμού της περιεκτικότητας σε άνθρακα της ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, όμως, το κόστος εξακολουθεί να επιβαρύνει τα νοικοκυριά, μέσω της αύξησης της τιμής των προϊόντων και υπηρεσιών (Varma 2003, Advani et al. 2013), ενώ ο κύριος λόγος επιβολής του φόρου ήταν η προστασία της εθνικής βιομηχανίας άνθρακα (Dresner et al. 2006b, Pearce 2006).
- Το ύψος της έκπτωσης εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλό και αποτελεί κίνητρο για τη συμμετοχή των επιχειρήσεων εντάσεως ενέργειας στις εθελοντικές συμφωνίες για την κλιματική αλλαγή (Ray et al. 2007). Από την άλλη πλευρά, όμως, οι εκπτώσεις από το φόρο οδηγούν σε λιγότερη καινοτομία και χειρότερη ενεργειακή απόδοση συγκριτικά με μία πλήρη εφαρμογή της CCL (Advani et al. 2013).
- Από τη μοντελοποίηση και την εμπειρική έρευνα (Ray et al. 2007) προκύπτει ότι η εισφορά για την κλιματική αλλαγή εισήχθη ως ένας αποτελεσματικός φόρος, αλλά στη συνέχεια δεν θεωρήθηκε σημαντικός από τις επιχειρήσεις για τους εξής λόγους: i) Οι εταιρείες δεν αναγνωρίζουν την εισφορά ως σημαντική κινητήρια δύναμη στις επενδυτικές αποφάσεις τους, ii) Η ζήτηση για ενέργεια είναι ανελαστική και ο εν λόγω φόρος αποτελεί ένα σχετικά ασήμαντο στοιχείο του λειτουργικού κόστους των μη ενεργοβόρων επιχειρήσεων (αντίθετα έχει σημαντική επίδραση στις ενεργοβόρες βιομηχανίες, όπου το κόστος της ενέργειας αποτελεί σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους).
- Το ποσοστό της εισφορά ορίστηκε εξ αρχής σε χαμηλό επίπεδο και παρέμεινε στάσιμο για αρκετό διάστημα.
- Η μακροχρόνια αβεβαιότητα στην κυβερνητική πολιτική για την κλιματική αλλαγή αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα για την αποτελεσματικότητα του φόρου.

Συμπεράσματα

Με την παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η παρουσίαση ενός χρήσιμου και διαδεδομένου εργαλείου άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής, αυτό της Περιβαλλοντικής Φορολογίας. Αναλύθηκαν ο σκοπός και οι λειτουργίες των περιβαλλοντικών φόρων, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι κατηγορίες αυτών, καθώς και τα εμπόδια που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή τους. Πραγματοποιήθηκε σύντομη αναφορά στα περιβαλλοντικά φορολογικά έσοδα για τη χρονική περίοδο 2002-2015 και την Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση στην ΕΕ. Επιπλέον παρουσιάστηκαν τρία παραδείγματα περιβαλλοντικών φόρων σε χώρες της ΕΕ.

Από την έρευνα προέκυψε ότι το σύνολο των κρατών-μελών υιοθετούν πράσινους φόρους στα φορολογικά τους συστήματα. Οι περισσότερες χώρες έχουν επικεντρωθεί στην επιβολή

ενεργειακών φόρων, κύρια επί των καυσίμων μεταφορών και έχουν θεσπίσει ειδικές διατάξεις (εξαιρέσεις ή μειώσεις) για τον βιομηχανικό κλάδο, κυρίως για τον τομέα εντάσεως ενέργειας. Η παράθεση παραδειγμάτων επιβολής πράσινων φόρων, ιδιαίτερα η επιβολή εισφοράς στις πλαστικές σακούλες στην Ιρλανδία, έδειξε ότι είναι δυνατή η επιτυχής εφαρμογή τέτοιων φόρων, με θετικά οφέλη τόσο για το περιβάλλον όσο και για τα δημόσια έσοδα, αρκεί να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν κατάλληλα.

Ως προς την Περιβαλλοντική Φορολογική Μεταρρύθμιση, προκύπτει ότι, παρά το διπλό όφελος που παρουσιάζει (τόσο περιβαλλοντικό όσο και οικονομικό), λίγες χώρες στην ΕΕ έχουν υιοθετήσει και εφαρμόσει μέχρι σήμερα μία πλήρη ΠΦΜ, ενώ δεν κατέστη ακόμη δυνατή η εφαρμογή μίας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής ΠΦΜ. Ως κύριοι λόγοι μπορούν να αναφερθούν ο κοινοτικός κανόνας της απαιτούμενης ομοφωνίας κατά την ψήφιση δημοσιονομικών μέτρων και η ανησυχία των περισσότερων κρατών-μελών για τις πιθανές επιπτώσεις των μεταρρυθμίσεων στην ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών εντάσεως ενέργειας.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

Ζαχαριάδης, Θ. (2015). Ας μην αφήσουμε την κρίση να πάει χαμένη: Προς μία Πράσινη Φορολογική Μεταρρύθμιση. Κέντρο Οικονομικών Ερευνών Πανεπιστημίου Κύπρου, Σχόλιο Οικονομικής Πολιτικής, Τεύχος 29, Απρίλιος.

Λαζαρέτου, Θ. (2010). Πράσινοι φόροι: Οι τάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Περιοδικό Επιχείρηση, Τεύχος Ιανουαρίου.

II. Ξενόγλωσση

Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, Vol. 102, No. 1, pp.131-166.

Advani, A., Bassi, S., Bowen, A., Fankhauser, S., Johnson, P., Leicester, A., Stoye, G. (2013). Energy Use Policies and Carbon Pricing in the UK. IFS Report R84. The Institute for Fiscal Studies.

Agnolucci, P. (2009). The effect of the German and British environmental taxation reforms: A simple assessment. *Energy Policy*, Vol. 37, No. 8, pp.3043-3051.

Barker, T., Ekins, P., Junankar, S., Pollitt, H. & Summerton, P. (2009). The competitiveness effects of European environmental fiscal reforms. *European Review of Energy Market*, Vol. 3, No. 1, pp.1-33.

Baranzini, A., Goldemberg, J., Speck, S. (2000). A future for carbon taxes. *Ecological Economics*, Vol. 32, No. 3, pp. 395–412.

Barde J. Ph. (1994). Economic instruments in environmental policy: lessons from the OECD experience and their relevance to developing economies. OECD Development Center, Working Paper No. 92.

Bassi, S., Ten Brink, P., Pallemerts, M., (IEEP) & Von Homeyer, I. (Ecologic) (2009). Feasibility of Implementing a Radical ETR and its Acceptance. Report under task C of the ‘Study on Tax Reform in Europe over the NextDecades: Implication for the Environment, for Eco/Innovation and for Household Distribution’.

Bithas, K. (2006). The necessity for environmental taxes for the avoidance of environmental thievery. A note on the paper Environmental responsibility versus taxation. *Ecological Economics*, Vol. 56, No. 2, pp.159-161.

- Casal, P. (2012). Progressive environmental taxation: A defence. *Political Studies*, Vol. 60, No. 2, pp. 419-433.
- Chiroleu-Assouline, M., Fodha M. (2014). From regressive pollution taxes to progressive environmental tax reforms. *European Economic Review*, Vol. 69, pp. 126-142.
- Convery, F., McDonnell, S., Ferreira, S. (2007). The most popular tax in Europe? Lessons from the Irish plastic bags levy. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 38, pp.1-11.
- Cottrell, J., Mander, R., Schmidt, S., Schlegelmilch, K. (2010). Environmental fiscal reform in Europe: Research, experience and best practice. ETUI Policy Brief, Issue 5/2010 European Trade Union Institute, Brussels.
- Daugbjerg, C., Petersen, A.B. (2004). New Policy Ideas and Old Policy Networks: Implementing Green Taxation in Scandinavia. *Journal of Public Policy*, Vol. 24, No. 2, pp. 219-249.
- Daugbjerg, C., Svendsen, G.T. (2001). Green taxation in question: Politics and economic efficiency in environmental regulation. Basingstoke, UK: Palgrave.
- De Miguel, C., Montero, M., Bajona, C., (2015). Intergenerational effects of a green tax reform for a more sustainable social security system. *Energy Economics*, Vol. 52, Supplement 1, pp. S117-S129.
- Dresner, S., Dunne, L., Clinch, P., Beauermann, C. (2006a). Social and political responses to ecological tax reform in Europe: an introduction to the special issue. *Energy Policy*, Vol. 34, No. 8, pp. 895-904.
- Dresner, S., Jackson, T., Gilbert, N. (2006b). History and social responses to environmental tax reform in the United Kingdom. *Energy Policy*, Vol. 34, No. 8, pp. 930-939.
- Ekins, P., Speck, S. (2000). Proposals of environmental fiscal reforms and the obstacles to their implementation. *Journal of Environmental Policy and Planning*, Vol. 2, No. 2, pp.93-114.
- Ekins, P., Dresner, S. (2004). Reducing the Impact of 'Green' Taxes and Charges on Low-income Households. Joseph Rowntree Foundation, York, UK.
- Ekins, P., Pollitt, H., Summerton, Ph., Chewpreecha, U. (2012). Increasing carbon and material productivity through environmental tax reform. *Energy Policy*, Vol. 42, pp. 365-376.
- Ercolano, S., Gaeta, G.L., Romano, O. (2014). Environmental tax reform and individual preferences: An empirical analysis on European micro data. *Journal of Behavioral and Experiment Economics*, Vol. 51, pp.1-11.
- European Commission (1997). Tax Provisions with a Potential Impact on Environmental Protection. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- European Environment Agency (1996). Environmental Taxes: Implementation and Environmental Effectiveness. Environmental Issues Series No 1, Copenhagen.
- European Environment Agency (2005). Market-based Instruments for Environmental Policy in Europe. EEA Technical Report No. 8/2005. Copenhagen, Denmark.
- Eurostat (2013). Manuals and guidelines. Environmental taxes. A statistical guide. Publications Office of the European Union, Luxembourg 2013.
- Eurostat (2017). Statistics Explained. Environmental tax statistics. (Data extracted in March 2017. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Environmental_tax_statistics#Database)
- Faure, M., Peeters, M., Wibisana, A. (2006). Economic instruments: suited to developing countries? In: Faure, M., Niessen, N. (Eds), *Environmental Law in Development: Lessons from the Indonesian Experience*, Cheltenham: Edward Elgar, pp. 218-262.

- Filipovic, S., Golusin, M. (2015). Environmental taxation policy in the EU- new methodology approach. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 88, pp. 308-317.
- Gago, A., Labandeira, X., López-Otero, X. (2014). A panorama on energy taxes and green tax reforms. *Hacienda Pública Española/Review of Public Economics*, Vol. 208, No. 1, pp. 145-190.
- Glomm, G., Kawaguchi, D., Sepulveda, F. (2008). Green taxes and double dividends in a dynamic economy. *Journal of Policy Modeling*, Vol. 30, pp. 19-32.
- Goulder, L.H. (1995). Environmental taxation and the “double dividend”: a Reader’s guide. *International Tax and Public Finance*, Vol. 2, No. 2, pp. 157-183.
- Green Fiscal Commission (2009). How Effective Are Green Taxes? Briefing Paper Two, April 2009.
- Heine, D., Norregaard, J., Parry, I. (2012). Environmental Tax Reform: Principles from Theory and Practice to Date. *International Monetary Fund Working Paper No12/180*.
- Hodžić, S., Bratić, V. (2016). Comparative analysis of environmental taxes in EU and Croatia. *Ekonomika misao i praksa*, (2), pp. 555-578.
- Hruška, Z., Dvořáková, L. (2013). Theoretical and practical problems of environmental taxation in conditions of the Czech Republic. *E&M Ekonomie a Management*, Vol. 6, No. 1, pp. 18-32.
- International Institute for Labour Studies, (2011). The Double Dividend and Environmental Tax Reforms in Europe. Joint Discussion Paper Series No. 13, November 2011.
- Kasa, S. (2000). Social and political barriers to green tax reform: The case of CO₂-taxes in Norway. *Environmental Politics*, Vol. 9, No. 4, pp. 104-122.
- Klok, J., Larsen, A., Dahl, A. & Hansen, K., (2004). Ecological Tax Reform in Denmark: history and social acceptability. *Energy Policy*, Vol. 34, No. 8, pp. 905-916.
- Kosonen, K., Nicodème, G. (2009). The role of fiscal instruments in environmental policy. Taxation papers, Working Paper No. 19, European Union.
- Miceikiene, A., Butvilaite, A. (2015). Evaluation of the experience in environmental tax reforms in the EU countries. *European Scientific Journal*, Vol. 11, No. 19, pp. 280-299.
- NERI (University of Aarhus), Cambridge Econometrics, ESRI, IEEP, University of Economics (Prague), PSI and WIIW (2007). Competitiveness Effects of Environmental Tax Reforms. Final Report to the European Commission, DG Research and DG Taxation and Customs Union, NERI, Aarhus.
- OECD (2005). «DAC Guidelines and Reference Series – Environmental Fiscal Reform for Poverty Reduction. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- OECD (2006). The Political Economy of Environmentally Related Taxes. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- OECD (2013). The Swedish tax on nitrogen oxide emissions. Lessons in environmental policy reform. Organisation for Economic Cooperation and Development, Environment Policy Paper, No 2.
- Oueslati, W., Zipperer, V., Rousselière, D., Dimitropoulos, A. (2016). Exploring the relationship between environmentally related taxes and inequality in income sources: An empirical cross-country analysis. *OECD Environment Working Papers*, No. 100, Paris: OECD Publishing.
- Pearce, D. (1991). The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming. *The Economic Journal*, Vol. 101, pp.938-948.
- Pearce, D. (2006). The political economy of an energy tax: The United Kingdom’s Climate Change Levy. *Energy Economics*, Vol. 28, No. 2, pp. 149-158.

- Porter, M., Van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, pp. 97-118.
- Ray, M., Sheeran, R., Lewis, E., Liptrot, T. (2007). *The Climate Change Levy and Climate Change Agreements. A Review by the National Audit Office.*
- Sandmo, A. (2009). *The Scale and Scope of Environmental Taxation.* Norwegian School of Economics and Business Administration (NHH), Department of Economics, Discussion Paper No. 18/2009.
- Schlegelmilch, K., Joas, A. (2015). Fiscal considerations in the design of green tax reforms. *Green Growth Knowledge Platform (GGKP), Conference edition, Venice, Italy.*
- Speck, S., Jilkova, J. (2010). Design of Environmental Tax Reforms in Europe. In: P. Ekins, P., Skou, M. (Eds), *Carbon Energy Taxation - Lessons from Europe.* Oxford: Oxford University Press.
- Stavins, R. (2003). Experience with market-based environmental policy instruments. *Handbook of Environmental Economics*, Vol. 1, pp. 355-435.
- Štreimikienė, D., Bubnienė, R. (2005). The Impact of Carbon Tax on Greenhouse Gases Emission Reduction and Economy». *Engineering Economics*, Kaunas University of Technology, No. 1, pp. 23-29.
- Varma, A. (2003). UK's climate change levy: cost effectiveness, competitiveness and environmental impacts. *Energy Policy*, Vol. 31, No. 1, pp. 51-61.
- Vollebergh, H. (2013). The role of taxation in spurring technological innovation. In: Milne, J., Skou Andersen, M. *Handbook of Research on Environmental Taxation*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, pp. 360-376.
- Ward, H., Cao, X. (2012). Domestic and international influences on green taxation. *Comparative Political Studies*, Vol. 45, No. 9, pp. 1075-1103.
- Westin, R. (1994). International trade and environmental taxes». *Renewable Energy*, Vol. 5, Part n, pp. 1293-1299.
- Wiera, M., Birr-Pedersen, K., Jacobsen, H.K., Klok, J. (2005). Are CO2 taxes regressive? Evidence from the Danish experience». *Ecological Economics*, Vol. 52, pp. 239-251.
- Withana, S., Ten Brink, P., Illes, A., Nanni, S., Watkins, E. (2014). *Environmental Tax Reform in Europe: Opportunities for the Future. A Report by the Institute for European Environmental Policy (IEEP) for the Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment. Final Report.* Brussels.

Γ. Διαδικτυακές Πηγές

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0720&from=EN>

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΗΣ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

Ευαγγελία Διαπούλη

Ερευνήτρια Γ'

Εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος

Ινστιτούτο Πυρηνικών & Ραδιολογικών Ερευνών & Τεχνολογίας Ενέργειας & Ασφάλειας

Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος»

E-mail: ldiapouli@ipta.demokritos.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

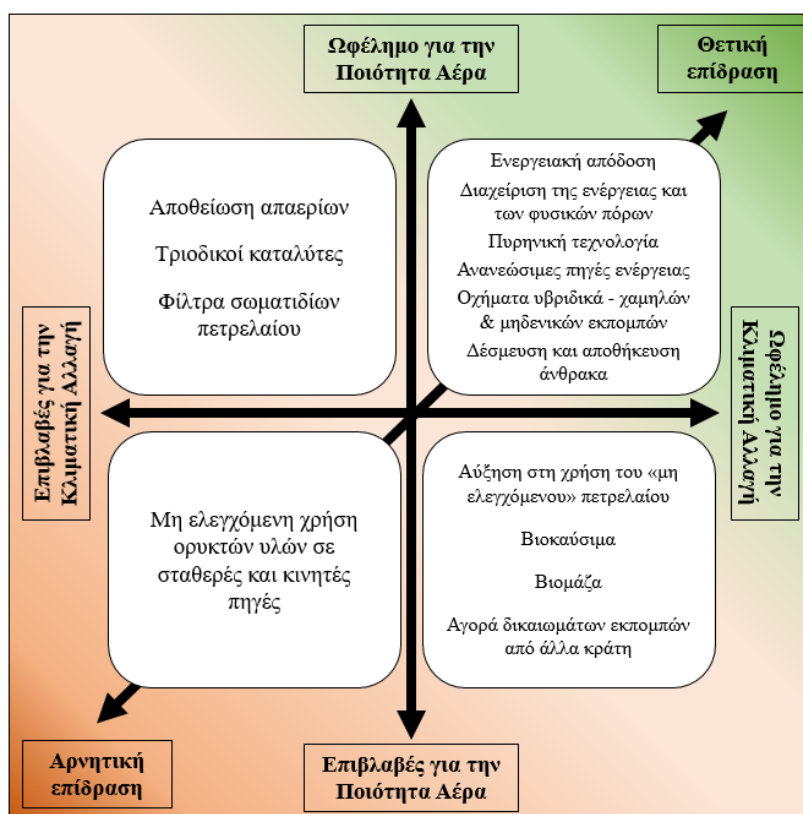
Η μετεωρολογία και το κλίμα παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι εκπομπές, οι μηχανισμοί μεταφοράς, διασποράς και εναπόθεσης, καθώς και οι χημικοί μετασχηματισμοί των ατμοσφαιρικών ρύπων επηρεάζονται από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, η βροχόπτωση και το ύψος του στρώματος ανάμειξης. Στο πλαίσιο αυτό, έχει τεθεί τις τελευταίες δεκαετίες το ερώτημα κατά πόσον η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την ποιότητα του αέρα και πώς θα διαμορφωθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ως αποτέλεσμα των μελλοντικών στρατηγικών ελέγχου των εκπομπών αλλά και της κλιματικής αλλαγής. Η παρούσα μελέτη παρέχει μία σύνοψη της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης πάνω στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και στις επακόλουθες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Συνολικά, αναδεικνύεται ο σημαντικός ρόλος των ανθρωπογενών εκπομπών στη διαμόρφωση των ετήσιων επιπέδων O_3 και αιωρούμενων σωματιδίων (ΑΣ). Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν συστηματικές ενδείξεις για την αρνητική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις συγκεντρώσεις του επιφανειακού O_3 . Ο αντίκτυπος στις συγκεντρώσεις των ΑΣ είναι λιγότερο ξεκάθαρος, λόγω των διαφορετικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα επιμέρους χημικά συστατικά των ΑΣ. Από την άλλη, τα βραχυχρόνια επεισόδια ρύπανσης φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα των μελετών πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τα διαφορετικά κλιματικά σενάρια καθιστούν ξεκάθαρο ότι οι στρατηγικές ελέγχου των εκπομπών κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως το O_3 και τα ΑΣ, θα πρέπει να λάβουν υπόψη τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες και την επίδραση αυτών στα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη δυνατότητα να επιτευχθούν στο μέλλον οι στόχοι ποιότητας αέρα που έχουν τεθεί.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, ατμοσφαιρική ρύπανση, δημόσια υγεία, όζον, αιωρούμενα σωματίδια, φυσικές πηγές

Εισαγωγή

Η υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και η κλιματική αλλαγή είναι δύο κρίσιμα και επίκαιρα περιβαλλοντικά προβλήματα, διαφορετικής φύσης, αλλά παράλληλα

έντονα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Οι βασικές πηγές εκπομπής του κύριου θερμοκηπικού αερίου (δηλαδή του διοξειδίου του άνθρακα, CO₂), που είναι η εξόρυξη και η καύση ορυκτών υλών για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών, αποτελούν και τις κύριες πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων εν γένει. Επιπλέον, πολλοί ατμοσφαιρικοί ρύποι που παρουσιάζουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στα οικοσυστήματα συνεισφέρουν, επίσης, και στην κλιματική αλλαγή. Επομένως, η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μπορεί να βοηθήσει και στη διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το αντίστροφο (Akhtar & Palagiano 2018). Παράλληλα, όμως, υπάρχουν και πολιτικές διαχείρισης που δεν ευνοούν την αντιμετώπιση και των δύο αυτών προβλημάτων (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Συνέργειες και αντισταθμίσεις στις διαφορετικές πολιτικές και τεχνολογίες για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της υποβάθμισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Προσαρμοσμένο από τους von Schneidemesser et al. (2015)).

Επιπλέον, η μετεωρολογία και το κλίμα παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τόσο σε χρονική όσο και σε χωρική κλίμακα. Οι εκπομπές, οι μηχανισμοί μεταφοράς, διασποράς και εναπόθεσης, καθώς και οι χημικοί μετασχηματισμοί των ατμοσφαιρικών ρύπων επηρεάζονται από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, η βροχόπτωση και το ύψος του στρώματος ανάμειξης. Στο πλαίσιο αυτό, έχει τεθεί τις τελευταίες δεκαετίες το ερώτημα κατά πόσον η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την ποιότητα του αέρα και πώς θα διαμορφωθούν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ως αποτέλεσμα των μελλοντικών στρατηγικών ελέγχου των εκπομπών αλλά και της κλιματικής αλλαγής.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να συνοψίσει την υπάρχουσα επιστημονική γνώση πάνω στις οδούς και στους μηχανισμούς επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του αέρα. Επιπλέον, παρέχονται στοιχεία πάνω στην ποσοτική εκτίμηση της επίδρασης αυτής όσον αφορά στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων και στις επακόλουθες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, λόγω της συνεργιστικής δράσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής.

Άμεσες επιδράσεις της μετεωρολογίας

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως «μία αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος, που μπορεί να αναγνωριστεί από αλλαγές στη μέση τιμή ή/και τη διακύμανση των παραμέτρων του, και η οποία παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο». Οι πρόσφατες επιστημονικές εκτιμήσεις προβλέπουν ότι, στα επόμενα 100 έτη, η μέση παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 3,7 – 4,8 °C, εάν δεν υιοθετηθούν νέες πολιτικές μετρίασης της κλιματικής αλλαγής (IPCC 2014). Η Ευρώπη, συγκεκριμένα, θεωρείται από τις πλέον ευαίσθητες περιοχές όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, καθώς αναμένεται να παρουσιάσει υψηλότερου βαθμού θέρμανση σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (Giorgi & Meleux 2007). Ήδη παρατηρείται μία σταδιακή θέρμανση (αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο κατά 0,9 °C για το διάστημα 1901 – 2005), ενώ τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια προβλέπουν ότι η παρατηρούμενη θέρμανση θα φέρει πιο συχνά, πιο έντονα και μεγαλύτερης διάρκειας επεισόδια καύσωνα, ιδιαίτερα στη Νότια και Ανατολική Ευρώπη, αλλά και σε περιοχές που επί του παρόντος δεν είναι επιρρεπείς σε τέτοια φαινόμενα (De Sario et al. 2013). Επιπλέον, αναμένεται να αυξηθούν οι χειμερινές βροχοπτώσεις στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη και να μειωθούν στη Νότια Μεσόγειο. Οι θερινές βροχοπτώσεις αναμένεται να μειωθούν σημαντικά τόσο στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη, όσο και στη Μεσόγειο. Στις Μεσογειακές περιοχές προβλέπεται αύξηση της ισχύος των βροχοπτώσεων μικρής διάρκειας (1 – 2 ημέρες).

Οι αλλαγές της μέσης θερμοκρασίας επηρεάζουν τον ρυθμό των χημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και, κατ' επέκταση τον ρυθμό παραγωγής και μετατροπής των αέριων ρύπων, με άμεσες επιδράσεις στην τοπική και περιφερειακή ρύπανση του αέρα (Akhtar & Palagiano 2018). Επιπλέον, οι θερμές και ξηρές συνθήκες ευνοούν τις βιογενείς εκπομπές, την επαναιώρηση της εδαφικής σκόνης και τις φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, ενώ παράλληλα μειώνεται η απομάκρυνση των ρύπων μέσω υγρής εναπόθεσης (Giorgi & Meleux 2007).

Οι μεταβολές στην πορεία και συχνότητα των καταιγίδων στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη μπορεί, επίσης, να επηρεάσουν τη μεταφορά μεγάλης κλίμακας των ρύπων (Akhtar & Palagiano 2018). Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models, GCMs), η κλιματική αλλαγή αναμένεται να αυξήσει τη συχνότητα των επεισοδίων στασιμότητας της ατμόσφαιρας στις βόρειες, μέσου γεωγραφικού πλάτους περιοχές. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην εξασθένιση της γενικής κυκλοφορίας και σε μία μετατόπιση προς τα Βόρεια της πορείας των κυκλώνων μέσου γεωγραφικού πλάτους, με αποτέλεσμα τη μείωση της συχνότητας των ψυχρών μετώπων, που είναι και οι βασικοί μηχανισμοί αερισμού για την Ευρώπη, την Ανατολική Ασία και το ανατολικό τμήμα της Βόρειας Αμερικής (Jacob & Winner 2009).

Τέλος, η κλιματική αλλαγή μπορεί να επιφέρει μεταβολές στο ύψος του στρωμάτος ανάμειξης, καθώς και στην ταχύτητα του ανέμου. Και οι δύο αυτές παράμετροι παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάμειξη και διασπορά της τοπικής ρύπανσης και επομένως στη διαμόρφωση των συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων. Οι παράμετροι αυτές, όμως, επηρεάζονται σημαντικά από τα τοπικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το ποια θα είναι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε αυτές (Akhtar & Palagiano 2018).

Μεταβολή των εκπομπών φυσικής προέλευσης

Οι μεταβολές στη θερμοκρασία που επιφέρει η κλιματική αλλαγή μπορούν να επηρεάσουν τις εκπομπές ρύπων από φυσικές πηγές και να οδηγήσουν σε συχνότερα και μεγαλύτερης έντασης επεισόδια ρύπανσης φυσικής προέλευσης, όπως η μεταφορά ερημικής σκόνης και οι δασικές πυρκαγιές. Τέτοιου είδους, μεγάλης κλίμακας φαινόμενα, παρόλο που έχουν μικρή διάρκεια, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα των αστικών περιοχών, μέσω της μεταφοράς των εκπεμπόμενων ρύπων σε μεγάλες αποστάσεις (Diapoulis et al. 2017, 2014).

Οι δασικές πυρκαγιές είναι μία από τις σημαντικότερες πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων, τόσο αέριων όσο και σωματιδιακών. Τα κλιματικά σενάρια για τον επόμενο αιώνα προβλέπουν αυξημένη θερμοκρασία, περισσότερους και πιο έντονους καύσωνες, μειωμένη υγρασία του εδάφους και παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, συνθήκες που επιτείνουν τον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιών, καθώς και εξάπλωσής τους. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην κάλυψη γης, στη συχνότητα των κεραυνών και άλλες παραμέτρους που σχετίζονται με την έναρξη των πυρκαγιών, την εξάπλωσή τους και, κατ' επέκταση, τις επιπτώσεις τους (Kinney 2008). Ήδη έχουν δημοσιευτεί αρκετές μελέτες που καταδεικνύουν αυξητικές τάσεις στη συχνότητα εμφάνισης δασικών πυρκαγιών και στην έκταση των καμένων περιοχών στον Καναδά και στις Η.Π.Α. κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, σε αντιστοιχία με τη μεταβολή σχετικών κλιματικών παραμέτρων (Westerling et al. 2006, Gillett et al. 2004). Οι Flannigan et al. (2005) εξέτασαν τον κίνδυνο πυρκαγιών σε συνάρτηση με την κλιματική αλλαγή και προέβλεψαν αύξηση των καμένων εκτάσεων στον Καναδά κατά 74 – 118% (ανάλογα με την περιοχή) για σενάριο τριπλασιασμού των εκπομπών του CO₂. Από την άλλη, πρέπει να σημειωθεί ότι ο καπνός από τις δασικές πυρκαγιές μπορεί να ταξιδέψει εκατοντάδες χιλιόμετρα, επηρεάζοντας μεγάλες εκτάσεις και σε μακρινές αποστάσεις από το σημείο εκπομπής του. Οι Hodzic et al. (2007) αναφέρουν τη μεταφορά σωματιδιακών ρύπων σε μία εκτεταμένη περιοχή στη Β. Ευρώπη (συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γαλλίας, της Γερμανίας, του Βελγίου, της Ολλανδίας, και του Λουξεμβούργου), λόγω δασικών πυρκαγιών στην Πορτογαλία και την Ισπανία κατά τον καύσωνα που έπληξε την Ευρώπη το 2003.

Η αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλεί η κλιματική αλλαγή μπορεί, επίσης, να οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών ισοπρενίου, που είναι μία βιογενής πτητική οργανική ένωση, και μεθανίου από τους υγρότοπους (Akhtar & Palagiano 2018, O'Connor et al. 2010). Οι Kim et al. (2015) αναφέρουν, επιπλέον, ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκαλέσει αύξηση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) από το έδαφος και από τους κεραυνούς, δρώντας αντισταθμιστικά στην επιδιωκόμενη μείωση των εκπομπών NO_x από ανθρωπογενείς πηγές.

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται, επίσης, να επηρεάσει τον κύκλο αναπαραγωγής των φυτών και των μυκήτων, μεταβάλλοντας τη χρονική περίοδο, παραγωγή και χωρική κατανομή των αεροαλλεργιογόνων (D'Amato et al. 2015). Αρκετές μελέτες, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, έχουν

αναλύσει ιστορικά δεδομένα σχετικά με τις περιόδους γύρης και τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας συμπίπτει με εκκίνηση της περιόδου διασποράς γύρης νωρίτερα μέσα στον χρόνο, σχεδόν για όλα τα είδη και σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές (Galan et al. 2005). Λιγότερα πειραματικά στοιχεία υπάρχουν σχετικά με την επιμήκυνση της περιόδου διασποράς της γύρης ή αυξήσεις στο συνολικό εποχικό φορτίο της γύρης. Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα μπορεί να έχει και άμεσες επιπτώσεις, διεγείροντας τα φυτά για την παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας γύρης. Όσον αφορά την ανάπτυξη μούχλας, στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον, αυτή ευνοείται από την αύξηση της υγρασίας του αέρα και ιδιαίτερα μετά από επεισόδια έντονης βροχόπτωσης. Ήδη υπάρχουν περιοχές, όπως ο Β. Ατλαντικός, όπου παρατηρείται αύξηση, μέσα στα τελευταία 50 έτη, τόσο στον αριθμό όσο και στην ένταση των τροπικών κυκλώνων, λόγω της βαθμιαίας αύξησης της θερμοκρασίας (Kinney 2008). Η αυξημένη θερμοκρασία ή / και υγρασία ευνοεί επιπλέον και την ανάπτυξη των μυκήτων, ενώ η αυξανόμενη ξηρασία και τελικά ερημοποίηση περιοχών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας μπορεί να αυξήσει και το φορτίο των μυκητιακών σπόρων που μεταφέρονται με τα σωματίδια της ατμόσφαιρας (Bernard et al. 2001).

Η αυξανόμενη ξηρασία και η ερημοποίηση περιοχών που αναμένεται να επιφέρει η κλιματική αλλαγή επηρεάζουν, επίσης, το διαθέσιμο φορτίο εδαφικής σκόνης για επαναιώρηση, καθώς και τη μεταφορά σκόνης σε μεγάλες αποστάσεις. Οι Wise & Comrie (2005) έδειξαν ότι, στις νοτιοδυτικές Η.Π.Α., τα επίπεδα σχετικής υγρασίας είναι ο ισχυρότερος προγνωστικός δείκτης της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων.

Επιπτώσεις στα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

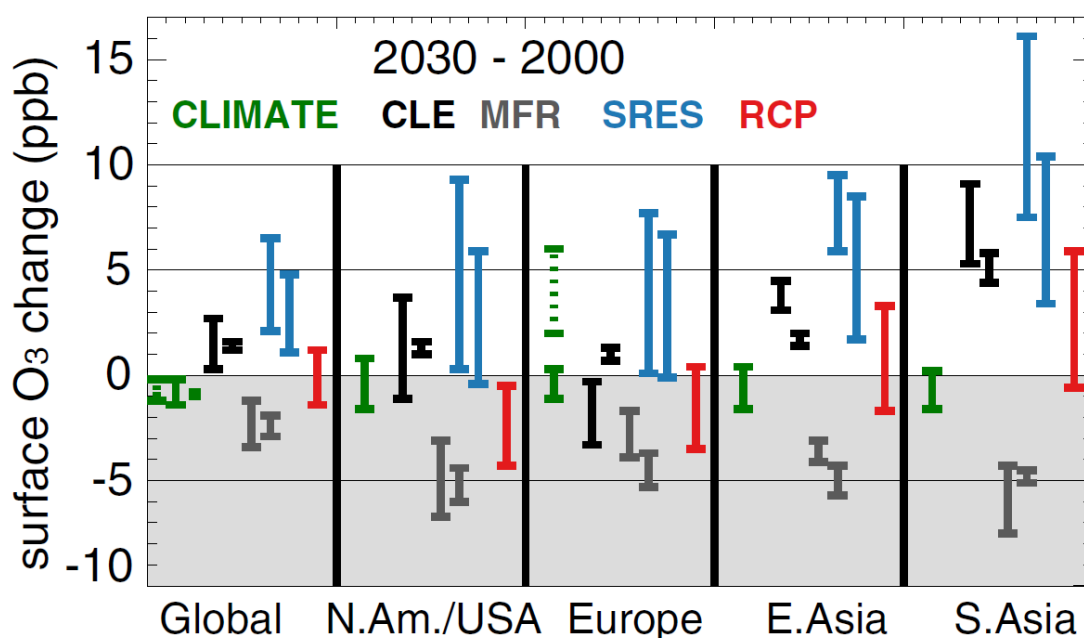
Οι υφιστάμενες μελέτες πάνω στην εκτίμηση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης ως αποτέλεσμα της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνονται στο όζον (O₃) και στα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ), με περιορισμένες αναφορές επίσης στο διοξείδιο του θείου (SO₂). Παρακάτω αναλύονται οι ρύποι που φαίνεται να παρουσιάζουν τις σημαντικότερες επιπτώσεις σε σχέση με την ήδη παρατηρούμενη αλλαγή του κλίματος.

Όζον (O₃)

Το όζον είναι ένας δευτερογενής ρύπος που σχηματίζεται στην ατμόσφαιρα μέσω φωτοχημικών διεργασιών, παρουσία πρόδρομων αέριων ενώσεων, όπως οξείδια του αζώτου (NO_x) και πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs). Ο σχηματισμός του όζοντος εξαρτάται από τη θερμοκρασία και συμβαίνει σε πολλαπλά στάδια. Επομένως, η αύξηση της θερμοκρασίας που επιφέρει η κλιματική αλλαγή αναμένεται να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις O₃ στην ατμόσφαιρα (Kinney 2008). Οι Doherty et al. (2013) μελέτησαν μέσω μοντελοποίησης την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους βασικούς παράγοντες σχηματισμού όζοντος: τη συγκέντρωση του νιτρικού υπεροξυακετυλίου (PAN), τη συγκέντρωση των υδρατμών και τις εκπομπές ισοπρενίου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η αύξηση της θερμοκρασίας που επιφέρει η κλιματική αλλαγή ευνοεί τη διάσπαση του PAN (το οποίο αποτελεί μία «δεξαμενή» της ατμόσφαιρας για τα οξείδια του αζώτου) και επομένως μειώνει την ποσότητα των NO₂ και O₃ που παράγονται κατά τη μεταφορά των αέριων μαζών σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά οδηγεί σε αύξηση των τοπικά παραγόμενων NO₂ και O₃. Όσον αφορά το ισοπρένιο, και γενικά τις βιογενείς VOCs που δρουν ως πρόδρομες ενώσεις για τον σχηματισμό του O₃, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να αυξήσει τις εκπομπές τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι πτητικές οργανικές ενώσεις φυσικής

προέλευσης αποτελούν σημαντικό μέρος των συνολικών VOCs, ενώ σε κάποιες περιοχές οι εκπομπές τους μπορεί να ξεπερνούν αυτές των ανθρωπογενών πηγών (Fuentes et al. 2000). Η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί, επίσης, και τη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος, οδηγώντας σε αυξημένες εκπομπές NO_x, που επίσης αποτελούν πρόδρομες ενώσεις του O₃.

Εκτός από τη θερμοκρασία, ο ρυθμός φωτοκατάλυσης των πρόδρομων αέριων ενώσεων επηρεάζεται και από το μέγεθος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από την ποσότητα των νεφών. Αρκετές μελέτες στην Ευρώπη συνδέουν την προβλεπόμενη αύξηση των συγκεντρώσεων του O₃ την καλοκαιρινή περίοδο με την ενισχυμένη φωτόλυση του NO₂ λόγω μειωμένης κάλυψης της ατμόσφαιρας από νέφη (Katragkou et al. 2011). Από την άλλη, η αύξηση της υγρασίας που επιφέρει η κλιματική αλλαγή, καθώς η θερμότερη ατμόσφαιρα συγκρατεί περισσότερη υγρασία, ευνοεί την καταστροφή του O₃ σε περιοχές χαμηλών επιπέδων NO_x, με αποτέλεσμα να προβλέπεται μείωση των περιφερειακών επιπέδων συγκέντρωσης του O₃ (Colette et al. 2015).



Εικόνα 2. Μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του O₃ (σε ppb) μεταξύ των ετών 2000 και 2030, λόγω της επίδρασης: της κλιματικής αλλαγής αποκλειστικά (CLIMATE, πράσινο χρώμα), των μεταβολών στις ανθρωπογενείς εκπομπές, με βάση την παρούσα νομοθεσία (Current LEgislation, CLE, μαύρο χρώμα), τις μέγιστες δυνατές μειώσεις εκπομπών (Maximum Feasible Reductions, MRF, γκρι χρώμα), και σενάρια εκπομπών του IPCC, συγκεκριμένα τα SRES - Special Report on Emission Scenarios (μπλε χρώμα) και RCP - Representative Concentration Pathway (κόκκινο χρώμα) (Πηγή: Kirtman et al. 2013, προσαρμοσμένο από το Σχήμα 3 των Fiore et al. 2012).

Η διεθνής βιβλιογραφία περιλαμβάνει πλήθος μελετών πάνω στην πρόβλεψη των επιπέδων συγκέντρωσης του περιφερειακού και τοπικού O₃, για διαφορετικά μελλοντικά σενάρια. Μία σύνθεση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 2, όπου δίνεται η προβλεπόμενη μεταβολή της επιφανειακής συγκέντρωσης του O₃ μεταξύ των ετών 2000 και 2030. Χρησιμοποιούνται 5 διαφορετικά σενάρια για την πρόβλεψη των συγκεντρώσεων, όπως

περιγράφονται αναλυτικά στην Εικόνα 2. Γενικά, οι μεταβολές της επιφανειακής συγκέντρωσης του O_3 είναι μεγαλύτερες, όταν εξετάζονται σενάρια ανθρωπογενών εκπομπών, σε σχέση με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής ως μοναδικού παράγοντας δράσης. Οι μειώσεις που εμφανίζονται στην περίπτωση του σεναρίου CLIMATE οφείλονται στη μείωση των περιφερειακών συγκεντρώσεων O_3 λόγω του αυξημένου φορτίου της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς.

Σε περιοχές, όμως, ήδη επιβαρυνμένες από τη ρύπανση, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να επιφέρει αύξηση της τοπικής συγκέντρωσης του όζοντος, όπως καταδεικνύεται τόσο από μετρήσεις όσο και από την εφαρμογή μοντέλων γενικής κυκλοφορίας και χημικής μεταφοράς (GCM-CTM models). Τα αποτελέσματα δείχνουν συστηματικά αυξήσεις κατά τη θερμή περίοδο, της τάξης του 1- 10 ppb, σε περιοχές ήδη επιβαρυνμένες από ρύπανση, στη Β. Αμερική, στην Ευρώπη και στην Ασία, και ιδιαίτερα στις βορειοανατολικές Η.Π.Α και στην Νότια και Κεντρική Ευρώπη. Η αυξανόμενη θερμοκρασία έχει αναγνωριστεί ως ο κύριος υπεύθυνος παράγοντας για αυτές τις αυξήσεις στις συγκεντρώσεις του O_3 . Επιπλέον, όλα τα μοντέλα καταδεικνύουν ότι οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία ως προς τη συγκεκριμένη επίδραση (Jacob & Winner 2009). Χαρακτηριστικά αναφέρεται η μελέτη των Bell et al. (2007), οι οποίοι μελέτησαν τη μεταβολή του O_3 σε 50 πόλεις στις ανατολικές Η.Π.Α, για 5 χαρακτηριστικά καλοκαίρια τη δεκαετία του 1990 και του 2050. Το μελλοντικό σενάριο που χρησιμοποίησαν βασιζόταν σε αλλαγές που αφορούσαν μόνο την κλιματική αλλαγή και όχι τις ανθρωπογενείς εκπομπές. Κατά μέσο όρο για τις 50 πόλεις, υπολογίστηκε αύξηση της μέγιστης ημερήσιας συγκέντρωσης κατά 4,8 ppb, με τις μεγαλύτερες αυξήσεις να παρατηρούνται σε περιοχές που παρουσιάζουν ήδη υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Ο μέσος αριθμός υπερβάσεων της 8ωρης οριακής τιμής αυξήθηκε κατά 68 %.

Αιωρούμενα σωματίδια

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει τη διαμόρφωση των επιπέδων σωματιδιακής ρύπανσης, μεταβάλλοντας τη διασπορά και τον κύκλο ζωής των σωματιδίων, λόγω αλλαγών που μπορεί να επιφέρει στο ύψος του στρώματος ανάμειξης, στην κυκλοφορία του αέρα, στη συχνότητα των βροχοπτώσεων και στη θερμοκρασία και σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, αναμένεται ασθενέστερη παγκόσμια κυκλοφορία των αέριων μαζών και μείωση των κυκλώνων μεσαίου γεωγραφικού πλάτους. Οι συνθήκες αυτές θα αυξήσουν την ευστάθεια της ατμόσφαιρας και θα ευνοήσουν την επιφανειακή συσσώρευση ρύπων. Από την άλλη, η αυξημένη υγρασία που αναμένεται σε ορισμένα μέρη και χρονικές περιόδους μπορεί να μειώσει την έκθεση σε σωματίδια βιολογικής προέλευσης (όπως γύρη, σπόροι και άλλα αεροαλλεργιογόνα), καθώς σε τέτοιες συνθήκες τα ΑΣ τείνουν να συσσωματώνονται και να δημιουργούν μεγαλύτερα σωματίδια, που εισέρχονται δυσκολότερα στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα. Οι μεταβολές στη συχνότητα και το ύψος των βροχοπτώσεων θα επηρεάσουν φυσικά την απομάκρυνση των σωματιδίων μέσω υγρής εναπόθεσης. Σε παγκόσμιο επίπεδο, αναμένεται αύξηση της συχνότητας των βροχοπτώσεων, με θετικό αποτέλεσμα όσον αφορά στην απομάκρυνση των ΑΣ. Σε κάποιες περιοχές του πλανήτη, όμως, όπως η Νότια Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική, προβλέπονται μειωμένες βροχοπτώσεις (Jacob & Winner 2009). Οι μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου μπορεί, επίσης, να επηρεάσουν σημαντικά τις σωματιδιακές συγκεντρώσεις, όχι όμως μονοσήμαντα. Υψηλές ταχύτητες ανέμου αυξάνουν τη διασπορά των σωματιδιακών ρύπων, αλλά ευνοούν την επαναιώρηση των σωματιδίων από το έδαφος, καθώς και τη μεταφορά σωματιδίων σε μεγάλες αποστάσεις. Επομένως, οι τοπικές και περιφερειακές συνθήκες παίζουν καθοριστικό ρόλο στο πώς θα επηρεάσουν οι μεταβολές στην ταχύτητα ανέμου τα επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης. Τα

επίπεδα ΑΣ είναι, επίσης, ιδιαίτερα ευαίσθητα στις μεταβολές του ύψους του στρώματος ανάμειξης, αλλά δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών μοντέλων ως προς το πώς θα επηρεάσει η κλιματική αλλαγή την παράμετρο αυτή.

Η σωματιδιακή ρύπανση επηρεάζεται, επίσης, από τη θερμοκρασία. Δεδομένου, όμως, ότι τα ατμοσφαιρικά αερολύματα περιλαμβάνουν πλήθος διαφορετικών χημικών συστατικών, η επίδραση αυτή δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν τις φωτοχημικές αντιδράσεις, οδηγώντας σε αυξημένη οξείδωση του διοξειδίου του SO₂ προς παραγωγή θεικών αλάτων, τα οποία και αποτελούν ένα από τα κύρια συστατικά των ΑΣ. Από την άλλη, οι υψηλές θερμοκρασίες δεν ευνοούν την παρουσία των νιτρικών σε σωματιδιακή μορφή (λόγω μετάβασης προς την αέρια φάση), με αποτέλεσμα να μειώνεται η συγκέντρωση των νιτρικών αλάτων, ενός άλλου σημαντικού συστατικού των ΑΣ, ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη. Αντίστοιχα επηρεάζονται και κάποια οργανικά σωματιδιακά συστατικά (Fiore et al. 2012).

Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της συχνότητας αλλά και της έντασης επεισοδιακών εκλύσεων σωματιδιακής ρύπανσης, όπως οι δασικές πυρκαγιές και η μεταφορά ερημικής σκόνης. Ο καύσωνας που έπληξε την Ευρώπη το 2003 είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων φαινομένων, καθώς συνδέθηκε με έναν εξαιρετικά υψηλό αριθμό δασικών πυρκαγιών και πολύ υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης (Jacob & Winner 2009). Πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών παρατηρείται σημαντική έκλυση λεπτόκοκκων σωματιδίων (με διάμετρο έως 2,5 μm, ΑΣ_{2,5}), τα οποία έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ επιπλέον είναι και ιδιαίτερα επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία (De Sario et al. 2013).

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης είναι λιγότερο ξεκάθαρη σε σχέση με το όζον, λόγω του πλήθους των χημικών συστατικών των ΑΣ, τα οποία επηρεάζονται από διαφορετικούς κλιματικούς παράγοντες, που συχνά δρουν ανταγωνιστικά. Η αβεβαιότητα αυτή αντικατοπτρίζεται στα αντικρουόμενα αποτελέσματα των διαφορετικών ερευνητικών μελετών, με κάποιες μελέτες να προβλέπουν αύξηση των συγκεντρώσεων του ατμοσφαιρικού αερολύματος (Allen et al. 2016) και κάποιες άλλες μείωση (Silva et al. 2016). Σε περιοχές ήδη επιβαρυνμένες από ρύπανση, η εφαρμογή των μοντέλων GCM-CTM δείχνει μεταβολή στις συγκεντρώσεις των ΑΣ κατά $\pm 0,1 - 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, μέσα στις επόμενες δεκαετίες (Jacob & Winner 2009). Οι Carvalho et al. (2010) παρουσιάζουν εκτιμήσεις των σωματιδιακών συγκεντρώσεων στην Ευρώπη για δύο κλιματικά σενάρια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, οι μέσες συγκεντρώσεις των ΑΣ₁₀ (σωματίδια με διάμετρο έως 10 μm) αναμένεται να αυξηθούν ή να μειωθούν, ανάλογα με την περιοχή και την εποχή του χρόνου. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις σχετίζονται με μειωμένο ύψος του στρώματος ανάμειξης και υψηλότερη σχετική υγρασία στα μελλοντικά κλιματικά σενάρια. Οι Huszar et al. (2011) υπολογίζουν, για την Κεντρική και Νοτιοανατολική Ευρώπη, μία μικρή αύξηση στον ετήσιο αριθμό των υπερβάσεων της 24ωρης οριακής τιμής για τα ΑΣ₁₀ που θεσπίζει η Ευρωπαϊκή νομοθεσία, αποκλειστικά λόγω της κλιματικής αλλαγής (διατηρώντας δηλαδή τις ανθρωπογενείς εκπομπές σταθερές). Οι περισσότερες υπερβάσεις παρατηρούνται τον χειμώνα και το φθινόπωρο και σχετίζονται με αλλαγές στην οριζόντια και κατακόρυφη ανάμειξη του ατμοσφαιρικού αέρα, λόγω μεταβολών στο ύψος του στρώματος ανάμειξης και στην ταχύτητα του ανέμου. Οι Juda-Rezler et al. (2012) αναφέρουν μείωση της συγκέντρωσης των ΑΣ₁₀ στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη λόγω της αύξησης των βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο που αναμένεται να επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Θα πρέπει να τονιστεί ότι, πέρα από

τα ίδια τα επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης, η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει τη σχετική συνεισφορά των διαφορετικών συστατικών στο ατμοσφαιρικό αερόλυμα. Οι Hogrefe et al. (2006) αναφέρουν αύξηση των συγκεντρώσεων των $AS_{2,5}$ στις ανατολικές Η.Π.Α, με σημαντικά αυξημένη συνεισφορά από τα θειικά άλατα και πρωτογενή ΑΣ, και μειωμένη συνεισφορά από οργανικές ενώσεις και νιτρικά άλατα, λόγω μετατόπισης αυτών των πτητικών ειδών από τη σωματιδιακή στην αέρια φάση. Οι Lacressonnière et al. (2016) υπολογίζουν συνολικά για την Ευρώπη μία μεταβολή της συγκέντρωσης των $AS_{2,5}$ στο εύρος $-0,5 \mu g/m^3$ έως $+1,3 \mu g/m^3$, υποθέτοντας αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά $2^\circ C$. Συνολικά συμπεραίνουν ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα επίπεδα ΑΣ οφείλεται κυρίως στις μεταβολές των εκπομπών από φυσικές πηγές, όπως η ερημική σκόνη, το θαλάσσιο αερόλυμα και τα βιογενή VOCs.

Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

Οι δύο βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι που φαίνεται να επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή, το O_3 και τα ΑΣ, αποτελούν, επίσης, και ρύπους με σημαντικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία. Τόσο η βραχυχρόνια όσο και η μακροχρόνια έκθεση σε ΑΣ και O_3 συνδέονται με καρδιοαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις και καρκίνο του πνεύμονα (WHO 2013). Επιπλέον, πρόσφατα ευρήματα συνδέουν την έκθεση σε $AS_{2,5}$ με νευρολογικές διαταραχές και εμφάνιση διαβήτη (Gouveia & Fletcher 2000). Αξίζει να τονιστεί ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί την κύρια περιβαλλοντική αιτία πρόωρων θανάτων σήμερα. Η Ευρωπαϊκή Αναπνευστική Εταιρεία (European Respiratory Society, ERS), σε συνεργασία με το πρόγραμμα HENVINET και την Αμερικάνικη Εταιρεία Θώρακος (American Thoracic Society), εξέδωσαν το 2009 έκθεση πάνω στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία, όπου αναδεικνύονται τα αναμενόμενα αρνητικά αποτελέσματα, όπως αυξημένη θνησιμότητα και οξεία νοσηρότητα λόγω επεισοδίων καύσωνα, αυξημένη συχνότητα οξέων καρδιο-αναπνευστικών επεισοδίων λόγω υψηλών επιπέδων O_3 , αλλαγές στη συχνότητα των αναπνευστικών παθήσεων λόγω της διασυννοριακής μεταφοράς σωματιδιακής ρύπανσης και αλλαγές στην χωρο-χρονική κατανομή των αλλεργιογόνων (γύρη, μούχλα και ακάρεα) και κάποιων φορέων μολυσματικών ασθενειών (Ayres et al. 2009).

Τα τελευταία 10 - 15 έτη, έχουν δημοσιευθεί αρκετές ερευνητικές μελέτες που συνδέουν τις μεταβολές στην ποιότητα του αέρα λόγω της κλιματικής αλλαγής με επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι Orru et al. (2013) μελέτησαν τις μεταβολές στη θνησιμότητα και νοσηρότητα στην Ευρώπη λόγω της έκθεσης σε O_3 , μεταξύ των ετών 1961-1990 και 1990-2009, καθώς και για διαφορετικά κλιματικά σενάρια. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις στους δείκτες υγείας μεταξύ των ετών 1961-1990 και 1990-2009 (4 – 5 %) παρατηρούνται στο Βέλγιο, στην Ιρλανδία, στην Ολλανδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Όσον αφορά στα μελλοντικά κλιματικά σενάρια, η μελέτη αναφέρει σημαντική αύξηση της θνησιμότητας λόγω έκθεσης σε O_3 στη Νότια και Κεντρική Ευρώπη, και ελαφρά μείωση στη Βόρεια Ευρώπη. Οι Fang et al. (2013) μελέτησαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ατμοσφαιρική ρύπανση και τη δημόσια υγεία, θεωρώντας σταθερές τις ανθρωπογενείς εκπομπές και την πληθυσμιακή κάλυψη. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν αύξηση της ετήσιας πρόωρης θνησιμότητας στην Ευρώπη κατά 1 % (που αντιστοιχεί σε επιπλέον 3.300 θανάτους) λόγω της έκθεσης σε $AS_{2,5}$. Οι αντίστοιχες εκτιμήσεις για το O_3 είναι αύξηση κατά 0,6 % της ετήσιας πρόωρης θνησιμότητας, και επιπλέον 300 θάνατοι ετησίως. Οι Silva et al. (2016) εξέτασαν τη συνδυαστική δράση της κλιματικής αλλαγής και μελλοντικών σεναρίων για τις εκπομπές των πρόδρομων αέριων ενώσεων και για την πληθυσμιακή κάλυψη στην εμφάνιση πρόωρων

θανάτων στην Ευρώπη λόγω της έκθεσης σε $AS_{2,5}$ και O_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η υιοθέτηση στρατηγικών ελέγχου των εκπομπών οδηγεί σε μείωση των ετήσιων θανάτων, παρά τις αρνητικές επιπτώσεις που αναμένεται να επιφέρει η κλιματική αλλαγή στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι Tagaris et al. (2009) υπολόγισαν για τις Η.Π.Α. ότι, έως το 2050, η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει σε επιπλέον 4.000 πρόωρους θανάτους ετησίως λόγω της έκθεσης σε $AS_{2,5}$ και 300 πρόωρους θανάτους λόγω της έκθεσης σε O_3 , εάν δεν ληφθούν μέτρα περαιτέρω περιορισμού των εκπομπών.

Από την άλλη, αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η αναπνευστική υγεία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις μετεωρολογικές συνθήκες, πέρα από την προφανή επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ειδικά στον πληθυσμό άνω των 75 ετών. Συγκεκριμένα, έχει υπολογιστεί ότι αύξηση κατά $1^{\circ}C$ στη μέγιστη φαινόμενη θερμοκρασία (που είναι ένας δείκτης ο οποίος συνδυάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία) σχετίζεται με αύξηση κατά 7 % των ημερήσιων θανάτων λόγω αναπνευστικών παθήσεων, και κατά 3 – 5% αύξηση στις εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών παθήσεων. Οι επιπτώσεις των επεισοδίων καύσωνα είναι ακόμα πιο σημαντικές, οδηγώντας σε αύξηση κατά 12.1 – 61.3 % της θνησιμότητας λόγω αναπνευστικών παθήσεων, με τον αντίκτυπο να είναι μεγαλύτερος στις Μεσογειακές περιοχές σε σχέση με τη Βόρεια Ευρώπη (De Sario et al. 2013). Το πρόγραμμα APHEA αναφέρει εποχιακές διαφορές στις επιπτώσεις στην υγεία ρύπων όπως το O_3 , ο μαύρος άνθρακας και το SO_2 , με τους δείκτες θνησιμότητας να είναι υψηλότεροι το καλοκαίρι (Zmirou et al. 1998). Αρκετές ακόμα μελέτες αναφέρουν συστηματικές ενδείξεις συνέργειας μεταξύ της έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους και σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλο που τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ ρύπων και περιοχών, καταδεικνύοντας ότι οι αντίστοιχοι μηχανισμοί καθοδηγούνται και από τις τοπικές συνθήκες, είναι κοινώς αποδεκτό ότι η συνεργιστική δράση της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να αποτελέσει έναν επιπλέον παράγοντα επιβάρυνσης της δημόσιας υγείας λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μία άλλη παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει τις επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία είναι η υγρασία. Χαμηλές τιμές απόλυτης υγρασίας έχουν συνδεθεί με αυξημένες επιπτώσεις λόγω της έκθεσης σε AS . Δεδομένου, όμως, ότι η απόλυτη υγρασία και η θερμοκρασία παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση, τα αποτελέσματα αυτά μπορεί και πάλι να αντικατοπτρίζουν την επίδραση της θερμοκρασίας (De Sario et al. 2013).

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας επιβάρυνσης της δημόσιας υγείας στο πλαίσιο των αλλαγών που θα επιφέρει η κλιματική αλλαγή είναι η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των δασικών πυρκαγιών. Ο καπνός από την καύση δασικών εκτάσεων περιέχει πλήθος επικίνδυνων για τον άνθρωπο ρύπων. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών και καρδιοαγγειακών παθήσεων αυξάνονται σημαντικά κατά τη διάρκεια επεισοδίων έκθεσης σε καπνό, οπότε παρουσιάζονται και πολύ αυξημένες συγκεντρώσεις AS . Οι Johnston et al. (2012) υπολόγισαν ότι η έκθεση στον καπνό των πυρκαγιών παγκοσμίως είναι ήδη υπεύθυνη για 339.000 πρόωρους θανάτους ανά έτος.

Όσον αφορά στις αναπνευστικές αλλεργίες, η θέρμανση του πλανήτη που επιφέρει η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει την έναρξη, διάρκεια και ένταση των εποχών γύρης, καθώς και τα επεισόδια ασθματικών κρίσεων. Η αυξημένη έκθεση σε αλλεργιογόνα, σε συνδυασμό με έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους που δρουν συνεργιστικά και εντείνουν την αλλεργική αντίδραση, μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένα αναπνευστικά προβλήματα του πληθυσμού (D'Amato et al. 2015). Επιπλέον, η αυξημένη ξηρασία και ερημοποίηση περιοχών λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του φορτίου μυκητιακών σπόρων που μεταφέρονται με τα αιωρούμενα σωματίδια, πολλαπλασιάζοντας την πιθανότητα

ενδημικών και επιδημικών πνευμονικών και συστηματικών μυκητιακών λοιμώξεων (Bernard et al. 2001).

Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη παρέχει μία σύνοψη της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης πάνω στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και στις επακόλουθες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Συνολικά, αναδεικνύεται ο σημαντικός ρόλος των ανθρωπογενών εκπομπών στη διαμόρφωση των ετήσιων επιπέδων O_3 και ΑΣ. Παρ'αυτά, υπάρχουν συστηματικές ενδείξεις για την αρνητική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις συγκεντρώσεις του επιφανειακού O_3 . Ο αντίκτυπος στις συγκεντρώσεις των ΑΣ είναι λιγότερο ξεκάθαρος, λόγω των διαφορετικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα επιμέρους χημικά συστατικά των ΑΣ. Από την άλλη, τα βραχυχρόνια επεισόδια ρύπανσης φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα των μελετών πρόβλεψης των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τα διαφορετικά κλιματικά σενάρια καθιστούν ξεκάθαρο ότι οι στρατηγικές ελέγχου των εκπομπών των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως το O_3 και τα ΑΣ, θα πρέπει να λάβουν υπόψη τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες και την επίδραση αυτών στα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη δυνατότητα να επιτευχθούν στο μέλλον οι στόχοι ποιότητας αέρα που έχουν τεθεί. Η κλιματική αλλαγή και η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζουν εγγενείς συσχετίσεις, καθιστώντας απαραίτητη την παράλληλη διαχείριση αυτών των δύο πολύ σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Βιβλιογραφία

- Akhtar, R., Palagiano, C. (2018). Climate Change and Air Pollution - The Impact on Human Health in Developed and Developing Countries. Switzerland: Springer International Publishing, AG.
- Allen, R.J., Landuyt, W., Rumbold, S.T. (2016). An increase in aerosol burden and radiative effects in a warmer world. *Nature Climate Change*, Vol. 6, No. 3, pp. 269–274.
- Ayres, J.G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K.L., Helms, P.J., Medina-Ramon, M., Windt, M., Forastiere, F. (2009). Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*, Vol. 34, No. 2, pp. 295-302.
- Bell, M.L., Goldberg, R., Hogrefe, C., Kinney, P.L., Knowlton, K., Lynn, B., Rosenthal, J., Rosenzweig, C., Patz, J.A. (2007). Climate change, ambient ozone, and health in 50 US cities. *Climatic Change*, Vol. 82, No. 1-2, pp. 61–76.
- Bernard, S.M., Samet, J.M., Grambsch, A., Ebi, K.L., Romieu, I. (2001). The potential impacts of climate variability and change on air pollution – related health effects in the United States. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, No. Suppl. 2, pp. 199-201.
- Carvalho, A., Monteiro, A., Solman, S., Miranda, A.I., Borrego, C. (2010). Climate driven changes in air quality over Europe by the end of the 21st century, with special reference to Portugal. *Environmental Science and Policy*, Vol. 13, No. 6, pp. 445-558.
- Colette, A., Andersson, C., Baklanov, A., Bessagnet, B., Brandt, J., Christensen, J.H., Doherty, R., Engardt, M., Geels, C., Giannakopoulos, C., Hedegaard, G., Katragkou, E., Langner, J., Lei, H., Manders, A., Melas, D., Meleux, F., Rouil, L., Sofiev, M., Soares, J., Stevenson, D.S., Tombrou-Tzella, M., Varotsos, K.V., Young, P. (2015). On the

- robustness of the ozone climate penalty in Europe. *Environmental Research Letters*, Vol. 10, No. 8, Article 084015.
- D'Amato, G., Vitale, C., De Martino, A., Viegi, G., Lanza, M., Molino, A., Sanduzzi, A., Vatrella, A., Annesi-Maesano, I., D'Amato, M. (2015). Effects on asthma and respiratory allergy of Climate change and air pollution. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, Vol. 10, Article 39.
- De Sario, M., Katsouyanni, K., Michelozzi, P. (2013). Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe. *European Respiratory Journal*, Vol. 42, No. 3, pp. 826–843.
- Diapouli, E., Manousakas, M.I. Vratolis, S., Vasilatou, V., Pateraki, S., Bairachtari, K.A., Querol, X., Amato, F., Alastuey, A., Karanasiou, A.A., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., Gianelle, V.L., Colombi, C., Alves, C., Custódio, D., Pio, C., Spyrou, C., Kallos, G.B., Eleftheriadis, K. (2017). AIRUSE-LIFE+: estimation of natural source contributions to urban ambient air PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in southern Europe – implications to compliance with limit values. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 17, No. 5, pp. 3673–3685.
- Diapouli, E., Popovicheva, O., Kistler, M., Vratolis, S., Persiantseva, N., Timofeev, M., Kasper-Giebl, A., Eleftheriadis, K. (2014). Physicochemical characterization of aged biomass burning aerosol after long-range transport to Greece from large scale wildfires in Russia and surrounding regions, Summer 2010. *Atmospheric Environment*, Vol. 96, pp. 393–404.
- Doherty, R.M., Wild, O., Shindell, D.T., Zeng, G., MacKenzie, I.A., Collins, W.J., Fiore, A.M., Stevenson, D.S., Dentener, F.J., Schultz, M.G., Hess, P., Derwent, R.G., Keating, T.J. (2013). Impacts of climate change on surface ozone and intercontinental ozone pollution: a multi-model study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, No. 9, pp. 3744–3763.
- Fang, Y., Mauzerall, D.L., Liu, J., Fiore, A.M., Horowitz, L.W. (2013). Impacts of 21st century climate change on global air pollution-related premature mortality. *Climatic Change*, Vol. 121, No. 2, pp. 239–253.
- Fiore, A.M., Naik, V., Spracklen, D.V., Steiner, A., Unger, N., Prather, M., Bergmann, D., Cameron-Smith, P.J., Cionni, I., Collins, W.J., Dalsøren, S., Eyring, V., Folberth, G.A., Ginoux, P., Horowitz, L.W., Josse, B., Lamarque, J.-F., MacKenzie, I.A., Nagashima, T., O'Connor, F.M., Righi, M., Rumbold, S.T., Shindell, D.T., Skeie, R.B., Sudo, K., Szopa, S., Takemurat, T., Zeng, G. (2012) Global air quality and climate. *Chemical Society Reviews*, Vol. 41, No. 19, pp. 6663–6683.
- Flannigan, M.D., Logan, K.A., Amiro, B.D., Skinner, W.R., Stocks, B.J. (2005). Future area burned in Canada. *Climate Change*, Vol. 72, No. 1-2, pp. 1–16.
- Fuentes, J.D., Lerday, M., Atkinson, R., Baldocchi, D., Bottenheim, J.W., Ciccioli, P., Lamb, B., Geron, C., Gu, L., Guenther, A., Sharkey, T.D., Stockwell, W. (2000). Biogenic hydrocarbons in the atmospheric boundary layer: a review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 81, No. 7, pp. 1537–1575.
- Galan, C., Garcia-Mozo, H., Vazquez, L., Ruiz, L., de la Guardia, C.D., Trigo, M.M. (2005). Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 49, No. 3, pp. 184–188.

- Gillett, N.P., Weaver, A.J., Zwiers, F.W., Flannigan, M.D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No. 18, Article L18211.
- Giorgi, F., Meleux, F. (2007). Modelling the regional effects of climate change on air quality. *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 339, No. 11-12, pp. 721-733.
- Gouveia, N., Fletcher, T. (2000). Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *Journal of Epidemiology & Community Health*, Vol. 54, No. 10, pp. 750–755.
- Hodzic, A., Madronich, S., Bohn, B., Massie, S., Menut, L., Wiedinmyer, C. (2007). Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effect. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 7, No. 15, pp. 4043–4064.
- Hogrefe, C., Werth, D., Avissar, R., Lynn, B., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Rosenthal, J., Knowlton, K., Kinney P.L. (2006). Analyzing the impacts of climate change on ozone and particulate matter with tracer species, process analysis, and multiple regional climate scenarios. In: Borrego C, Renner E, eds. *Air pollution modeling and its application XVIII: 28th NATO/CCMS international technical meeting on air pollution modeling and its application*, May 15–19, 2006. Leipzig, Germany: Elsevier.
- Huszar, P., Juda-Rezler, K., Halenka, T., Chervenkov, H., Syrakov, D., Krüger, B.C., Zanis, P., Melas, D., Katragkou, E., Reizer, M., Trapp, W., Belda, M. (2011). Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe. *Climate Research*, Vol. 50, No. 1, pp. 51–68.
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jacob, D.J., Winner, D.A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, Vol. 43, No. 1, pp. 51–63.
- Johnston, F.H., Henderson, S.B., Chen, Y., Randerson, J.T., Marlier, M., DeFries, R.S., Kinney, P., Bowman, D.M.J.S., Brauer, M. (2012). Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 120, No. 5, pp. 695–701.
- Juda-Rezler, K., Reizer, M., Huszar, P., Krüger, B. C., Zanis, P., Syrakov, D., Katragkou, E., Trapp, W., Melas, D., Chervenkov, H., Tegoulis, I., Halenka, T. (2012). Modelling the effects of climate change on air quality over Central and Eastern Europe: Concept, evaluation and projections. *Climate Research*, Vol. 53, No. 3, pp. 179–203.
- Katragkou, E., Zanis, P., Kioutsioukis, I., Tegoulis, I., Melas, D., Krger, B., Coppola, E. (2011): Future climate change impacts on summer surface ozone from regional climate-air quality simulations over Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 116, No. D22, Article D22307.
- Kim, M.J., Park, R.J., Ho, C.H., Woo, J.H., Choi, K.C., Song, C.K., Lee, J.B. (2015). Future ozone and oxidants change under the RCP scenarios. *Atmospheric Environment*, Vol. 101, pp. 103–115.
- Kinney, P.L. (2008). Climate change, air quality, and human health. *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 5, No. 5, pp. 459–467.
- Kirtman, B., Power, S.B., Adedoyin, A.J., Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblus-Reyes, F., Fiore, A.M., Kimoto, M., Meehl, G., Prather, M., Sarr, A., Schär, C., Sutton, R., Jan

- van Oldenborgh, G., Vecchi, G., Wang, H.-J. (2013). Near-term climate change: projections and predictability. In: Stocker TF et al (eds) *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lacressonnière, G., Foret, G., Beekmann, M., Siour, G., Engardt, M., Gauss, M., Watson, L., Andersson, C., Colette, A., Josse, B., Marécal, V., Nyiri, A., Vautard, R. (2016). Impacts of regional climate change on air quality projections and associated uncertainties. *Climatic Change*, Vol. 136, No. 2, pp. 309–324.
- O'Connor, F.M., Boucher, O., Gedney, N., Jones, C.D., Folberth, G.A., Coppel, R., Friedlingstein, P., Collins, W.J., Chappellaz, J., Ridley, J., Johnson, C.E. (2010). Possible role of wetlands, permafrost, and methane hydrates in the methane cycle under future climate change: a review. *Reviews of Geophysics*, Vol. 48, No. 4, Article RG4005.
- Orru, H., Andersson, C., Ebi, K.L., Langner, J., Astrom, C., Forsberg, B. (2013). Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe. *European Respiratory Journal*, Vol. 41, No. 2, pp. 285–294.
- Silva, R.A., West, J.J., Lamarque, J.F., Shindell, D.T., Collins, W.J., Dalsoren, S., Faluvegi, G., Folberth, G., Horowitz, L.W., Nagashima, T., Naik, V., Rumbold, S.T., Sudo, K., Takemura, T., Bergmann, D., Cameron-Smith, P., Cionni, I., Doherty, R.M., Eyring, V., Josse, B., MacKenzie, I.A., Plummer, D., Righi, M., Stevenson, D.S., Strode, S., Szopa, S., Zengast G. (2016). The effect of future ambient air pollution on human premature mortality to 2100 using output from the ACCMIP model ensemble. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 16, No. 15, pp. 9847–9862.
- Tagaris, E., Liao, K.-J., Delucia, A.J., Deck, L., Amar, P., Russell, A.G. (2009). Potential impact of climate change on air pollution-related human health effects. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, No. 13, pp. 4979–4988.
- von Schneidemesser, E., Monks, P.S., Allan, J.D., Bruhwiler, L., Forster, P., Fowler, D., Lauer, A., Morgan, W.T., Paasonen, P., Righi, M., Sindelarova, K., Sutton, M.A. (2015). Chemistry and the linkages between air quality and climate change. *Chemical Reviews*, Vol. 115, No. 10, pp. 3856–3897.
- Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., Swetnam, T.W. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science*, Vol. 313, No. 5789, pp. 940–943.
- WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: technical report. Copenhagen: World Health Organisation.
- Zmirou, D., Schwartz, J., Saez, M., Zanobett, A., Wojtyniak, B., Touloumi, G., Spix, C., de León, A.P., Moullec, Y.L., Bacharova, L., Schouten, J., Pönkä, A., Katsouyanni, K. (1998). Time-series analysis of air pollution and cause-specific mortality. *Epidemiology*, Vol. 9, No. 5, pp. 495–503.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Ασημένια Καλέντζιου
Καθηγήτρια Φυσικής Αγωγής
Δ.Σ Ατσικής Λήμνου
E-mail: mkalentziou@yahoo.gr

Αναστασία Πασχαλίδου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
E-mail: apascha@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με την UNESCO (2005), βασικός σκοπός της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης είναι «να αναπτύξει έναν παγκόσμιο πληθυσμό που θα έχει επίγνωση και ενδιαφέρον για το περιβάλλον και τα προβλήματά του και θα έχει τη γνώση, τις δεξιότητες, τις στάσεις, τα κίνητρα και την αφοσίωση, ώστε να εργαστεί ατομικά και συλλογικά προς την κατεύθυνση της επίλυσης των παρόντων προβλημάτων, καθώς και την αποτροπή δημιουργίας νέων». Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση δεν πρέπει να προστεθεί στα εκπαιδευτικά προγράμματα ως ξεχωριστό μάθημα ή ως αντικείμενο για ειδική μελέτη, αλλά ως μία διάσταση προς ενσωμάτωση σ' αυτά. Όσα μαθαίνουν τα παιδιά σήμερα διαμορφώνουν τον αυριανό κόσμο. Η εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή, μέσω της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, βοηθά ουσιαστικά τις νέες γενιές να κατανοήσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να κάνουν τις απαραίτητες αλλαγές στον τρόπο ζωής τους, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να αποτυπωθούν και να διερευνηθούν οι γνώσεις και οι στάσεις των μαθητών του γυμνασίου της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης αναφορικά με την κλιματική αλλαγή, πριν και μετά από ένα παρεμβατικό πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. Στην έρευνα συμμετείχαν 434 μαθητές των τριών τάξεων του γυμνασίου. Ως μέσο συλλογής των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ερωτηματολόγιο για τη διερεύνηση των δημογραφικών χαρακτηριστικών, αλλά και των γνώσεων και στάσεων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Το βασικό εύρημα της έρευνας ήταν ότι οι γνώσεις και οι στάσεις των μαθητών του γυμνασίου, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, διαφοροποιούνται θετικά μετά την υλοποίηση του παρεμβατικού προγράμματος. Απαιτείται, ωστόσο, επιπλέον έρευνα σε μεγαλύτερη ομάδα ατόμων, προκειμένου να γενικευτούν τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, παρεμβατικό πρόγραμμα, γνώσεις, στάσεις

Εισαγωγή

Από τα τέλη του 20ου αιώνα μέχρι σήμερα, περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως η κατασπατάληση των φυσικών πόρων, η κάθε λογής ρύπανση, η μείωση της βιοποικιλότητας κ.λπ., κυριάρχησαν στον κοινωνικό προβληματισμό, αφού συνδέονται με μία σειρά ζητημάτων, όπως οι πολεμικές συρράξεις, οι κοινωνικές ανισότητες ως προς την πρόσβαση, εκμετάλλευση και χρήση των φυσικών πόρων, οι ανισότητες σχετικά με την κατανομή του πλούτου και την ευημερία κ.λπ. (Φλογαΐτη 2006). Η κλιματική αλλαγή αποτελεί το μεγαλύτερο κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό πρόβλημα που απειλεί σήμερα τη βιωσιμότητα της παγκόσμιας κοινότητας και σχετίζεται με όλα τα άλλα προβλήματα του πλανήτη (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Η Αρκτική Θάλασσα το 1984 και το 2012 (Πηγή: NASA).

Η εκπαίδευση είναι ο σημαντικότερος θεσμός που διαθέτει η κοινωνία, για να σχεδιάσει, να δρομολογήσει και να στηρίξει μία νέα περιβαλλοντική και κοινωνική τάξη πραγμάτων (Φλογαΐτη 2006). Βασικοί στόχοι και χαρακτηριστικά της εκπαίδευσης για το περιβάλλον και την αειφορία είναι η ενδυνάμωση της κριτικής σκέψης και δράσης, η παρέμβαση στις αξίες, στάσεις και πεποιθήσεις, το άνοιγμα του σχολείου στην κοινωνία, η συλλογική και ομαδική δουλειά, η βιωματική και ενεργή μάθηση, η ολιστική, συστημική, διαθεματική και διεπιστημονική προσέγγιση της γνώσης (Δημητρίου 2009). Για την προώθηση αυτού του παιδαγωγικού της πλαισίου, υιοθετούνται διδακτικές στρατηγικές, είτε από τον εκπαιδευτικό είτε από τους μαθητές. Οι εκπαιδευόμενοι έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ποικίλα χαρακτηριστικά της προσωπικότητάς τους, σε συναισθηματικό, δημιουργικό και πνευματικό επίπεδο, δείχνοντας ενδιαφέρον για τα προβλήματα του τόπου τους. Δίνεται η ευκαιρία σε εκπαιδευτικούς και μαθητές να ανταλλάξουν απόψεις και να δώσουν απαντήσεις σε φλέγοντα ερωτήματα που σχετίζονται με την οικολογική και κοινωνική κρίση που αντιμετωπίζει ο σύγχρονος κόσμος (Κατσίκης & Ζαχαρίου 2005).

Οι κύριες διαστάσεις της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης συνοψίζονται στα εξής:

- Η εκπαίδευση για το περιβάλλον ή γύρω από το περιβάλλον, που εστιάζει στην απόκτηση θεωρητικής γνώσης και σε γνωστικούς στόχους για την κατανόηση της λειτουργίας του περιβάλλοντος και της αλληλεπίδρασης με αυτό (στο συγκεκριμένο πλαίσιο δεν απαιτείται η επαφή μαζί του).
- Η εκπαίδευση μέσα ή δια μέσου του περιβάλλοντος, που χρησιμοποιείται ως πηγή γνώσης και απόκτησης δεξιοτήτων, με την αξιοποίηση της βιωματικής εμπειρίας, την παρατήρηση και την διερεύνηση, ώστε το άτομο να προβαίνει σε συμπεριφορές παράλληλα με τις πληροφορίες που λαμβάνει από τη θεωρητική εκπαίδευση.

- Η εκπαίδευση για χάρη ή προς όφελος του περιβάλλοντος, που τη διαχωρίζει από τη λοιπή εκπαιδευτική διαδικασία, έχοντας ως στόχο την κατανόηση της ανάγκης που έχει το περιβάλλον για προστασία και φροντίδα (Καρούντζου 2007).

Ο ρόλος της εκπαίδευσης έγκειται στο να κατανοήσουν οι μαθητές τις αιτίες και τις συνέπειες αυτού του περιβαλλοντικού ζητήματος, μέσα από κατάλληλες διδακτικές πρακτικές. Αυτό θα τους οδηγήσει στην υιοθέτηση στάσεων, αξιών, συμπεριφορών και στην ανάληψη πρωτοβουλιών, ώστε να συμμετέχουν στη λήψη αποφάσεων και δράσεων για την επίλυση του προβλήματος. Στην επιλογή κατάλληλων διδακτικών τεχνικών εμφανίζονται δυσκολίες, όπως η παγκόσμια φύση του προβλήματος, οι δυσνόητες έννοιες, η αλληλεξάρτησή του από άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, οι ποικίλες επιστημονικές απόψεις (IPCC 2014).

Όσα μαθαίνουν τα παιδιά σήμερα διαμορφώνουν τον αυριανό κόσμο (UNESCO 2005). Η εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή και για αειφόρο ανάπτυξη βοηθά ουσιαστικά τις νέες γενιές να κατανοήσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να κάνουν τις απαραίτητες αλλαγές στον τρόπο ζωής τους, ώστε να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Ειδικά το άρθρο 6 της UNESCO για την Εκπαίδευση για την Κλιματική Αλλαγή και για Αειφόρο Ανάπτυξη αναφέρεται στην εκπαίδευση και την ενημέρωση του κοινού για την κλιματική αλλαγή. Το άρθρο περιλαμβάνει πρωτοβουλίες, όπως σεμινάρια για την εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή, πλατφόρμες για το κλίμα, όπου ευάλωτες κοινωνικές ομάδες μοιράζονται τις γνώσεις τους για την κλιματική αλλαγή, και εκπαιδευτικά προγράμματα, όπου μαθητές και κοινότητες μαθαίνουν, συνεργάζονται, αξιολογούν και επιλύουν προβλήματα σχετικά με την κλιματική αλλαγή. Επίσης, το άρθρο 6 προωθεί την ανάπτυξη και διάχυση παιδαγωγικών υλικών, εργαλείων και πηγών σχετικά με την κλιματική αλλαγή.

Στόχος του Προγράμματος της UNESCO για την Εκπαίδευση για την Κλιματική Αλλαγή και για Αειφόρο Ανάπτυξη είναι η ενίσχυση της ικανότητας των κρατών-μελών να παρέχουν ποιοτική εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή στην πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση, μέσω:

- βελτιωμένης εκπαιδευτικής πολιτικής, ανάλυσης, έρευνας και σχεδιασμού,
- εκπαίδευσης των εκπαιδευτικών και επιμόρφωσης των σχεδιαστών αναλυτικών προγραμμάτων,
- εκπαίδευσης στη μεταρρύθμιση και στον σχεδιασμό νέων διαθεματικών αναλυτικών προγραμμάτων για την κλιματική αλλαγή.

Επιθυμητά αποτελέσματα αυτού του στόχου είναι:

- η βελτίωση της κατανόησης του αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής γενικά, αλλά και ειδικά, σε ευάλωτες και περιθωριοποιημένες πληθυσμιακές ομάδες,
- η αύξηση της ετοιμότητας των κυβερνήσεων για νέο εκπαιδευτικό σχεδιασμό και χρηματοδότηση για την εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή,
- η ενσωμάτωση του θέματος της κλιματικής αλλαγής στα νέα αναλυτικά προγράμματα,
- η ενθάρρυνση και η βελτίωση καινοτόμων διδακτικών προσεγγίσεων, για να ενσωματωθεί ποιοτική εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή στο σχολείο, μέσω διεπιστημονικών πρακτικών, ολιστικών προσεγγίσεων, φυσικών επιστημών, τεχνολογικής εκπαίδευσης και εκπαίδευσης για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών,

- η προώθηση νέων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων σχετικά με την κλιματική αλλαγή και την αειφόρο ανάπτυξη, με σεβασμό στη μάθηση κάθε επιστημονικού τομέα χωριστά, αλλά και διαθεματικά, με την εφαρμογή ολιστικής προσέγγισης,
- η αύξηση της ευαισθητοποίησης σχετικά με την κλιματική αλλαγή και η βελτίωση των μη τυπικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων, μέσω των ΜΜΕ, του διαδικτύου και των συνεργασιών,
- η σωστή ενημέρωση του κοινού, μέσω των ΜΜΕ και του διαδικτύου, σχετικά με την κλιματική αλλαγή,
- η συνεργασία σχολείων, εκπαιδευτικών δικτύων και κοινοτήτων.

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών προγραμμάτων των Κέντρων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΚΠΕ), υποστηρίζεται πως είναι ουτοπικό να θεωρείται ότι οι στόχοι της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΠΕ) θα επιτευχθούν από τα περιορισμένης διάρκειας προγράμματα των ΚΠΕ (Ανδρικοπούλου 2006), ενώ διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ανάγκη για επανειλημμένες παρεμβάσεις των ΚΠΕ στα σχολεία, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, προκειμένου να αυξηθεί η πιθανότητα τα αποτελέσματα των προγραμμάτων να διατηρηθούν (Hadjichambis et al. 2015). Άλλωστε, έχει επισημανθεί ότι ένα πρόγραμμα ΠΕ ενισχύει τις γνώσεις και στάσεις των μαθητών, αλλά αυτό δεν αρκεί για την υπεύθυνη περιβαλλοντική συμπεριφορά, καθώς απαιτείται και ανάπτυξη δεξιοτήτων, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συνεργασίας μεταξύ σχολείων και ΚΠΕ (Γκανάτσος 2008). Παράλληλα, προσοχή πρέπει να δοθεί στον κίνδυνο η επίσκεψη των μαθητών (κυρίως της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης) στα ΚΠΕ να περιθωριοποιήσει ακόμα περισσότερο την ΠΕ στο πρόγραμμα του σχολείου, καλλιεργώντας στον μαθητή την ψευδαίσθηση ότι η ΠΕ εξαντλείται σε αυτές τις επισκέψεις (Παπαδημητρίου 1998).

Ένα ζήτημα που έχει απασχολήσει κατά καιρούς την εκπαιδευτική κοινότητα είναι η θεματολογία των εκπαιδευτικών προγραμμάτων των ΚΠΕ και η επίδρασή τους στους μαθητές. Όπως έχει διαπιστωθεί από έρευνες που διεξήχθησαν, αυτά εστιάζουν με δυσανάλογα μεγάλη έμφαση σε θέματα που αφορούν κυρίως το φυσικό περιβάλλον (Γεωργόπουλος 2014). Μάλιστα, το μεγαλύτερο ποσοστό προγραμμάτων αντλούν το θέμα τους από το υδάτινο περιβάλλον και ακολουθούν τα σχετικά με τα δάση, ενώ σε μικρότερο ποσοστό καταγράφονται προγράμματα σχετικά με τα περιβαλλοντικά μονοπάτια. Αντίθετα, ελάχιστα είναι τα προγράμματα με θέματα που σχετίζονται με την αειφόρο ανάπτυξη, τη φτώχεια, την ειρήνη, τη δημοκρατία, την ισότητα των φύλων, την κλιματική αλλαγή, τη βιοποικιλότητα, κ.ά. (Κονταράς 2004). Αυτός ο προσανατολισμός ευνοείται και λόγω του ειδικού τύπου εργαστηρίων με τα οποία έχουν εξοπλισθεί τα ΚΠΕ, που θέτουν στο επίκεντρο δραστηριότητες με μετρήσιμες διαφορών παραμέτρων (θερμοκρασίας, περιεκτικότητας του νερού σε οξυγόνο, σε νιτρικά κ.λπ.). Επίσης, ως προς τις διδακτικές μεθόδους που εφαρμόζονται, εκφράζονται επιφυλάξεις, αφού, από έρευνα που διεξήχθη στα προγράμματα τριών ΚΠΕ, προέκυψε ότι οι διδακτικές μέθοδοι στα προγράμματα που μελετήθηκαν δεν συνάδουν με τις αρχές της βιωματικής παιδαγωγικής (Παπαγεωργίου κ.ά. 2012).

Σε διεθνές επίπεδο, έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές που συμμετείχαν σε δραστηριότητες ΠΕ στην φύση είχαν σημαντικά πιο θετική στάση απέναντι στην άγρια ζωή (Dettmann-Easler & Pease 1999). Αναμφίβολα, η εμπλοκή των μαθητών σε περιβαλλοντικές δράσεις έχει επίπτωση στη διαμόρφωση των στάσεων, των γνώσεων και της συμπεριφοράς τους. Δεν είναι, όμως, αρκετή, για να αποτραπούν οι επιζήμιες επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, της

απώλειας της βιοποικιλότητας και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος που βιώνει ο πλανήτης, με ανησυχητικά επιταχυνόμενο ρυθμό (Rickinson 2001).

Σε εθνικό επίπεδο, οι έρευνες τονίζουν την ανάγκη η ΠΕ να βρίσκεται στο επίκεντρο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, αποτελώντας αναπόσπαστο μέρος όλων των μαθημάτων. Είναι ουτοπικό, όμως, να θεωρείται ότι οι στόχοι της ΠΕ θα επιτευχθούν από τα περιορισμένης διάρκειας προγράμματα των ΚΠΕ (Ανδρικοπούλου 2006). Γι' αυτό, υπάρχει ανάγκη για επανειλημμένες παρεμβάσεις των ΚΠΕ στα σχολεία, για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, προκειμένου να αυξηθεί η πιθανότητα να διατηρηθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος (Hadjichambis et al. 2015).

Στην παρούσα εργασία θα γίνει διερεύνηση των γνώσεων και στάσεων των μαθητών για την κλιματική αλλαγή, μέσα από ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα του ΚΠΕ Βιστωνίδας, με τίτλο «Κλιματική αλλαγή...με νοιάζει;». Οι επιμέρους στόχοι που θέτει η έρευνα είναι:

- η διερεύνηση των γνώσεων των μαθητών για τις κύριες αιτίες που προκαλούν την κλιματική αλλαγή,
- η διερεύνηση των γνώσεων των μαθητών για τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής,
- η καταγραφή των δράσεων των μαθητών που θα βοηθούσαν στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Ειδικότερα, οι μαθητές, μετά την παρακολούθηση του παρεμβατικού προγράμματος, επιδιώκεται:

- να κατανοούν τις αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής,
- να γνωρίζουν τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στο φυσικό περιβάλλον και σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας,
- να γνωρίζουν τα μέτρα που έχουν ληφθεί για τη μείωση της κλιματικής αλλαγής,
- να εφαρμόζουν τα δικά τους μέτρα για τη μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής,
- να είναι πρόθυμοι να συμμετέχουν σε δράσεις σε ατομικό επίπεδο, σε επίπεδο σχολείου αλλά και στην κοινωνία γενικότερα.

Μεθοδολογία της έρευνας

Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που επιχειρήθηκε να απαντηθούν μέσα από την παρούσα ερευνητική εργασία είναι:

- Η συμμετοχή των μαθητών σε μία περιβαλλοντική ομάδα θα διαφοροποιήσει τις γνώσεις τους για τα αίτια, τις συνέπειες και την πρόθεση για δράσεις για την κλιματική αλλαγή, πριν και μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα;
- Η παρακολούθηση περιβαλλοντικού προγράμματος σε ΚΠΕ θα διαφοροποιήσει τις γνώσεις των μαθητών για τα αίτια, τις συνέπειες και την πρόθεση για δράσεις για την κλιματική αλλαγή, πριν και μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα;

- Η συμμετοχή των μαθητών σε παρεμβατικό πρόγραμμα θα διαφοροποιήσει τις γνώσεις τους για τα αίτια, τις συνέπειες και την πρόθεση για δράσεις για την κλιματική αλλαγή;

Δείγμα

Το δείγμα της έρευνας περιλαμβάνει 434 μαθητές των τριών τάξεων του γυμνασίου. Το 51,6% του δείγματος ήταν αγόρια και το 48,4% κορίτσια. Ως προς την ηλικία, το 35,5% των μαθητών είχαν ηλικία 13 ετών, το 35,7% είχαν ηλικία 14 ετών και το 28,8% είχαν ηλικία 15 ετών. Εξετάζοντας το μορφωτικό επίπεδο των γονέων, πτυχίο Τ.Ε.Ι - Α.Ε.Ι κατείχε το 43,8% των μητέρων, ενώ το 40,1% των πατέρων κατείχε απολυτήριο λυκείου. Ως προς τη συμμετοχή τους σε περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου, το 57,4% δήλωσε ότι δεν συμμετείχε σε αυτήν και, ως προς το αν είχαν παρακολουθήσει πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης σε ΚΠΕ, το 52,8% απάντησε θετικά. Από το ποσοστό των μαθητών που παρακολούθησαν πρόγραμμα περιβαλλοντικής εκπαίδευσης σε ΚΠΕ, το 19,1% παρακολούθησε πρόγραμμα σχετικό με τις λίμνες και το 13,8% πρόγραμμα για τα απορρίμματα. Ως προς την πηγή πληροφόρησής τους σχετικά με την κλιματική αλλαγή, το 48,4% δήλωσε ότι ενημερώνεται από το διαδίκτυο και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, ενώ το 10,4% απάντησε ότι ενημερώνεται από τα ΚΠΕ και την περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Δημογραφικά στοιχεία του δείγματος.

Δημογραφικά στοιχεία			
	Κατηγορίες	N	%
Φύλο	Αγόρια	224	51,6
	Κορίτσια	210	48,4
Ηλικία	13 ετών	154	35,5
	14 ετών	155	35,7
	15 ετών	125	28,8
Μορφωτικό επίπεδο μητέρας	Δημοτικό	50	11,5
	Γυμνάσιο	55	12,7
	Λύκειο	139	32,0
	Τ.Ε.Ι – Α.Ε.Ι	190	43,8
Μορφωτικό επίπεδο πατέρα	Δημοτικό	34	7,8
	Γυμνάσιο	58	13,4
	Λύκειο	174	40,1
	Τ.Ε.Ι – Α.Ε.Ι	168	38,7
Συμμετοχή σε περιβαλλοντική ομάδα	Ναι	185	42,6
	Όχι	249	57,4
Παρακολούθηση προγράμματος ΚΠΕ	Ναι	229	52,8
	Όχι	205	47,2
Θεματική ενότητα προγράμματος ΚΠΕ	Κανένα	205	47,2
	Ενέργεια	10	2,3
	ΑΠΕ	10	2,3
	Νερό	6	1,4
	Δάση	43	9,9
	Ποτάμια	17	3,9
	Λίμνες	83	19,1
	Απορρίμματα	60	13,8
Πηγή πληροφόρησης για την κλιματική αλλαγή	Τηλεόραση - ράδιο	125	20,8
	Σχολικά βιβλία	54	12,4
	Διαδίκτυο	210	48,4
	ΚΠΕ- ΠΟ	45	10,4

Εργαλείο Συλλογής Δεδομένων - Διαδικασία

Για τη συλλογή των δεδομένων, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο εργαλείο το ερωτηματολόγιο, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η συλλογή ικανού όγκου δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μικρό κόστος (Παρασκευόπουλος 1993) και το οποίο αποτελεί το κυριότερο μέσο συλλογής δεδομένων στις κοινωνικές επιστήμες. Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές σχεδιάστηκε με βάση τον σκοπό, τους στόχους και τα ερευνητικά ερωτήματα αυτής της εργασίας. Έγινε προσπάθεια να είναι σύντομο, αλλά και να περιλαμβάνει τις κατάλληλες ερωτήσεις από το ευρύ φάσμα της θεματολογίας που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή, ενώ επιχειρήθηκε οι ερωτήσεις να είναι σαφείς και απλά διατυπωμένες. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει 10 ερωτήσεις που εξετάζουν δημογραφικά και προσωπικά χαρακτηριστικά, όπως η ηλικία, η τάξη, το σχολείο που φοιτούν και το φύλο των μαθητών, καθώς και το μορφωτικό επίπεδο των γονέων. Το ίδιο μέρος περιλαμβάνει ερωτήσεις που εξετάζουν στοιχεία, όπως τη συμμετοχή ή όχι των μαθητών σε περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου, την παρακολούθηση ή όχι προγράμματος περιβαλλοντικής εκπαίδευσης σε ΚΠΕ, τη θεματολογία των προγραμμάτων αυτών και τις ενδεχόμενες πηγές γνώσης για τη κλιματική αλλαγή. Τα στοιχεία αυτά ελήφθησαν ως «ανεξάρτητες μεταβλητές».

Το δεύτερο μέρος διερευνά τις γνώσεις και τις στάσεις των συμμετεχόντων σε μία σειρά από 26 ερωτήσεις - δηλώσεις που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Στις ερωτήσεις - δηλώσεις χρησιμοποιήθηκαν απαντήσεις κλειστού τύπου 5-βάθμιας κλίμακας Likert, όπου το 1 αντιστοιχεί στο «Διαφωνώ απόλυτα» και το 5 στο «Συμφωνώ απόλυτα», με την τιμή 3 να αντιπροσωπεύει τον μέσο της κλίμακας και να αντιστοιχεί στην επιλογή «Δεν γνωρίζω».

Για τη διερεύνηση των γνώσεων των μαθητών σχετικά με τα αίτια της κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιήθηκαν οι απαντήσεις 9 ερωτήσεων οι οποίες αποτελούν τον 1^ο παράγοντα, «Αίτια της κλιματικής αλλαγής». Για τη διερεύνηση των γνώσεων των μαθητών για τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιήθηκαν οι απαντήσεις 9 ερωτήσεων που αποτελούν τον 2^ο παράγοντα, «Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής». Τέλος, για την εξέταση των προθέσεων - δράσεων των μαθητών για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιήθηκαν οι απαντήσεις 8 ερωτήσεων οι οποίες αποτελούν τον 3^ο παράγοντα, «Δράσεις για την κλιματική αλλαγή». Οι τρεις παραπάνω παράγοντες ελήφθησαν ως «εξαρτημένες μεταβλητές».

Διαδικασία συλλογής δεδομένων και υλοποίησης της παρέμβασης

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε, μετά από έγκριση υλοποίησης από το αρμόδιο τμήμα του Υπουργείου Παιδείας, κατά το Β' εξάμηνο του σχολικού έτους 2018-2019 σε 6 γυμνάσια της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης, στην πόλη της Ξάνθης, και επιλέχθηκαν μαθητές και από τις τρεις τάξεις των γυμνασίων. Προηγήθηκε πρόσκληση από το ΚΠΕ Βιστωνίδας στην οποία ανταποκρίθηκαν 18 εκπαιδευτικοί από 6 Γυμνάσια. Στη συγκεκριμένη έρευνα έλαβαν μέρος συνολικά 434 μαθητές από 18 τμήματα. Η ερευνητική διαδικασία ολοκληρώθηκε σε τρία στάδια:

- Διεξαγωγή του pre-test (20'),
- Υλοποίηση του παρεμβατικού προγράμματος (4 διδακτικές ώρες),
- Διεξαγωγή του post-test (15').

Αρχικά, το ερωτηματολόγιο δόθηκε πιλοτικά σε 6 μαθητές, έναν από κάθε σχολείο (3 αγόρια και 3 κορίτσια), με υψηλή και χαμηλή επίδοση, για να διερευνηθεί αν οι ερωτήσεις ήταν απόλυτα κατανοητές και να υπολογιστεί ο απαιτούμενος χρόνος συμπλήρωσης. Μετά την πιλοτική εφαρμογή, έγιναν ελάχιστες διορθώσεις, αφού διαπιστώθηκε ότι σχεδόν όλες οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου ήταν σαφείς. Κατά τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων, στο στάδιο διεξαγωγής του pre-test και στο στάδιο διεξαγωγής του post-test, κρίθηκε απαραίτητη η παρουσία της ερευνήτριας για παροχή τυχόν διευκρινήσεων όσον αφορά την κατανόηση των ερωτήσεων και τον τρόπο συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου.

Στο πρώτο στάδιο διεξαγωγής του pre-test, πριν τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν σχετικά με το θέμα, τη δομή του ερευνητικού εργαλείου, αλλά και τον χρόνο που επρόκειτο να δαπανήσουν σε αυτή την έρευνα. Τονίστηκε η αναγκαιότητα να απαντηθούν όλες οι ερωτήσεις με ειλικρίνεια, ότι δεν υπάρχουν σωστές ή λάθος απαντήσεις και ότι τα δεδομένα της έρευνας επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν αυστηρά για ερευνητικούς σκοπούς. Επίσης, τηρήθηκε ο κώδικας δεοντολογίας περί ζητημάτων εμπιστευτικότητας και ανωνυμίας. Τέλος, η συμμετοχή στην παρούσα μελέτη ήταν εθελοντική. Στο στάδιο αυτό το ερωτηματολόγιο δόθηκε στους μαθητές, προκειμένου να διερευνήσει τις γνώσεις και τις στάσεις που ήδη κατείχαν για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.

Όσον αφορά το δεύτερο στάδιο, την υλοποίηση του παρεμβατικού προγράμματος, υλοποιήθηκε από την ερευνήτρια, η οποία το διάστημα διεξαγωγής της έρευνας ήταν μέλος της παιδαγωγικής ομάδας του ΚΠΕ Βιστωνίδας. Η διάρκεια του παρεμβατικού προγράμματος ήταν 4 διδακτικές ώρες.

Το τρίτο στάδιο, αυτό της διεξαγωγής του post-test, πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την υλοποίηση των δραστηριοτήτων του παρεμβατικού προγράμματος σε κάθε τμήμα/τάξη, όπου δόθηκαν ξανά τα ίδια ερωτηματολόγια στους μαθητές, όπως αυτά της φάσης του pre-test, χωρίς το πρώτο μέρος, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των απαντήσεων πριν και μετά την παρακολούθηση του παρεμβατικού προγράμματος. Η διάρκεια συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου ήταν 15'.

Πρόγραμμα Παρέμβασης του ΚΠΕ Βιστωνίδας με θέμα: Κλιματική αλλαγή...με νοιάζει;

Το εκπαιδευτικό περιβαλλοντικό πρόγραμμα δημιουργήθηκε από την περιβαλλοντική ομάδα του ΚΠΕ Βιστωνίδας και υλοποιήθηκε σε 6 σχολικές ομάδες. Υλοποιείται στον χώρο του σχολείου και έχει διάρκεια 4 διδακτικές ώρες. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό του προγράμματος, μετά από την ολοκλήρωσή του, οι μαθήτριες/τές θα είναι σε θέση:

- να κατανοούν τι είναι κλίμα και καιρός, τι είναι κλιματική αλλαγή και ποια τα ακραία καιρικά φαινόμενα,
- να γνωρίζουν για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον,
- να κατανοούν τα φυσικά και ανθρωπογενή αίτια της κλιματικής αλλαγής,
- να γνωρίζουν σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή, όπως η ερημοποίηση, η καταστροφή των δασών και το λιώσιμο των πάγων,
- να συσχετίζουν αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα με τη μετανάστευση των πληθυσμών,

- να αξιολογούν τις επιπτώσεις που υφίστανται οι φυσικοί πόροι λόγω της κλιματικής αλλαγής, καθώς και τις συνέπειές τους στην καθημερινότητα του ανθρώπου,
- να αξιολογούν τις επιπτώσεις που υφίστανται τα οικοσυστήματα,
- να υιοθετούν στην καθημερινότητά τους συμπεριφορά φιλική προς το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον,
- να αναλαμβάνουν δράση με παραγωγή και δημοσιοποίηση κειμένων ή μηνυμάτων,
- να κατανοούν την αναγκαιότητα συμμετοχής όλων των πολιτών στην προσπάθεια διατήρησης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Δομή του προγράμματος

Δραστηριότητα 1η

Η πρώτη δραστηριότητα ήταν ένα επιδαπέδιο παιχνίδι (τύπου «φιδάκι»), κατασκευασμένο από την ΠΟ του ΚΠΕ Βιστωνίδας. Στόχος της δραστηριότητας ήταν να αξιολογήσουν οι μαθητές το καθημερινό τους οικολογικό αποτύπωμα στο περιβάλλον και τις αντίστοιχες συνέπειές του, μέσα από μία παιγνιώδη διαδικασία.

Δραστηριότητα 2η

Παρακολούθηση παρουσίασης power point με θέμα: **«Κλιματική αλλαγή..... με νοιάζει;;;»**. Οι ενότητες που περιείχε είναι οι εξής:

- Κλίμα - κλιματική αλλαγή. Αποσαφήνιση των εννοιών του «καιρού», του «κλίματος», της «κλιματικής αλλαγής» και των «ακραίων καιρικών φαινομένων».
- Φαινόμενο του θερμοκηπίου - θερμοκηπικά αέρια. Οι μαθητές παρατηρούν σχηματικά τον μηχανισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου και πώς δημιουργείται το πρόβλημα των αυξημένων εκπομπών θερμοκηπικών αερίων. Γνωρίζουν ποια είναι τα θερμοκηπικά αέρια και κατανοούν τους παράγοντες που προκαλούν την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.
- Βιομηχανική επανάσταση. Τι άλλαξε από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά και ποια η επίδρασή της στο περιβάλλον; Ποιες είναι οι φυσικές και ποιες οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συντελούν στην κλιματική αλλαγή; Συζήτηση και διατύπωση απόψεων για το ποιες δραστηριότητες θεωρούνται οι πιο επιβλαβείς για τον πλανήτη.
- Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Οι μαθητές παρακολουθούν βίντεο για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και ακολουθεί προβολή φωτογραφικού υλικού για τα είδη που απειλούνται με εξαφάνιση, την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και τη δημιουργία περιβαλλοντικών προσφύγων.
- Διεθνείς συμφωνίες για την κλιματική αλλαγή. Γίνεται αναφορά σε όλες τις διεθνείς συμφωνίες για την κλιματική αλλαγή, από το Ρίο το 1992 μέχρι την Πολωνία το 2018.
- Δράσεις για την κλιματική αλλαγή. Ανάδειξη καλών πρακτικών σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. Κατανόηση αναφορικά με το πώς οι άνθρωποι επηρεάζουν ολόένα και περισσότερο το κλίμα και τη θερμοκρασία της Γης, μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων, της αποψίλωσης των ομβρόφιλων δασών και της κτηνοτροφίας. Γίνεται αναφορά στην τελευταία έκθεση της Διεθνούς Ένωσης για τη Διατήρηση της Φύσης

(ICUN), γνωστή ως «Κόκκινη Λίστα», που αναφέρει ότι 26.197 φυτά και ζώα απειλούνται πλέον με εξαφάνιση, από τα 93.557 που αντιμετωπίζουν σοβαρές περιβαλλοντικές απειλές σε όλο τον κόσμο.

Δραστηριότητα 3η

Περιλαμβάνει βιωματικό εργαστήρι για την κλιματική αλλαγή και τα ανθρώπινα δικαιώματα, με τίτλο: «Κάνε ένα βήμα...», βασισμένο στη δραστηριότητα «Take a step forward» από το Compasito Manual for Human Rights Education for Children του Συμβουλίου της Ευρώπης.

Περιγραφή της δραστηριότητας

Στόχος της δραστηριότητας είναι η εποπτική απεικόνιση των ανισοτήτων που υπάρχουν στον κόσμο και η συσχέτισή τους με την περιβαλλοντική κρίση. Μοιράζονται στους μαθητές καρτέλες με μία σύντομη περιγραφή ανθρώπων από όλο τον κόσμο και όλων των κοινωνικο-οικονομικών στρωμάτων. Οι άνθρωποι που περιγράφονται είναι θύματα της κλιματικής αλλαγής, περιβαλλοντικοί πρόσφυγες αλλά και άνθρωποι του ανεπτυγμένου κόσμου και βιώνουν διαφορετικά τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Η επιλογή των χαρακτήρων που αναγράφονται στις καρτέλες απηχούν πραγματικές καταστάσεις και είναι εμπνευσμένες από μαρτυρίες θυμάτων της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, οι ηλικίες των χαρακτήρων είναι προσαρμοσμένες στην ηλικία των μαθητών.

Οι μαθητές κάθονται σε ημικύκλιο και λαμβάνουν μία καρτέλα, μη αποκαλύπτοντας τον χαρακτήρα που περιγράφεται σε αυτή. Στη συνέχεια, δίνεται λίγος χρόνος να σκεφτούν τη νέα τους ταυτότητα. Ο εμψυχωτής τους ζητά να κλείσουν τα μάτια και με την τεχνική της καθοδηγούμενης φαντασίας τους βοηθά να φανταστούν τον εαυτό τους στην καινούρια τους κατάσταση (τι ρούχα φοράς; ποιοι είναι οι φίλοι σου; τι φοβάσαι; πώς είναι το σπίτι σου; το δωμάτιο σου; πηγαίνεις στο σχολείο; τι κάνεις στον ελεύθερο χρόνο σου; κ.ά.). Κατόπιν, ζητείται από τα παιδιά να σταθούν σε μία ευθεία, το ένα δίπλα στο άλλο. Ο εμψυχωτής στέκεται απέναντί τους σε απόσταση τουλάχιστον 20 βημάτων και εκφωνεί 15-20 προτάσεις που περιγράφουν βασικά ανθρώπινα δικαιώματα σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. Κάθε φορά που εκφωνεί μία πρόταση, εάν αυτή ισχύει για τον μαθητή (τον χαρακτήρα που του έχει ανατεθεί), κάνει ένα βήμα μπροστά. Εάν όχι, μένει στη θέση του. Στο τέλος των προτάσεων και, ενώ οι μαθητές στέκονται στον χώρο, παρακινούνται να παρατηρήσουν τη συνολική εικόνα. Ζητείται από τα παιδιά να διαβάσουν τους χαρακτήρες τους, παιδιά στην πρώτη γραμμή, στη μέση, στο τέλος. Ο εμψυχωτής απευθύνει ερωτήματα στους μαθητές, όπως πώς αισθάνθηκαν που προχώρησαν μπροστά ή που έμειναν πίσω», πώς αισθάνθηκαν με τον χαρακτήρα τους, τι τους άρεσε σ' αυτόν και τι όχι. Ακολουθούν ερωτήσεις αναστοχασμού, όπως: «πώς επηρεάζει η περιβαλλοντική κρίση τα ανθρώπινα δικαιώματα;», «ποια περιβαλλοντικά προβλήματα αναδείχθηκαν;» κ.ά. Με τον τρόπο αυτόν, καταδεικνύεται πώς η καταπάτηση του ανθρώπινου δικαιώματος σε καθαρό και υγιές περιβάλλον μέσω της κλιματικής αλλαγής και της υποβάθμισης των φυσικών οικοσυστημάτων στερεί από χιλιάδες ανθρώπους το δικαίωμα στο νερό, στην κατοικία και σε ένα αξιοπρεπές βιοτικό επίπεδο.

Αποτελέσματα

Μελετώντας τον πίνακα των αποτελεσμάτων, όσον αφορά τους τρεις παράγοντες πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα, διαπιστώθηκε ότι μόνο στον παράγοντα «δράσεις για την κλιματική αλλαγή» υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις απαντήσεις των μαθητών με βάση το αν συμμετείχαν ή όχι σε περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου τους. Για τους άλλους

δύο παράγοντες, οι μέσες τιμές των απαντήσεων των μαθητών κυμαίνονται περίπου στο ίδιο επίπεδο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ελέγχου t-test για ανεξάρτητα δείγματα ως προς το αν οι μαθητές ανήκουν στην περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου.

	Ανήκω στην περιβ. ομάδα του σχολείου	N	M.O	T.A	t	df	Sig	Sig (2- tailed)
Αίτια πριν	NAI	185	2,61	0,327	0,929	434	0,104	0,354
	OXI	249	2,58	0,298				
Συνέπειες Πριν	NAI	185	3,08	0,300	1,073	434	0,207	0,284
	OXI	249	3,11	0,294				
Δράσεις Πριν	NAI	185	3,22	0,339	4,052	434	0,820	0,000
	OXI	249	3,09	0,347				
Αίτια Μετά	NAI	185	4,19	0,227	0,663	434	0,404	0,508
	OXI	249	4,17	0,269				
Συνέπειες Μετά	NAI	185	4,39	0,328	4,028	434	0,070	0,000
	OXI	249	4,24	0,389				
Δράσεις Μετά	NAI	185	3,96	0,489	1,199	434	0,622	0,231
	OXI	249	3,90	0,532				

Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, διαπιστώθηκε ότι μόνο στον παράγοντα «συνέπειες της κλιματικής αλλαγής» υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις απαντήσεις των μαθητών με βάση το αν συμμετείχαν ή όχι σε περιβαλλοντική ομάδα του σχολείου τους. Για τους άλλους δύο παράγοντες, οι μέσες τιμές των απαντήσεων των μαθητών κυμαίνονται περίπου στο ίδιο επίπεδο.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ελέγχου t-test για ανεξάρτητα δείγματα ως προς το αν οι μαθητές παρακολούθησαν περιβαλλοντικό πρόγραμμα σε ΚΠΕ.

	Παρακολούθησα περιβαλλοντικό πρόγραμμα σε ΚΠΕ	N	M.O	T.A	t	df	Sig	Sig (2- tailed)
Αίτια πριν	NAI	229	2,58	0,28	-0,56	434	0,09	0,575
	OXI	205	2,60	0,33				
Συνέπειες πριν	NAI	229	3,12	0,29	1,21	434	0,59	0,226
	OXI	205	3,08	0,30				
Δράσεις πριν	NAI	229	3,17	0,33	1,97	434	0,09	0,049
	OXI	205	3,11	0,36				
Αίτια μετά	NAI	229	4,21	0,25	2,82	434	0,40	0,005
	OXI	205	4,14	0,24				
Συνέπειες μετά	NAI	229	4,37	0,36	4,00	434	0,63	0,000
	OXI	205	4,23	0,35				
Δράσεις μετά	NAI	229	3,99	0,49	2,77	434	0,37	0,006
	OXI	205	3,85	0,52				

Συμπεραίνεται ότι, πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι μαθητές που ανήκαν σε περιβαλλοντική ομάδα έδειξαν μεγαλύτερη πρόθεση για συμμετοχή σε δράσεις για την

κλιματική αλλαγή, ενώ μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι μαθητές είχαν περισσότερες γνώσεις για τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Μελετώντας τον πίνακα των αποτελεσμάτων, όσον αφορά τους τρεις παράγοντες πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα, διαπιστώθηκε ότι μόνο στον παράγοντα «δράσεις για την κλιματική αλλαγή» υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις απαντήσεις των μαθητών με βάση το αν παρακολούθησαν πρόγραμμα σε ΚΠΕ ή όχι. Για τους άλλους δυο παράγοντες, οι μέσες τιμές των απαντήσεων των μαθητών κυμαίνονται περίπου στο ίδιο επίπεδο (Πίνακας 3).

Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, διαπιστώθηκε ότι σε όλους τους παράγοντες υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις απαντήσεις των μαθητών με βάση το αν παρακολούθησαν πρόγραμμα σε ΚΠΕ ή όχι.

Συμπεραίνεται ότι πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα οι μαθητές που παρακολούθησαν πρόγραμμα σε ΚΠΕ ή όχι έδειξαν μεγαλύτερη πρόθεση για συμμετοχή σε δράσεις για την κλιματική αλλαγή. Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι μαθητές είχαν περισσότερες γνώσεις για τα αίτια και τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και έδειξαν μεγαλύτερη πρόθεση για συμμετοχή σε δράσεις για την κλιματική αλλαγή, πριν και μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα.

Αναφορικά και με τις τρεις εξαρτημένες μεταβλητές, υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των τιμών που σημείωσαν οι απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα (Πίνακας 4). Συγκεκριμένα, οι απαντήσεις των μαθητών σημείωσαν μικρότερες τιμές πριν τη συμμετοχή τους στο παρεμβατικό πρόγραμμα από ότι μετά τη συμμετοχή τους.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα ελέγχου t-test για ανεξάρτητα δείγματα ως προς τις απαντήσεις των μαθητών για τους τρεις παράγοντες πριν και μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα.

Παρακολούθησα περιβαλλοντικό πρόγραμμα σε ΚΠΕ	N	M.O	T.A	t	df	Sig(2-tailed)
Αίτια πριν	434	2,59	0,311	-77,043	434	0,000
Αίτια μετά	434	4,18	0,252			
Συνέπειες πριν	434	3,10	0,297	-53,789	434	0,000
Συνέπειες μετά	434	4,30	0,371			
Δράσεις πριν	434	3,14	0,350	-31,006	434	0,000
Δράσεις μετά	434	3,93	0,514			

Συμπεράσματα

Αίτια της κλιματικής αλλαγής

Το γενικό συμπέρασμα από την παρούσα έρευνα, αναφορικά με τα αίτια της κλιματικής αλλαγής, είναι ότι οι μαθητές οι οποίοι συμμετείχαν στερούνταν των απαραίτητων γνώσεων. Συγκεκριμένα, συγχέαν το φυσικό με το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου και δεν γνώριζαν τα θερμοκηπικά αέρια. Επιπλέον, μερικοί μόνο μαθητές γνώριζαν ότι το 60% των συνολικών εκπομπών άνθρακα προέρχεται από τον τομέα της ενέργειας και των μεταφορών και συνδέεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα, η συμμετοχή σε περιβαλλοντική ομάδα και η παρακολούθηση εκπαιδευτικού προγράμματος σε ΚΠΕ δεν διαφοροποίησε τις γνώσεις των μαθητών για τα αίτια της κλιματικής αλλαγής. Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, όπου οι μαθητές ήρθαν σε επαφή με γνωστικές συνιστώσες που

αφορούν την κλιματική αλλαγή, οι γνώσεις τους διαφοροποιήθηκαν οριακά και τελικά φάνηκαν να κατανοούν σχετικά καλύτερα ποια είναι τα αίτια του φαινομένου, ξεπερνώντας παρανοήσεις που δεν συμβαδίζουν με τις αντίστοιχες επιστημονικές απόψεις. Δεν αντιμετώπιζαν το φαινόμενο γενικά και αόριστα, αλλά κατανόησαν τη δυναμική των παραμέτρων που το καθορίζουν ως προς την εξέλιξή του. Τα ευρήματα της έρευνας συμφωνούν με τα ευρήματα άλλων ερευνητών, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Η θετική επίδραση του παρεμβατικού προγράμματος στις γνώσεις των μαθητών για τα αίτια της κλιματικής αλλαγής σημειώθηκε κυρίως στους μαθητές που είχαν προηγουμένως παρακολουθήσει εκπαιδευτικό πρόγραμμα σε ΚΠΕ, γεγονός που αποτελεί ένδειξη πως στην επιτυχία ενός παρεμβατικού προγράμματος αναφορικά με την ενίσχυση των γνώσεων των μαθητών για την κλιματική αλλαγή συμβάλλει η προηγούμενη εμπειρία και εξοικείωσή τους με περιβαλλοντικά ζητήματα μέσω προγραμμάτων ΚΠΕ.

Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής

Το γενικό συμπέρασμα από την παρούσα έρευνα, αναφορικά με τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, είναι ότι οι μαθητές ήταν σε ικανοποιητικό βαθμό ενημερωμένοι πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα. Παρατηρήθηκε πως αρκετοί μαθητές αναγνώριζαν ως κύρια επίπτωση του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου την αύξηση της θερμοκρασίας που οδηγεί στην τήξη των πολικών πάγων, προκαλώντας την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, στην ερημοποίηση και συνακόλουθα στην εξαφάνιση πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας. Αντιθέτως, σε μικρότερο ποσοστό οι μαθητές συσχέτιζαν με την κλιματική αλλαγή επιπτώσεις όπως η καταστροφή καλλιεργειών, η εξάπλωση επιδημιών και η περιβαλλοντική μετανάστευση και πίστευαν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη και η κλιματική αλλαγή δεν θα επηρεάσει τη ζωή τους. Ειδικότερα, αν και οι γνώσεις των μαθητών αναφορικά με τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής δεν φαίνεται να επηρεάζονται πριν από το παρεμβατικό πρόγραμμα από την προηγούμενη συμμετοχή τους σε περιβαλλοντική ομάδα ή εκπαιδευτικό πρόγραμμα ΚΠΕ, μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι γνώσεις τους φαίνονται να ενισχύονται, όταν έχουν συμμετάσχει προηγουμένως σε περιβαλλοντική ομάδα ή έχουν παρακολουθήσει εκπαιδευτικό πρόγραμμα σε ΚΠΕ. Φαίνεται τότε να κατανοούν το μέγεθος των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης, είναι σε θέση να εμβαθύνουν σε όλες τις παραμέτρους που θα επηρεαστούν από την κλιματική αλλαγή και να δουν το πρόβλημα από ολιστική σκοπιά. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με τα ευρήματα άλλων ερευνών που επιβεβαιώνουν πως η συμμετοχή σε πρόγραμμα παρέμβασης ενισχύει τις γνώσεις των μαθητών για την κατανόηση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Δράσεις για την κλιματική αλλαγή

Το γενικό συμπέρασμα από την έρευνα αυτή αναφορικά με τις στάσεις των μαθητών για δράσεις για την κλιματική αλλαγή, μετά από το πρόγραμμα παρέμβασης, είναι ότι σε όλες τις ερωτήσεις τα ποσοστά διαφοροποιήθηκαν ανοδικά, καταδεικνύοντας τη σημαντικότητα της παρέμβασης. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι ότι σε κάποιες προτάσεις - δράσεις, όπως η μείωση χρήσης πλαστικού, η μείωση κατανάλωσης κρέατος, η συμμετοχή σε κινήματα για την κλιματική αλλαγή, που έχουν ως αφετηρία την αλλαγή των προσωπικών συνηθειών, η αλλαγή ήταν μικρότερη από την αναμενόμενη. Ανεξάρτητα από τις προϋπάρχουσες γνώσεις τους, οι μαθητές συμφωνούν ότι είναι απαραίτητη η επιμόρφωση για την κλιματική αλλαγή μέσω προγραμμάτων περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι μαθητές συσχέτισαν σε ικανοποιητικό βαθμό την υπερθέρμανση του πλανήτη με τις πολλαπλές

κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες και κατανόησαν ότι αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να λυθούν μόνο με την αλλαγή του οικονομικού μοντέλου που επικρατεί και αναγνώρισαν την ατομική ευθύνη ως μέρος της όξυνσης του προβλήματος. Πριν το παρεμβατικό πρόγραμμα, οι μαθητές που ανήκαν σε περιβαλλοντική ομάδα έδειξαν οριακά μεγαλύτερη πρόθεση για συμμετοχή σε δράσεις για την κλιματική αλλαγή, όπως η δενδροφύτευση, η επιλογή τοπικών προϊόντων και η κατανάλωση εποχικών φρούτων και λαχανικών. Μετά το παρεμβατικό πρόγραμμα, όλοι οι μαθητές έδειξαν μεγαλύτερη πρόθεση για συμμετοχή σε δράσεις για την κλιματική αλλαγή. Ειδικότερα, η θετική επίδραση του παρεμβατικού προγράμματος στη στάση των μαθητών απέναντι στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι περισσότερο έκδηλη σε μαθητές που έχουν προηγουμένως συμμετάσχει σε εκπαιδευτικό πρόγραμμα ΚΠΕ. Τα ευρήματα της έρευνας συμφωνούν με τα ευρήματα άλλων ερευνητών, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην παρούσα μελέτη.

Επιπρόσθετα, σε μεθοδολογικό επίπεδο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις επιτρέπουν να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζει υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του και σε μελλοντικές έρευνες. Η παρούσα έρευνα θα μπορούσε, παράλληλα, να συμβάλει στη δημιουργία βελτιωμένου εκπαιδευτικού υλικού, που να λαμβάνει υπόψη τις αντιλήψεις των μαθητών και τα γνωστικά τους εμπόδια. Επίσης, θα μπορούσε να βοηθήσει τον εκπαιδευτικό στον σχεδιασμό κατάλληλης διδακτικής παρέμβασης που θα οδηγήσει σε γνωστική σύγκρουση τους μαθητές, δεδομένου ότι συχνά έχουν διαμορφωμένες αντιλήψεις που απέχουν από τη σχολική γνώση.

Τέλος, τα αποτελέσματα της έρευνας έρχονται να επιβεβαιώσουν τον ρόλο που παίζει η περιβαλλοντική εκπαίδευση, μέσα από παρεμβατικά προγράμματα των ΚΠΕ, στην ανάπτυξη θετικής περιβαλλοντικής στάσης και συμπεριφοράς και, τελικά, στη διαμόρφωση υπεύθυνων πολιτών με περιβαλλοντική συνείδηση.

Βιβλιογραφία

Ι. Ελληνόγλωσση

- Ανδρικοπούλου, Α. (2006). Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του περιεχομένου των ΚΠΕ Αργυρούπολης, Δραπετσώνας, Ακράτας, Άμφισσας, ως προς την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση μαθητών και πολιτών σε σχέση με το περιβάλλον και τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Διπλωματική εργασία. Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών, ΕΑΠ. Διαθέσιμο: <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/10394?offset=2940>.
- Γεωργόπουλος, Α. (2014). Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Ζητήματα Ταυτότητας. Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg.
- Γκανάτσιος, Α. (2008). Η συμβολή των περιβαλλοντικών προγραμμάτων των ΚΠΕ στην ενίσχυση των γνώσεων και στάσεων των μαθητών του Δημοτικού Σχολείου: το παράδειγμα του ΚΠΕ Πεταλούδων. Διπλωματική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Διαθέσιμο: <http://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/15690/file0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Δημητρίου, Α. (2009). Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Περιβάλλον, Αειφορία. Θεωρητικές και Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Επίκεντρον.
- Κονταράς, Β. (2004). Αναγνώριση των βασικών χαρακτηριστικών των Κέντρων Περιβαλλοντική Εκπαίδευσης. Μεταπτυχιακή Εργασία. Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Αιγαίου. Διαθέσιμο: <http://docplayer.gr/29861313-Panepistimio->

aigaiou-tmima-perivallontos-anagnorisi-ton-vasikon-haraktiristikon-ton-kentron-perivallontikis-ekpaideysis.html.

- Καρούντζου, Γ. (2007). Εκπαίδευση για βιώσιμη ανάπτυξη. Περιβαλλοντική εκπαίδευση και διαπολιτισμική αγωγή. Παιδαγωγικές προσεγγίσεις με κοινά χαρακτηριστικά. Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, Αθήνα, 9-11 Νοεμβρίου 2007.
- Κατσίκης, Α., Ζαχαρίου, Α. (2005). Η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση στην Ευρώπη: Πορεία και Προοπτικές. Σε: Γεωργόπουλος Α. (Επιμ), Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Ο Νέος Πολιτισμός που Αναδύεται, Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg, σελ. 253-278.
- Παπαγεωργίου, Α., Κωτούλα, Α., Σινάκου, Ε., Καρακώστα, Σ. (2012). Η εφαρμογή των αρχών και των μεθόδων της Βιωματικής Παιδαγωγικής στα προγράμματα των Κέντρων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης – Έρευνα και Προτάσεις. Πρακτικά 6^{ου} Συνεδρίου της Πανελλήνιας Ένωσης Εκπαιδευτών για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση, Θεσσαλονίκη, 30 Νοεμβρίου - 2 Δεκεμβρίου, 2012.
- Παπαδημητρίου, Β. (1998). Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Σχολείο: Μια Διαχρονική Θεώρηση. Αθήνα: Αυτοέκδοση.
- Φλογαΐτη, Ε. (2006). Εκπαίδευση για το περιβάλλον και την Αειφορία. Αθήνα: Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα.

II. Ξενόγλωσση

- Dettmann-Easler, D., Pease, J.L. (1999). Evaluating the effectiveness of residential environmental education programs in fostering positive attitudes toward wildlife. The Journal of Environmental Education, Vol. 31, pp. 33-39.
- Hadjichambis A., Paraskeva-Hadjichambi, D., Ioannou H., Georgiou Y., Manoli, C. (2015). Integrating Sustainable Consumption into Environmental Education: A Case Study on Environmental Representations, Decision Making and Intention to Act. International Journal of Environmental & Science Education, Vol. 10, No. 1, pp. 67-86.
- IPCC (2014). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L., Cambridge: Cambridge University Press.
- UNESCO (2005). United Nations Decade of Education for Sustainable Development 2005-2014. Draft International Implementation Scheme. Paris: UNESCO.
- Rickinson, M. (2001). Learners and Learning in Environmental Education: A critical review of the evidence. Environmental Education Research, Vol. 7, pp. 207- 320.

ΤΟ ΑΣΤΙΚΟ ΠΡΑΣΙΝΟ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ: Η ΑΠΟΨΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΤΗΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ

Παρασκευή Καρανικόλα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: pkaranik@fmenr.duth.gr

Στυλιανός Ταμπάκης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

E-mail: stampaki@for.auth.gr

Ορνέλα Λέσι

Δασολόγος - Περιβαλλοντολόγος

E-mail: eleni.lesi@hotmail.com

Μελπωμένη-Ειρήνη Καραντώνη

Διδάκτορας

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: mkaranto@fmenr.duth.gr

Ζωή Ταμπάκη

Φοιτήτρια

Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

E-mail: ztampaki@for.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πράσινο και γενικότερα το φυσικό περιβάλλον είναι το απαραίτητο συμπλήρωμα του αστικού ιστού μίας πόλης, μέσα στην οποία ο άνθρωπος πρέπει να προσαρμοστεί και να αναπτυχθεί ως βιολογικό και κοινωνικό ον. Η έλλειψη χώρων πρασίνου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των σύγχρονων ελληνικών πόλεων. Μία από τις πόλεις αυτές είναι και η Κόρινθος, στην οποία διεξήχθη η έρευνα με τη βοήθεια δομημένου ερωτηματολογίου αυτοδιαχείρισης που καταγράφει τις απόψεις και αντιλήψεις των πολιτών σχετικά με τα πάρκα και τους πράσινους χώρους. Πιο συγκεκριμένα από τους πολίτες ζητήθηκε να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά τους που σχετίζονται με τον αριθμό, το μέγεθος, τον σχεδιασμό, την ασφάλεια ιδιαίτερα για τα παιδιά, την ποικιλία και τη φροντίδα

των φυτών και την ύπαρξη κατάλληλων διευκολύνσεων σε άτομα με ειδικές ανάγκες. Επίσης καταγράφηκαν ζητήματα όπως η ηχορύπανση, οι ανεπιθύμητες οσμές, η ύπαρξη ζώων συντροφιάς, κ.ά., καθώς και ο βαθμός ικανοποίησής τους από τις τοπικές αρχές και η συνεισφορά τους στη βελτίωση των πάρκων και των πράσινων χώρων.

Λέξεις κλειδιά: Αστικό πράσινο, ποιότητα ζωής, άποψη πολιτών, Κόρινθος

Εισαγωγή

Το αστικό πράσινο περιλαμβάνει όχι μόνο τα αστικά δάση αλλά και τα δένδρα στους δρόμους, κατά μήκος των ρεμάτων και ποταμών, στα πάρκα, τα μπαλκόνια και τις ταράτσες, και παρέχει σημαντικά αγαθά και υπηρεσίες στους αστικούς και περιαστικούς πληθυσμούς κάνοντας την ζωή τους πιο ευχάριστη (O'Brien & Morris 2013, Panagopoulos et al. 2016). Η συμβολή των χώρων πρασίνου στην ποιότητα ζωής των κατοίκων μέσα στις πόλεις είναι γενικά αναγνωρισμένη σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες του σύγχρονου κόσμου (Gorman 2004, Moskell et al. 2010).

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερη σημασία δίνεται στο αστικό πράσινο, όχι μόνο ως διακοσμητικό στοιχείο ή πάροχος ωφελειών που σχετίζονται με την υγεία, τόσο τη σωματική όσο και την ψυχολογική, (Velarde et al. 2007, Schipperijn et al. 2010, Van den Berg et al. 2010) και τη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις πόλεις, αλλά και στην ανάδειξη και άλλων λειτουργιών και αξιών των πόλεων (Sanesi & Chiarello 2006). Σημαντική λειτουργία των χώρων πρασίνου αποτελεί η ενδυνάμωση των κοινοτήτων, κάνοντας τις γειτονιές αλλά και τις πόλεις γενικότερα ελκυστικά μέρη για να ζει κανείς και να εργάζεται (Sherer 2006).

Υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των χώρων πρασίνου κοντά στο μέρος που οι άνθρωποι ζουν και της ποιότητας ζωής τους (Schipperijn et al. 2010). Η σχέση αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι η αυξανόμενη παρουσία χώρων πρασίνου και πάρκων πιθανότατα αυξάνει τη χρήση τους από το κοινό (Arnberger & Eder 2012, Karanikola et al. 2016). Είναι όμως σημαντικό να γνωρίζουμε πώς οι πολίτες θέλουν να είναι οι πράσινες υποδομές στην γειτονιά τους (Sanesi & Chiarello 2006).

Οι ελληνικές πόλεις στερούνται χώρων πρασίνου σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές πόλεις (Karanikola et al. 2012). Στην Ελλάδα μόνο 2,8 m² πρασίνου αντιστοιχούν σε κάθε κάτοικο, ενώ στη δυτική Ευρώπη ο αντίστοιχος αριθμός είναι 20 m² ανά κάτοικο (Hatzistathis et al. 1999). Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να αποτυπωθεί η άποψη των πολιτών της Κορίνθου σχετικά με τους χώρους πρασίνου. Ειδικότερα, να γνωρίσουμε τις απόψεις των κατοίκων σχετικά με τα προβλήματα και τα οφέλη από τη χρήση των δημόσιων αυτών χώρων πρασίνου και τις επιθυμίες τους όσον αφορά την κατάσταση που επικρατεί.

Μεθοδολογία έρευνας

Περιοχή έρευνας αποτέλεσε η πόλη της Κορίνθου. Είναι παραθαλάσσια πόλη με έκταση 17,65 km² και υψόμετρο 10 m, που βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του Κορινθιακού Κόλπου και έχει 30.176 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Η διεξαγωγή της έρευνας έγινε με τη χρήση προσωπικών συνεντεύξεων και ως μέθοδος δειγματοληψίας εφαρμόστηκε η απλή τυχαία δειγματοληψία, εξαιτίας της απλότητάς της και του γεγονότος ότι απαιτεί τη λιγότερη δυνατή γνώση σχετικά με τον πληθυσμό από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο (Δαμιανός 1999, Καλαματιανού 2000, Μάτης 2001). Ο υπό έρευνα

πληθυσμός είναι το σύνολο των νοικοκυριών της πόλης. Η χρήση των νοικοκυριών αποτελεί κλασική περίπτωση επιλογής ομάδας ατόμων ως μονάδα δειγματοληψίας. Αυτό γίνεται, γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιο βολικό και λιγότερο δαπανηρό (Μάτης 2001). Μάλιστα η διαδικασία επιλογής μέλους (από το επιλεγέν - τυχαίο νοικοκυριό) οργανώθηκε, έτσι ώστε να μην επιλέγεται πάντα το ίδιο μέλος (δηλαδή πάντα ο σύζυγος ή η σύζυγος κ.λπ.) (Φίλιας κ.ά. 2000).

Για να εκτιμήσουμε την αναλογία του πληθυσμού που έχει ένα ορισμένο χαρακτηριστικό, μπορούμε να κάνουμε τις εξής παραδοχές. Αν i -στη μονάδα του δείγματος έχει το εν λόγω χαρακτηριστικό, γράφουμε $p_i = 1$, ενώ, αν δεν το έχει, γράφουμε $p_i = 0$. Σ' αυτήν την περίπτωση η αναλογία εκτίμησης του πληθυσμού που είναι και η αμερόληπτη εκτίμηση της πραγματικής αναλογίας του πληθυσμού p δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i)}{n} \quad (1)$$

Η εκτίμηση του τυπικού σφάλματος της $s_{\bar{p}}$ και του διαστήματος εμπιστοσύνης δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$s_{\bar{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n-1}} \quad (2)$$

$$p = \bar{p} \pm t \cdot s_{\bar{p}} \quad (3)$$

όπου t είναι η τιμή της κατανομής STUDENT για πιθανότητα $(1-\alpha) = 95\%$ και $n-1$ βαθμούς ελευθερίας. Επειδή το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο (n μεγαλύτερο του 50), η τιμή t παίρνεται από τους πίνακες πιθανοτήτων της κανονικής κατανομής για την επιθυμητή πιθανότητα. Στην πράξη, για πιθανότητα 95% η τιμή t είναι 1,96 (Μάτης, 2001).

Υπολογισμός μεγέθους δείγματος

Για να υπολογίσουμε το μέγεθος του δείγματος, χρειάστηκε να διενεργήσουμε προδειγματοληψία, με μέγεθος δείγματος 50 άτομα. Έτσι, για κάθε ποιοτική μεταβλητή εκτιμήθηκε η αναλογία. Το μέγεθος του δείγματος εκτιμήθηκε με βάση τους κανόνες της απλής τυχαίας δειγματοληψίας με επανάθεση (Καλαματιανού 2000, Μάτης 2001). Η διόρθωση πεπερασμένου πληθυσμού μπορεί να αγνοηθεί, επειδή το μέγεθος του δείγματος n είναι μεγάλο σε σχέση με το μέγεθος του πληθυσμού N (Pagano & Gauvreau 1996).

Για να εκτιμήσουμε το μέγεθος του δείγματος για τις μεταβλητές που αναφέρονται σε αναλογίες, ισχύει:

$$n = \frac{t^2 \cdot \bar{p} \cdot (1-\bar{p})}{e^2} = \frac{1,96^2 \cdot 0,50 \cdot (1-0,50)}{0,049^2} = 400 \quad (4)$$

όπου p είναι η εκτίμηση της αναλογίας και e είναι η μέγιστη παραδεκτή διαφορά μεταξύ του δειγματοληπτικού μέσου και του άγνωστου μέσου του πληθυσμού. Δεχόμαστε ότι στην περίπτωση των αναλογιών είναι 0,049, δηλαδή 4,9%. Με t δίνεται η τιμή της κατανομής STUDENT για πιθανότητα $(1-\alpha) = 95\%$ και $n-1$ βαθμούς ελευθερίας.

Η χρήση ερωτηματολογίου δεν περιορίζεται στην εκτίμηση μίας μόνο μεταβλητής του πληθυσμού, αλλά περισσότερων μεταβλητών. Έτσι πρέπει να εκτιμήσουμε το μέγεθος του δείγματος για κάθε μία από τις μεταβλητές. Οι μεταβλητές με το μεγαλύτερο μέγεθος ήταν η άποψη των κατοίκων ότι οι πεζόδρομοι του δήμου πρέπει να αυξηθούν, η επίδραση των χώρων πρασίνου στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ουδέτερη, ότι παρακολουθούν τα κοινά του δήμου και ότι είναι απόφοιτοι λυκείου. Αν τα μεγέθη δειγμάτων που εκτιμήθηκαν είναι παραπλήσια και το μέγεθος όλων είναι μέσα στις οικονομικές δυνατότητες της δειγματοληψίας, τότε ως μέγεθος του δείγματος επιλέγεται το μέγιστο. Με αυτόν τον τρόπο η πιο μεταβαλλόμενη μεταβλητή εκτιμάται με την επιθυμητή ακρίβεια, ενώ οι υπόλοιπες με μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι έχει αρχικά καθοριστεί (Μάτης 2001). Έτσι το μέγεθος του δείγματος καθορίστηκε στα 400 νοικοκυριά.

Τα νοικοκυριά στη συνέχεια εντοπίστηκαν με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών που πήραμε χρησιμοποιώντας πίνακες τυχαίων αριθμών. Σ' αυτά διενεργήθηκαν προσωπικές συνεντεύξεις. Σε περιπτώσεις μη εύρεσής τους ή αρνήσεώς τους, γινόταν άλλες δύο φορές προσπάθεια να πάρουμε την άποψή τους. Στις περιπτώσεις που δεν γινόταν αυτό δυνατό, προχωρούσαμε με την ίδια διαδικασία σε επιλογή νέων μονάδων δειγματοληψίας. Η συλλογή των δεδομένων έγινε το 2017 και για την ανάλυσή τους χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS 27.

Στατιστικές αναλύσεις

Στην ερώτηση σχετικά με την αξιολόγηση των παραγόντων των πάρκων της Κορίνθου, η οποία αποτελεί πολυθεματική μεταβλητή, έγινε έλεγχος αξιοπιστίας (reliability analysis) (Σιάρδος 1999). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής άλφα (ή αξιοπιστίας α -Cronbach) για την εύρεση εσωτερικής αξιοπιστίας (Φράγκος 2004). Συντελεστής άλφα 0,70 ή μεγαλύτερος θεωρείται ικανοποιητικός (Howitt & Gramer 2003), μεγαλύτερος από 0,80 θεωρείται πολύ ικανοποιητικός, πολλές φορές μάλιστα στην πράξη γίνονται δεκτοί και συντελεστές αξιοπιστίας μικρότεροι, με τιμές μέχρι 0,60 (Σιάρδος 1999).

Ο έλεγχος πρέπει να είναι αξιόπιστος, προκείμενου να είναι χρήσιμος. Όμως, δεν είναι αρκετό να είναι αξιόπιστος, χρειάζεται να είναι και έγκυρος, πράγμα που γίνεται με την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης (factor analysis) (Σιάρδος 1999). Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των κύριων συνιστωσών (principal components), η οποία βασίζεται στη φασματική ανάλυση του πίνακα διακύμανσης (συσχέτισης) (Καρλής 2005). Η επιλογή του αριθμού των παραγόντων είναι μία δυναμική διαδικασία και προϋποθέτει επαναληπτικά την εκτίμηση και αξιολόγηση του μοντέλου. Ειδικότερα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο κανόνας του Kaiser, το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται ή το διάγραμμα ολίσθησης (scree plot) (Καρλής 2005). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η λύση των τριών παραγόντων. Προσφύγαμε επίσης στην περιστροφή της μήτρας των κυρίων παραγόντων με τη μέθοδο της περιστροφής μέγιστης διακύμανσης του Kaiser (Harman 1976). Σύμφωνα με τον Φράγκο (2004), οι μεταβλητές που «ανήκουν» σε κάθε παράγοντα είναι εκείνες για τις οποίες το φορτίο στον πίνακα που εμφανίζονται οι επιβαρύνσεις των παραγόντων, μετά από περιστροφή, είναι μεγαλύτερο του 0,5 στον παράγοντα αυτόν.

Τέλος για τη στατιστική τμηματοποίηση των πολιτών σε δεδομένες διακριτές ομάδες (συστάδες) ανάλογα με τους παράγοντες που προέκυψαν από την παραγοντική ανάλυση που αναφέρονται στις μεταβλητές αξιολόγησης των παραγόντων των πάρκων της Κορίνθου (συνεχής μεταβλητές) και της ικανοποίησης από την ποιότητα ζωής στον δήμο (κατηγορικές μεταβλητές) επιλέχθηκε η μέθοδος της διαβηματικής ανάλυσης σε συστάδες (Two Step Cluster

Analysis). Η διαβηματική ανάλυση συστάδων αποτελεί περισσότερο ένα επεξεργαστικό εργαλείο παρά μία απλή τεχνική ταξινόμησης, η οποία προσδιορίζει συστάδες παρατηρήσεων με την επινόηση προσυστάδων και εφαρμογή σε αυτές ιεραρχικών τεχνικών (Σιάρδος, 1999). Σύμφωνα, με τον Πετρίδη (2015), η διαβηματική ανάλυση αρχικά δημιουργεί προσυστάδες οι οποίες περιορίζουν το εύρος της μήτρας των αποστάσεων μεταξύ των παρατηρήσεων και χρησιμοποιούνται στη θέση των αρχικών παρατηρήσεων εφαρμόζοντας τους αλγόριθμους της ιεραρχικής ανάλυσης προς σχηματισμό δένδρογραμματος συστάδων. Στη συνέχεια, οι προσυστάδες με βάση τον αλγόριθμο της συσσωρευτικής ιεραρχικής διασύνδεσης, διερευνώνται ως προς την καταλληλότητα του αριθμού της τελικής σύστασης της συσταδοποίησης χρησιμοποιώντας ως κριτήρια επιλογής του βέλτιστου αριθμού αυτών τα κριτήρια πληροφόρησης του Bayes (BIC) και του Akaike (AIC). Εμείς χρησιμοποιήσαμε το κριτήριο του Bayes και, για να περιορίσουμε τις συστάδες, ορίσαμε το ποσοστό κάθε συστάδας να είναι περισσότερο από 25%.

Επιπλέον, με τη βοήθεια του ελέγχου X^2 του Pearson, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ άλλων μεταβλητών και της κάθε συστάδας ξεχωριστά. Για να είναι αξιόπιστη η χρήση του ελέγχου, θα πρέπει οι αναμενόμενες συχνότητες να μην είναι μικρότερες του 1, ενώ αυτές που είναι μικρότερες του 5 να μην υπερβαίνουν το 20% του συνόλου (Κολυβά-Μαχαίρα & Μπόρα-Σέντα 1995, Γναρδέλλης 2003, Σιώκος & Βασιλικοπούλου 2005). Το στατιστικό μέτρο X^2 βασίζεται στη σύγκριση των αναμενόμενων συχνοτήτων με τις παρατηρηθείσες συχνότητες και πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας Crosstabs του στατιστικού προγράμματος SPSS (Αποστολάκης & Καστανιά 1994, Howit & Cramer 2003, Φράγκος 2004). Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίστηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια η ταυτότητα κάθε συστάδας.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Δημογραφικά χαρακτηριστικά των ερωτώμενων

Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ερωτώμενων παρατίθενται στον Πίνακα 1. Παρατηρούμε ότι στην έρευνα συμμετέχουν άτομα και των δύο φύλων, νεαρότερα σε ηλικία, οι περισσότεροι είναι παντρεμένοι με παιδί/παιδιά, με επίπεδο μόρφωσης σχετικά υψηλό, εργαζόμενοι ως ιδιωτικοί υπάλληλοι, ως φοιτητές και ελεύθεροι επαγγελματίες. Δηλώνουν χαμηλό εισόδημα ή δεν θέλουν να δηλώσουν τα εισοδήματά τους.

Χρήση και αξιολόγηση των χώρων πρασίνου

Το 40,8% ($s_p=0,0250$) των πολιτών αξιολογούν τους χώρους πρασίνου του δήμου Κορίνθου ως μέτριους, το 28,8% ($s_p=0,0226$) ως καλούς, το 18,5% ($s_p=0,0194$) ως κακούς, το 8% ($s_p=0,0136$) πολύ καλούς και το 4% ($s_p=0,0098$) πολύ κακούς. Αντίστοιχα το 44,3% ($s_p=0,0248$) των πολιτών δηλώνουν μέτρια ικανοποιημένοι από την ποιότητα ζωής τους, το 20,8% ($s_p=0,0203$) λίγο ικανοποιημένοι, το 18,8% ($s_p=0,0195$) πολύ ικανοποιημένοι, το 10,5% ($s_p=0,0153$) καθόλου ικανοποιημένοι και το 5,5% ($s_p=0,0114$) απόλυτα ικανοποιημένοι. Δεν απάντησαν στην ερώτηση το 0,3% ($s_p=0,0025$) των πολιτών.

Το 37,8 % ($s_p=0,0242$) των πολιτών υποστηρίζουν ότι επισκέπτονται τα πάρκα μερικές φορές την εβδομάδα, το 25,3% ($s_p=0,0217$) μερικές φορές τον μήνα, το 10,3% ($s_p=0,0152$) μερικές φορές τον χρόνο και τέλος το 26,8% ($s_p=0,0221$) δηλώνει πως πηγαίνει σπάνια στα πάρκα του δήμου. Σχετικά με τη διάρκεια του χρόνου επίσκεψης στα πάρκα, το 28,3% ($s_p=0,0225$) δηλώνει ότι τα επισκέπτονται μέχρι μισή ώρα, το 31,3% ($s_p=0,0232$) μέχρι μία ώρα, το

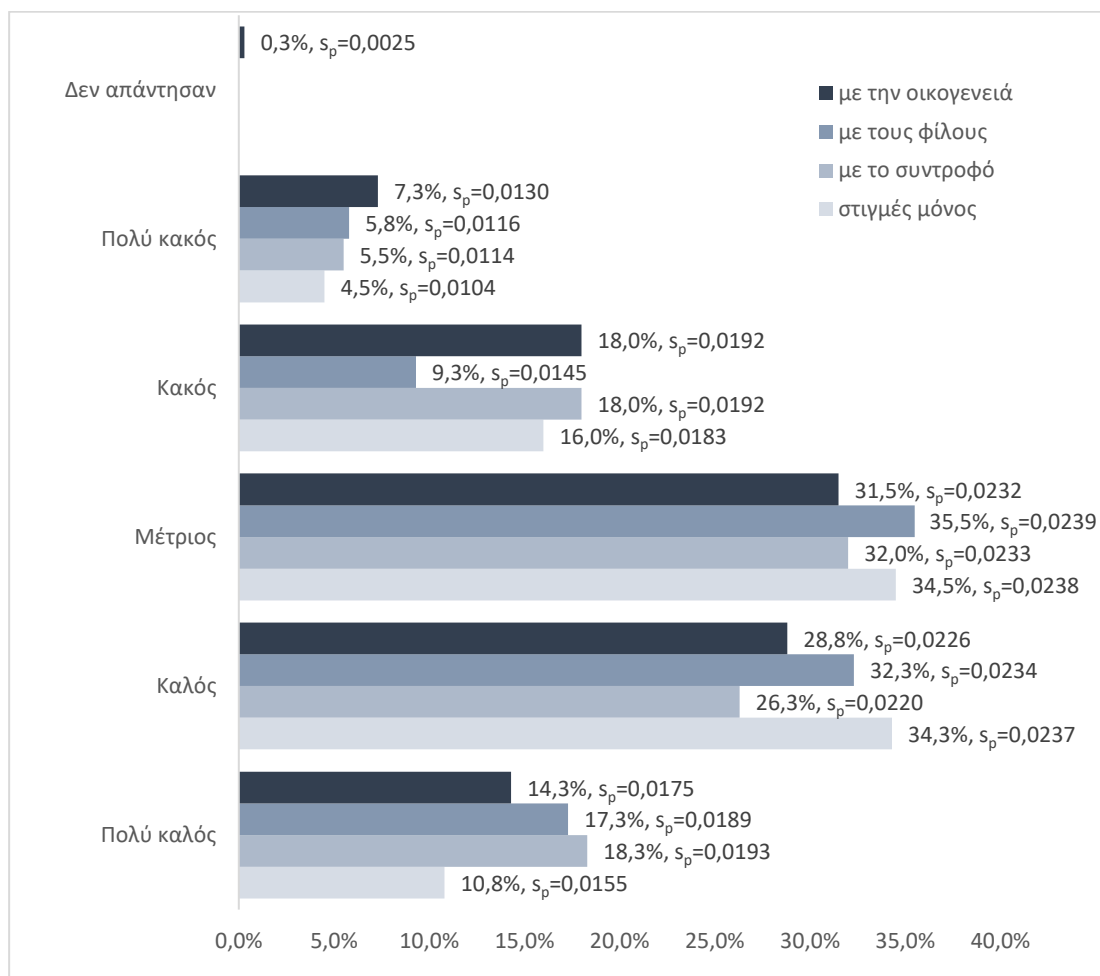
1,8% ($s_p=0,0066$) μέχρι μιάμιση ώρα, το 16,0% ($s_p=0,0183$) μέχρι δυο ώρες και τέλος το 4,8% ($s_p=0,0106$) επισκέπτονται τα πάρκα για διάρκεια μεγαλύτερη των δύο ωρών. Δεν απάντησε στην ερώτηση το 18,0% των ερωτώμενων ($s_p=0,0192$).

Πίνακας 1. Δημογραφικά χαρακτηριστικά των ερωτώμενων.

Φύλο	Ανδρας 51,0% ($s_p=0,0250$)	Γυναίκα 49,0% ($s_p=0,0250$)		
Ηλικία				
18-30	31-40	41-50	> 50	Δεν απάντησαν
36,8% ($s_p=0,0241$)	29,3% ($s_p=0,0227$)	23,5% ($s_p=0,0221$)	10,0% ($s_p=0,0150$)	0,5% ($s_p=0,0035$)
Οικογενειακή Κατάσταση	Ανύπαντρος	Παντρεμένος	Χήρος ή διαζευγμένος	Δεν απάντησαν
	43,3% ($s_p=0,0248$)	47,5% ($s_p=0,0250$)	8,0% ($s_p=0,0136$)	1,3% ($s_p=0,0056$)
Παιδιά	Χωρίς παιδιά	1 παιδί	2 παιδιά	
	50,0% ($s_p=0,0250$)	16,3% ($s_p=0,0184$)	19,0% ($s_p=0,0196$)	
	3 παιδιά	>3 παιδιά	Δεν απάντησαν	
	7,3% ($s_p=0,0130$)	6,3% ($s_p=0,0121$)	1,3% ($s_p=0,0056$)	
Επίπεδο Μόρφωσης	< Δημοτικού	Δημοτικό	Γυμνάσιο	Τεχνικό Λύκειο
	3,5% ($s_p=0,0092$)	1,8% ($s_p=0,0066$)	4,8% ($s_p=0,0106$)	9,5% ($s_p=0,0147$)
	Λύκειο	ΑΤΕΙ	ΑΕΙ	Δεν απάντησαν
	29,8% ($s_p=0,0229$)	18,5% ($s_p=0,0194$)	29,3% ($s_p=0,0227$)	3,0% ($s_p=0,0085$)
Επάγγελμα		Αγρότης -		Ελεύθερος
Ιδιωτ. υπάλληλος	Εργάτης	Κτηνοτρόφος	Δημόσιος υπάλληλος	επαγγελματίας
25,8% ($s_p=0,0219$)	3,5% ($s_p=0,0092$)	5,3% ($s_p=0,0112$)	18,5% ($s_p=0,0194$)	10,5% ($s_p=0,0153$)
Νοικοκυρά	Συνταξιούχος	Άνεργος	Φοιτητής	Δεν απάντησαν
6,3% ($s_p=0,0121$)	4,5% ($s_p=0,0104$)	3,8% ($s_p=0,0095$)	21,5% ($s_p=0,0209$)	0,5% ($s_p=0,0035$)
Εισόδημα	έως 5000 €	5001 - 10000 €	10001 - 20000 €	
	50,0% ($s_p=0,0250$)	16,3% ($s_p=0,0184$)	19,0% ($s_p=0,0196$)	
	20001 - 30000 €	> 30000 €	Δεν απάντησαν	
	7,3% ($s_p=0,0130$)	6,3% ($s_p=0,0121$)	44,5% ($s_p=0,0248$)	

Το μεγαλύτερο με διαφορά ποσοστό των πολιτών (59%, $s_p=0,0246$) θεωρούν καταλληλότερη εποχή να επισκεφθεί κανείς τα πάρκα της πόλης την άνοιξη. Το 18,3% ($s_p=0,0193$) των πολιτών θεωρούν το φθινόπωρο ως καλύτερη εποχή, το 14,5% ($s_p=0,0176$) το καλοκαίρι και το 8,3% ($s_p=0,0138$) τον χειμώνα. Το μεγαλύτερο ποσοστό, 53,3% ($s_p=0,0249$), των πολιτών απάντησαν πως ο κόσμος που συγκεντρώνεται στα πάρκα τους διασκεδάζει, το 13,8% ($s_p=0,0172$) ότι τους ενοχλεί, το 23,8% ($s_p=0,0213$) ότι τους αφήνει αδιάφορους και τέλος το 9% ($s_p=0,0143$) απάντησε κάτι άλλο, ενώ μικρό ποσοστό (0,3%, $s_p=0,0025$) των ερωτηθέντων δεν απάντησε στην ερώτηση.

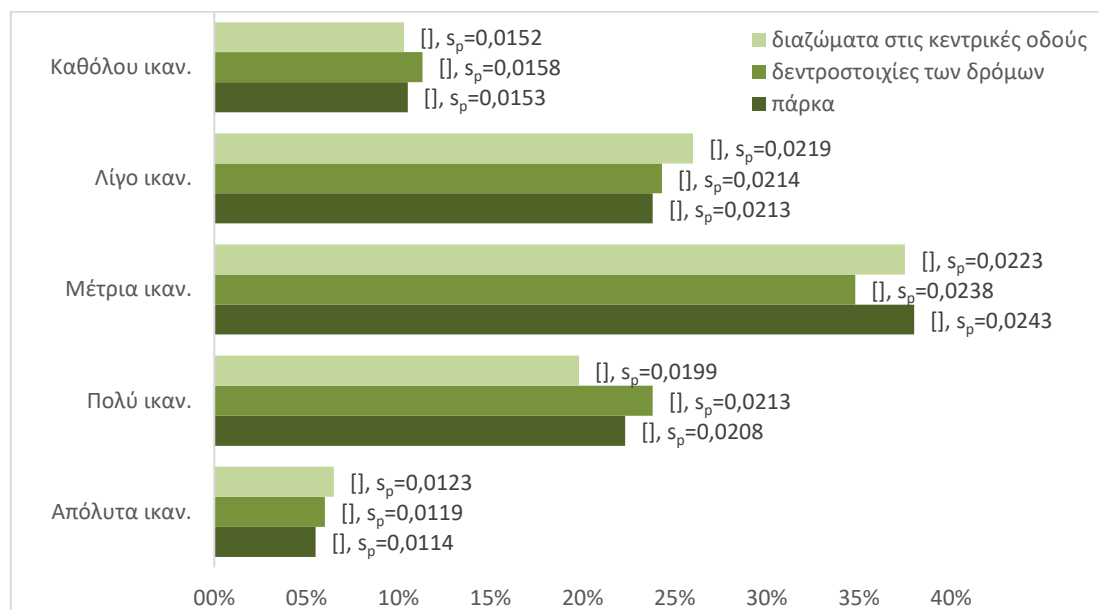
Τα πάρκα αποτελούν ένα τεχνικό κατασκεύασμα που προσομοιάζει με τη φύση. Οι πολίτες μέσω της χρήσης των πάρκων της πόλης τους δεν έχουν στόχο μόνο να έρθουν σε επαφή με τη φύση, αλλά και να έρθουν σε επαφή με άλλους ανθρώπους ή να απομονωθούν από αυτούς. Στον σχεδιασμό των πάρκων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ικανοποίηση των επιθυμιών των πολιτών, ανάλογα με την ψυχολογική τους κατάσταση στη δεδομένη χρονική στιγμή (π.χ. επιζητούν επαφή με άλλους ανθρώπους, απλή παρατήρηση, απομόνωση). Στο Σχήμα 1 παρατίθεται η αξιολόγηση των πάρκων του δήμου σχετικά με το αν αποτελεί ιδανικό τόπο – χώρο, για να περάσει κάποιος στιγμές μόνος του, με τον σύντροφό σου, με τους φίλους σου ή την οικογένειά του. Όπως γίνεται φανερό, τα πάρκα του δήμου Κορίνθου αποτελούν μέτριο έως καλό χώρο, για να περνά κανείς στιγμές της ζωής του μέσα σ' αυτά.



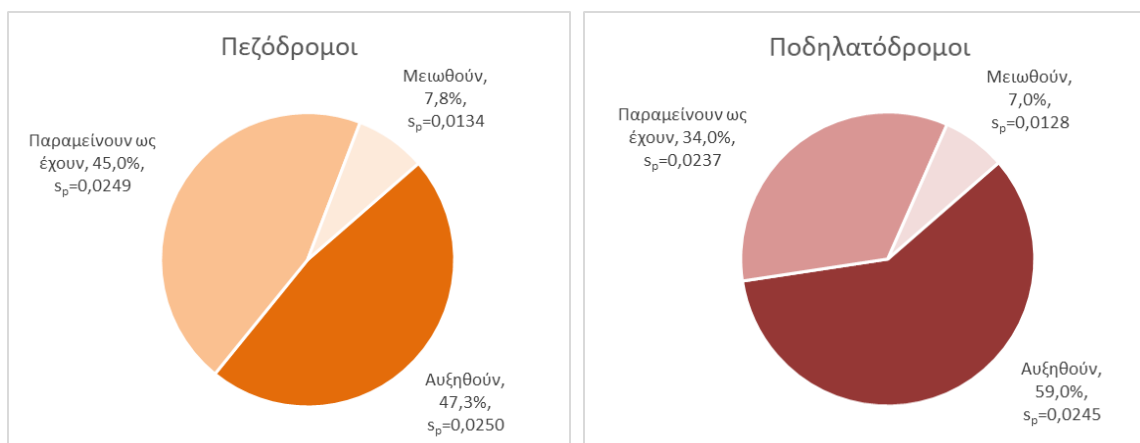
Σχήμα 1. Αξιολόγηση των πάρκων του δήμου ως χώρος για απομόνωση ή κοινωνικοποίηση.

Εντούτοις, οι πολίτες γίνονται περισσότερο αυστηροί, όταν αξιολογούν χώρους πρασίνου, όπως πάρκα, δεντροστοιχίες των δρόμων και τα διαζώματα στις κεντρικές οδούς. Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 2, δηλώνουν μέτρια ικανοποιημένοι από τα πάρκα, τις δεντροστοιχίες και τα διαζώματα, ενώ ο χαρακτηρισμός «λίγο ικανοποιημένοι» υπερτερεί από αυτούς που είναι πολύ ικανοποιημένοι.

Οι χώροι πρασίνου αποτελούν τα χαρακτηριστικά στοιχεία μίας βιώσιμης πόλης, που όμως θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με δίκτυα οικολογικής μετακίνησης, όπως πεζόδρομους και ποδηλατοδρόμους. Γενικά, αν και ένα μεγάλο ποσοστό πολιτών θεωρεί ότι πρέπει να παραμείνουν ως έχουν οι πεζόδρομοι (45%) και οι ποδηλατοδρόμοι (34%) στην πόλη της Κορίνθου, η πλειοψηφία των πολιτών ζητούν την αύξησή τους (47,3% και 59% αντίστοιχα για τους πεζόδρομους και τους ποδηλατοδρόμους) (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Βαθμός ικανοποίησης από τους χώρους πρασίνου.



Σχήμα 3. Άποψη για τα δίκτυα οικολογικής μετακίνησης στον δήμο Κορίνθου.

Αξιολόγηση των πράσινων υποδομών του δήμου

Οι πολίτες αξιολογούν μέτριο (36,3%) και ανεπαρκή (28,3%) τον αριθμό των πάρκων του δήμου τους και μέτρια (41%) τη συνολική έκταση που καταλαμβάνουν (53%) (Πίνακας 2). Σχετικά με την κατανομή των πάρκων στα όρια του δήμου τους, τη χαρακτηρίζουν μέτρια (36,3%) και καλή (31,5%). Ωστόσο, η πρόσβαση σ' αυτά χαρακτηρίζεται περισσότερο ως καλή (38,8%) και ως μέτρια (30,8%), ενώ τα επισκέπτονται μέτριος (39,5%) και μεγάλος (31,5%) αριθμός επισκεπτών. Δηλώνουν ότι είναι μέτρια (37,8%) και ελάχιστα (24,5%) ικανοποιημένοι από την αρχιτεκτονική διαρρύθμιση τους, χαρακτηρίζουν μέτριες τις εγκαταστάσεις υποδομής (32,8%) που διαθέτουν (κιόσκια, πάγκοι κ.λπ.), τους χώρους παιχνιδιού (34,3%) και τις αθλητικές εγκαταστάσεις (33%). Η φροντίδα των φυτών χαρακτηρίζεται μέτρια (37%) και καλή (30,5%). Η καθαριότητα των πάρκων χαρακτηρίζεται καλή (30,5%) και μέτρια (26,8%), όμως σχετικά μεγάλο ποσοστό (17%) των πολιτών τη χαρακτηρίζει πολύ κακή. Επίσης μέτρια (33,5%) και κακή (28,5%) χαρακτηρίζεται η

παρεχόμενη ασφάλεια στα πάρκα, κυρίως για παιδιά, και μέτριες (27,5%) και κακές (27,8%) οι διευκολύνσεις που προσφέρονται στα άτομα με ειδικές ανάγκες.

Πίνακας 2. Αξιολόγηση των παραγόντων των πάρκων της Κορίνθου.

Αριθμός των πάρκων	Απόλυτα επαρκής 4,8% (s_p =0,0106)	Επαρκής 23,5% (s_p =0,0212)	Μέτριος 36,3% (s_p =0,0240)	Ανεπαρκής 28,3% (s_p =0,0225)	Απόλυτα ανεπαρκής 4,8% (s_p =0,0130)
Συνολική έκταση που καταλαμβάνουν	Απόλυτα επαρκής 3,8% (s_p =0,0095)	Επαρκής 23,8% (s_p =0,0213)	Μέτρια 41,0% (s_p =0,0246)	Ανεπαρκής 24,3% (s_p =0,0214)	Απόλυτα ανεπαρκής 7,3% (s_p =0,0130)
Κατανομή των πάρκων μέσα στον δήμο	Πολύ καλή 5,8% (s_p =0,0116)	Καλή 31,5% (s_p =0,0232)	Μέτρια 36,3% (s_p =0,0240)	Κακή 20,3% (s_p =0,0232)	Πολύ κακή 6,3% (s_p =0,0121)
Ευκολία πρόσβασης σ' αυτά	Πολύ καλή 14,0% (s_p =0,0173)	Καλή 38,8% (s_p =0,0244)	Μέτρια 30,8% (s_p =0,0231)	Κακή 11,8% (s_p =0,0161)	Πολύ κακή 4,8% (s_p =0,0106)
Αριθμός επισκεπτών	Πολύ μεγάλος 6,0% (s_p =0,0119)	Μεγάλος 31,5% (s_p =0,0232)	Μέτριος 39,5% (s_p =0,0244)	Μικρός 14,5% (s_p =0,0176)	Πολύ μικρός 8,5% (s_p =0,0139)
Αρχιτεκτονική διαρρύθμισή τους	Απόλυτα ικαν. 3,3% (s_p =0,0089)	Πολύ ικαν. 19,8% (s_p =0,0199)	Μέτρια ικαν. 37,8% (s_p =0,0242)	Ελάχιστα ικαν. 24,5% (s_p =0,0215)	Καθόλου ικαν. 14,8% (s_p =0,0177)
Εγκαταστάσεις υποδομής	Πολύ καλές 3,3% (s_p =0,0089)	Καλές 27,5% (s_p =0,0223)	Μέτριες 32,8% (s_p =0,0235)	Κακές 25,0% (s_p =0,0217)	Πολύ κακές 11,3% (s_p =0,0158)
Καθαριότητα	Πολύ καλή 5,3% (s_p =0,0112)	Καλή 30,5% (s_p =0,0230)	Μέτρια 26,8% (s_p =0,0221)	Κακή 20,5% (s_p =0,0202)	Πολύ κακή 17,0% (s_p =0,0188)
Φροντίδα των φυτών	Πολύ καλή 5,3% (s_p =0,0112)	Καλή 30,5% (s_p =0,0230)	Μέτρια 37,0% (s_p =0,0241)	Κακή 20,0% (s_p =0,0200)	Πολύ κακή 7,3% (s_p =0,0130)
Χώροι παιχνιδιού	Πολύ καλοί 4,5% (s_p =0,0104)	Καλοί 26,8% (s_p =0,0221)	Μέτριοι 34,3% (s_p =0,0237)	Κακοί 25,0% (s_p =0,0217)	Πολύ κακοί 9,5% (s_p =0,0147)
Αθλητικές εγκαταστάσεις	Πολύ καλές 5,3% (s_p =0,0104)	Καλές 24,0% (s_p =0,0214)	Μέτριες 33,0% (s_p =0,0243)	Κακές 23,8% (s_p =0,0213)	Πολύ κακές 9,0% (s_p =0,0143)
Παρεχόμενη ασφάλεια (κυρίως στα παιδιά)	Πολύ καλή 5,3% (s_p =0,0112)	Καλή 21,0% (s_p =0,0204)	Μέτρια 33,5% (s_p =0,0236)	Κακή 28,5% (s_p =0,0226)	Πολύ κακή 11,8% (s_p =0,0161)
Διευκολύνσεις στα άτομα με ειδικές ανάγκες	Πολύ καλές 5,3% (s_p =0,0112)	Καλές 21,5% (s_p =0,0205)	Μέτριες 27,5% (s_p =0,0223)	Κακές 27,8% (s_p =0,0223)	Πολύ κακές 18,0% (s_p =0,0192)
Υπαρξη συνοδευόμενων ζώων	Κανένα πρόβλημα 17,5% (s_p =0,0190)	Μικρό πρόβλημα 25,3% (s_p =0,0217)	Μέτριο 33,0% (s_p =0,0235)	Μεγάλο πρόβλημα 17,3% (s_p =0,0189)	Πολύ μεγάλο. 7,0% (s_p =0,0128)

Ηχορύπανση	Κανένα πρόβλημα 11,0% (s _p =0,0156)	Μικρό πρόβλημα 28,8% (s _p =0,0226)	Μέτριο 32,0% (s _p =0,0233)	Μεγάλο πρόβλημα 20,8% (s _p =0,0206)	Πολύ μεγάλο. 7,5% (s _p =0,0132)
Δυσάρεστες οσμές	Κανένα πρόβλημα 10,0% (s _p =0,0150)	Μικρό πρόβλημα 27,5% (s _p =0,0223)	Μέτριο 33,8% (s _p =0,0236)	Μεγάλο πρόβλημα 19,8% (s _p =0,0199)	Πολύ μεγάλο 9,0% (s _p =0,0143)
Ενέργειες του δήμου σχετικά με τα πάρκα	Απόλυτα ικανοπ 2,8% (s _p =0,0082)	Πολύ ικανοπ. 20,8% (s _p =0,0203)	Μέτρια ικανοπ. 39,8% (s _p =0,0245)	Λίγο ικανοπ. 23,3% (s _p =0,0211)	Καθόλου ικαν. 13,5% (s _p =0,0171)

* Δεν απάντησαν 0.3% (s_p =0,0025)

Η ύπαρξη συνοδευόμενων ζώων συντροφιάς στα πάρκα, η ηχορύπανση και οι δυσάρεστες οσμές χαρακτηρίζονται ως μέτριο πρόβλημα (33%, 32% και 33,8% αντίστοιχα) και μικρό πρόβλημα (25,3%, 28,8% και 27,5% αντίστοιχα). Τέλος, μέτρια ικανοποίηση εκφράζει το 39,85 των πολιτών από τις ενέργειες του δήμου σχετικά με τα πάρκα.

Στις παραπάνω μεταβλητές εφαρμόστηκε η ανάλυση αξιοπιστίας, αφού πρώτα έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι. Η τιμή του συντελεστή αξιοπιστίας άλφα είναι 0,926. Αυτό αποτελεί ισχυρή ένδειξη ότι οι βαθμοί κλίμακας είναι λογικά συνεπείς, δηλαδή τα στοιχεία έχουν την τάση να μετρούν το ίδιο πράγμα. Αυτό, εξάλλου, επιβεβαιώνεται και από τους σημαντικά υψηλούς επιμέρους συντελεστές αξιοπιστίας άλφα, όπου, μετά τη διαγραφή οποιασδήποτε μεταβλητής, δεν προκύπτει αύξηση του συντελεστή αξιοπιστίας.

Πίνακας 3. Πίνακας με τις επιβαρύνσεις των παραγόντων μετά την περιστροφή.

Μεταβλητή	Επιβαρύνσεις των παραγόντων μετά την περιστροφή		
	1	2	3
αριθμός των πάρκων	0,442	0,667	0,076
συνολική έκταση	0,346	0,756	0,118
κατανομή των πάρκων μέσα στον δήμο	0,379	0,689	0,151
ευκολία πρόσβασης	0,136	0,732	0,162
αριθμός επισκεπτών	0,249	0,697	0,137
αρχιτεκτονική διαρρύθμιση	0,606	0,465	0,069
εγκαταστάσεις υποδομής	0,585	0,455	0,221
καθαριότητα	0,694	0,201	0,288
φροντίδα των φυτών	0,703	0,084	0,183
χώροι παιχνιδιού	0,750	0,307	0,112
αθλητικές εγκαταστάσεις	0,639	0,362	0,140
παρεχόμενη ασφάλεια (κυρίως στα παιδιά)	0,723	0,359	0,093
διευκολύνσεις στα άτομα με ειδικές ανάγκες	0,671	0,382	0,241
ύπαρξη συνοδευόμενων ζώων	0,142	0,167	0,713
ηχορύπανση	0,184	0,148	0,814
δυσάρεστες οσμές	0,223	0,073	0,801
ενέργειες του δήμου σχετικά με τα πάρκα	0,586	0,278	0,293

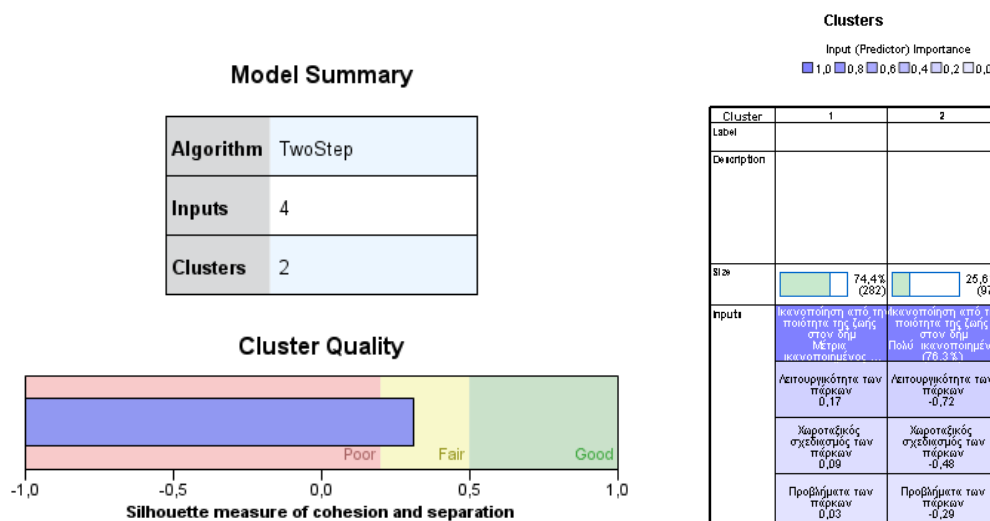
Επίσης, πριν προχωρήσουμε στην εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης, έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι. Ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin έχει τιμή 0,935. Επίσης, ο έλεγχος σφαιρικότητας του Bartlett απορρίπτει τη μηδενική υπόθεση πως ο πίνακας συσχέτισης είναι

ο μοναδιαίος. Επίσης τα μέτρα καταλληλότητας της δειγματοληψίας (MSA) έχουν τιμές υψηλές μέχρι πολύ υψηλές, που ενισχύουν την άποψη ότι το υπόδειγμα της παραγοντικής ανάλυσης είναι αποδεκτό. Οι παράγοντες που εξήχθησαν είναι 3. Στον Πίνακα 3 δίνονται τα φορτία, τα οποία είναι οι μερικοί συντελεστές συσχέτισης των 15 μεταβλητών με καθένα από τους 3 παράγοντες που έχουν προκύψει από την ανάλυση. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο μίας μεταβλητής σε έναν παράγοντα, τόσο περισσότερο ο παράγοντας αυτός ευθύνεται για τη συνολική διακύμανση των βαθμών στη μεταβλητή που θεωρούμε.

Στον πρώτο παράγοντα ανήκουν οι μεταβλητές «αρχιτεκτονική διαρρύθμιση», «εγκαταστάσεις υποδομής», «καθαριότητα», «φροντίδα των φυτών», «χώροι παιχνιδιού», «αθλητικές εγκαταστάσεις», «παρεχόμενη ασφάλεια (κυρίως στα παιδιά)», «διευκολύνσεις στα άτομα με ειδικές ανάγκες» και «ενέργειες του δήμου σχετικά με τα πάρκα» και μπορεί να ονομαστεί ως «λειτουργικότητα των πάρκων».

Ο δεύτερος παράγοντας με τίτλο «χωροταξικός σχεδιασμός των πάρκων» περιλαμβάνει τις μεταβλητές «αριθμός των πάρκων», «συνολική έκταση», «κατανομή των πάρκων μέσα στον δήμο», «ευκολία πρόσβασης σ' αυτά» και «αριθμός επισκεπτών». Οι μεταβλητές «αρχιτεκτονική διαρρύθμιση» και «εγκαταστάσεις υποδομής», εξαιτίας του ότι η τιμή τους και στον δεύτερο παράγοντα είναι πολύ κοντά στο 0,5, αποδεχόμαστε ότι ανήκουν και στους δύο παράγοντες και αποτελούν γέφυρα ανάμεσά τους.

Ο τρίτος παράγοντας με τίτλο «προβλήματα των πάρκων» περιλαμβάνει τις μεταβλητές «ύπαρξη συνοδευόμενων ζώων», «ηχορύπανση» και «δυσάρεστες οσμές». Μάλιστα σε αντίστοιχη έρευνα για την αξιολόγηση των παραγόντων των πάρκων της Καλαμαριάς της Θεσσαλονίκης, παρόμοιες μεταβλητές περιλαμβάνονται στους ίδιους παράγοντες «λειτουργικότητα των πάρκων», «χωροταξικός σχεδιασμός των πάρκων» και «προβλήματα» (Karanikola et al. 2014). Ενδιαφέρον είναι ότι και στις δυο έρευνες η λειτουργικότητα των πάρκων περιλαμβάνει τη μεταβλητή «ενέργειες των δήμων σχετικά με τα πάρκα».



Σχήμα 4. Διαγραμματικές απεικονίσεις της αποδοχής της διαβηματικής ανάλυσης.

Τμηματοποίηση των πολιτών σε διακριτές ομάδες

Εφαρμόζοντας το πρόγραμμα της διαβηματικής ανάλυσης σε συστάδες έχουμε ταξινόμηση των παρατηρήσεων σε δύο συστάδες, ως βέλτιστη λύση. Ειδικότερα 97 από τους πολίτες (ποσοστό 25,6%) εντάσσεται στην πρώτη συστάδα και 282 πολίτες (74,4%) στη δεύτερη συστάδα.

Τα χαρακτηριστικά των συστάδων παρατίθενται στον Πίνακα 4. Ειδικότερα η πρώτη συστάδα (η πολυπληθέστερη) χαρακτηρίζεται από μέτρια ως καθόλου ικανοποίηση των πολιτών από την ποιότητα ζωής στον δήμο τους. Οι ερωτηθέντες χαρακτηρίζουν αρνητικότερα τη λειτουργικότητα των πάρκων και τον χωροταξικό σχεδιασμό τους και δηλώνουν ότι υπάρχουν στα πάρκα μεγαλύτερα προβλήματα. Η δεύτερη συστάδα χαρακτηρίζεται από πολίτες που δηλώνουν απόλυτα ή πολύ ικανοποιημένοι από την ποιότητα ζωής στον δήμο τους, χαρακτηρίζουν θετικότερα τη λειτουργικότητα των πάρκων και τον χωροταξικό σχεδιασμό τους και εκτιμούν ότι υπάρχουν μικρότερα προβλήματα σ' αυτά.

Πίνακας 4. Ερμηνεία των παρατηρήσεων των συστάδων.

Μεταβλητές	Συστάδα 1	Συστάδα 2
Λειτουργικότητα των πάρκων	κρίνεται αρνητικότερα	κρίνεται θετικότερα
Χωροταξικός σχεδιασμός των πάρκων	κρίνεται αρνητικότερα	κρίνεται θετικότερα
Προβλήματα των πάρκων	κρίνονται μεγαλύτερα	κρίνονται μικρότερα
Ικανοποίηση από την ποιότητα ζωής	μέτρια έως καθόλου ικανοποιημένοι	απόλυτα και πολύ ικανοποιημένοι
<i>Με τη βοήθεια του ελέγχου X^2 του Pearson</i>		
Κρίνουν τους χώρους πρασίνου ($\alpha < 0,001$)	μέτριους και κακούς	πολύ καλούς και καλούς
Συχνότητα επίσκεψης ($\alpha < 0,001$)	φορά/ες τον μήνα, τον χρόνο, σπάνια	φορά/ες την εβδομάδα
Καλύτερη εποχή επίσκεψης ($\alpha < 0,001$)	άνοιξη	χειμώνας και καλοκαίρι
Τόπος να περάσει κανείς κάποιες στιγμές μόνος του ($\alpha < 0,001$)	μέτριος και κακός	πολύ καλός και καλός
Τόπος να περάσει κανείς κάποιες στιγμές με τον σύντροφό του ($\alpha < 0,001$)	μέτριος και κακός	πολύ καλός και καλός
Τόπος να περάσει κανείς κάποιες στιγμές με τον φίλο του ($\alpha < 0,001$)	μέτριος και κακός	πολύ καλός και καλός
Τόπος να περάσει κανείς κάποιες στιγμές με την οικογένειά του ($\alpha < 0,001$)	μέτριος, κακός και πολύ κακός	πολύ καλός και καλός
Ο κόσμος που συγκεντρώνεται ($\alpha = 0,003$)	τους ενοχλεί και κάτι άλλο	τους διασκεδάζει και τους αφήνει αδιάφορους
Ικανοποίηση από τα πάρκα ($\alpha < 0,001$)	μέτρια και λίγο ικαν.	απόλυτα και πολύ ικαν.
Ικανοποίηση από τις δεντροστοιχίες ($\alpha < 0,001$)	μέτρια, λίγο και καθόλου ικαν.	απόλυτα και πολύ ικαν.
Ικανοποίηση από τη διαμόρφωση των διαζωμάτων ($\alpha < 0,001$)	μέτρια, λίγο και καθόλου ικαν.	απόλυτα και πολύ ικαν.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου χ^2 του Pearson (για στατιστική σημαντικότητα $\alpha < 0,005$) μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών του ερωτηματολογίου και των δυο συστάδων παρατίθεται στο κάτω μέρος του Πίνακα 4. Οι πολίτες της πρώτης ομάδας κρίνουν τους χώρους πρασίνου μέτριους και κακούς, επισκέπτονται τα πάρκα λιγότερο (φορά/ες τον μήνα, τον χρόνο, σπάνια), θεωρούν καλύτερη εποχή επίσκεψης την άνοιξη και δηλώνουν πως ο κόσμος που συγκεντρώνεται τους ενοχλεί ή κάτι άλλο. Ο χώρος των πάρκων χαρακτηρίζεται μέτριος και κακός για να περάσει κανείς κάποιες στιγμές μόνος του, με τον σύντροφό του και με τους φίλους του, ενώ με την οικογένειά του μέτριος, κακός και πολύ κακός. Οι ερωτηθέντες δηλώνουν μέτρια και λίγο ικανοποιημένοι από τα πάρκα και τις δεντροστοιχίες των δρόμων, ενώ για τη διαμόρφωση των διαζωμάτων δηλώνουν μέτρια, λίγο και καθόλου ικανοποιημένοι.

Οι πολίτες της δεύτερης ομάδας κρίνουν τους χώρους πρασίνου πολύ καλούς και καλούς, τους επισκέπτονται κάθε εβδομάδα, με καλύτερη εποχή γι' αυτούς τον χειμώνα και το καλοκαίρι και δηλώνουν πως ο κόσμος που συγκεντρώνεται τους διασκεδάζει ή τους αφήνει αδιάφορους. Ο χώρος των πάρκων χαρακτηρίζεται πολύ καλός και καλός, για να περάσει κανείς κάποιες στιγμές μόνος του, με τον σύντροφό του, με τον φίλο του και με την οικογένειά του. Οι πολίτες δηλώνουν απόλυτα και πολύ ικανοποιημένοι από τα πάρκα, τις δεντροστοιχίες των δρόμων και από τη διαμόρφωση των διαζωμάτων.

Συμπεράσματα - Προτάσεις

Οι πολίτες αξιολογούν τους χώρους πρασίνου της πόλης της Κορίνθου μέτριους προς καλούς, ενώ αξιολογούν την ποιότητα ζωής που τους προσφέρει ο τόπος τους ως μέτρια. Το 37,8% των πολιτών επισκέπτεται τα πάρκα τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα, με τον χρόνο επίσκεψης των περισσότερων να μην ξεπερνά τη μία ώρα και καταλληλότερη εποχή για επίσκεψη την άνοιξη.

Τα πάρκα αποτελούν χώρο για κοινωνικοποίηση - επαφή των πολιτών, μάλιστα το 53,3% αναφέρει ότι η παρουσία των πολιτών τους διασκεδάζει, και προσφέρουν μέτριο και καλό χώρο για να περνά κανείς στιγμές της ζωής του (στιγμές μόνος του, με τον σύντροφό του, με τους φίλους του ή την οικογένειά του). Εντούτοις, οι ερωτηθέντες δηλώνουν μέτρια ικανοποιημένοι από τα πάρκα, τις δεντροστοιχίες και τα διαζώματα των δρόμων, φανερώνοντας ότι ευελπιστούν στη βελτίωσή τους. Μάλιστα, θέλουν να αυξηθούν τα δίκτυα οικολογικής μετακίνησης, όπως πεζόδρομοι και ποδηλατόδρομοι.

Οι μεταβλητές που αξιολογούν τα χαρακτηριστικά των πάρκων με τη βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης ομαδοποιούνται στους παράγοντες «λειτουργικότητα των πάρκων», «χωροταξικός σχεδιασμός των πάρκων» και «προβλήματα των πάρκων». Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι, όταν οι μεταβλητές αυτές αξιολογούνται αρνητικότερα από τους πολίτες, αυτοί δηλώνουν μέτρια έως καθόλου ικανοποιημένοι από τη ζωή τους, σε αντίθεση με αυτούς που αξιολογούν θετικότερα τους παραπάνω παράγοντες και δηλώνουν απόλυτα και πολύ ικανοποιημένοι με την ποιότητα ζωής τους.

Επίσης η πρώτη ομάδα πολιτών κρίνουν τους χώρους πρασίνου μέτριους ή κακούς, δηλώνουν μικρή ικανοποίηση από την κατάσταση των πάρκων, των δεντροστοιχιών και των διαζωμάτων και θεωρούν ότι αποτελούν μέτριο και κακό χώρο για να περνά κανείς στιγμές της ζωής του. Αντίθετα στη δεύτερη ομάδα κρίνουν τους χώρους πρασίνου καλούς και πολύ καλούς, δηλώνουν μεγάλη ικανοποίηση από την κατάσταση των πάρκων, των δεντροστοιχιών και των διαζωμάτων και θεωρούν ότι αποτελούν καλό και πολύ καλό χώρο, για να περνά κανείς στιγμές της ζωής του.

Πέρα όμως από μία αρνητική και θετική προσέγγιση των πραγμάτων, ενδιαφέρον είναι ότι στην πρώτη ομάδα οι πολίτες επισκέπτονται τα πάρκα με συχνότητα κάποιες φορές τον μήνα ή σπανιότερα, καλύτερη εποχή χαρακτηρίζεται η άνοιξη και ο κόσμος που συγκεντρώνεται τους ενοχλεί ή κάτι άλλο. Οι πολίτες της δεύτερης ομάδας, που είναι και μικρότερη σε μέγεθος, επισκέπτονται τα πάρκα συχνότερα (κάποιες φορές την εβδομάδα), καλύτερη εποχή χαρακτηρίζουν τον χειμώνα και το καλοκαίρι και ο κόσμος που συγκεντρώνεται τους διασκεδάζει και τους αφήνει αδιάφορους. Δηλαδή οι χρήστες των πάρκων που επιζητούν πέρα από την επαφή με τη φύση και την κοινωνική επαφή, νιώθουν ψυχικά καλύτερα (βρίσκονται σε θετική ψυχική διάθεση) και είναι πιο θετικοί στις αξιολογήσεις τους.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

- Αποστολάκης, Ι.Α., Καστανιά, Α.Ν. (1994). Λήψη Αποφάσεων με το SPSS/PC+. Αθήνα: Εκδόσεις Α. Σταμούλη.
- Γναρδέλλης, Χ. (2003). Εφαρμοσμένη Στατιστική. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.
- Δαμιανός, Χ.Χ. (1999). Μεθοδολογία Δειγματοληψίας: Τεχνικές και Εφαρμογές. Τρίτη εκτύπωση. Αθήνα: Εκδόσεις Αίθρα.
- Καλαματιανού, Α.Γ. (2000). Κοινωνική Στατιστική, Μέθοδοι Μονοδιάστατης Ανάλυσης. Αθήνα: Εκδόσεις «Το Οικονομικό».
- Καρλής, Δ. (2005). Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση. Αθήνα: Αθ. Σταμούλη.
- Μάτης, Κ.Γ. (2001). Δασική Δειγματοληψία. Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Pagano, M., Gauvreau, K., 2000. Αρχές Βιοστατιστικής. Αθήνα: Εκδόσεις «Ελλην».
- Πετρίδης, Δ. (2015). Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών – Παραγοντική Ανάλυση. Σε: Πετρίδης, Δ. 2015. Ανάλυση Πολυμεταβλητών Τεχνικών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 4. Διαθέσιμο: <http://hdl.handle.net/11419/2129>
- Howitt, D., Gramer, D. (2003). Στατιστική με το SPSS 11 για Windows. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Σιάρδος, Γ.Κ. (1999). Μέθοδοι Πολυμεταβλητής Στατιστικής Ανάλυσης. Μέρος Α': Διερεύνηση Σχέσεων Μεταξύ Μεταβλητών. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Σιώμκος, Γ.Ι., Βασιλικοπούλου, Α.Ι. (2005). Εφαρμογή Μεθόδων Ανάλυσης στην Έρευνα Αγοράς. Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.
- Φράγκος, Χ.Κ. (2004). Μεθοδολογία Έρευνας Αγοράς και Ανάλυση Δεδομένων με χρήση του Στατιστικού Πακέτου SPSS for Windows. Αθήνα: Εκδόσεις "Interbooks".
- Φίλιας, Β., Παππάς, Π., Αντωνοπούλου, Μ., Ζάρναρη, Ο., Μαγγανάρα, Ι., Μειμάρης, Μ., Νικολακόπουλος, Η., Παπαχρήστου, Ε., Περαντζάκη, Ι., Σαμψών, Ε., Ψυχογυός, Δ. (1977). Εισαγωγή στην Μεθοδολογία και τις Τεχνικές των Κοινωνικών Ερευνών. Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg.

II. Ξενόγλωσση

- Arnberger, A., Eder, R. (2012). The influence of green space on community attachment of urban and suburban residents. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 11, No. 1, pp. 41-49.
- Gorman, J. (2004). Residents' opinion on the value of street trees depending on the tree location. Journal of Arboriculture, Vol. 30, No. 1, pp. 36-44.
- Harman, H.H. (1976). Modern Factor Analysis. Chicago: The University of Chicago Press.

- Hatzistathis, A., Zagas, Th., Trakolis, D., Ganatsas, P., and Malamidis, G. (1999). Report on the state of art of Greece In: Research and development in Urban Forestry in Europe. Report of COST Action E12 “Urban forests and trees on the state of art of urban forestry research and development in Europe (eds. M. Forrest, C.C. Konijendijk and T.B. Randrup), European Communities, pp. 142-156.
- Karanikola, P. Manolas, E. Tampakis, S., Panagopoulos, T. (2012). The coexistence of Humans and Companion Animals in the City Parks of Xanthi: The views of the Citizens. Urban Studies Research, ID 462025, 8 pages, doi:10.55/2012/462025.
- Karanikola, P., Tampakis, S., Panagopoulos, T. and Karipidou-Kanari, A. (2014). Residents’ evaluation of the city’s green infrastructure: The case of Kalamaria in the east of Thessaloniki, Greece. Proceedings in 12th International Conference on Protection and Restoration of the Environment, 29 June - 3 July, Skiathos, Greece, pp. 1117-1124.
- Karanikola, P, Tampakis, S, Panagopoulos, T, Karipidou-Kanari, A. (2016). A perceptual study of users’ expectations of urban green infrastructure in Kalamaria municipality of Greece. Management of Environmental Quality, Vol. 27, No. 5, pp. 568-584.
- Moskell, C., Broussard-Allred, S., Ferenz, G. (2010). Examining motivations and recruitment strategies for urban forestry volunteers. Cities and Environment, Vol. 3, Issue 1, Article 9.
- O’Brien, L., Morris, J. (2013). Well-being for all? The social distribution of benefits gained from woodlands and forests in Britain. Local Environment, Vol. 19, No. 4: pp. 356-383.
- Panagopoulos, T., Duque, J.A.G., Dan, M.B. (2016). Urban planning with respect to environmental quality and human well-being. Environmental Pollution, Vol. 208, Part A, pp. 137-144.
- Sanesi, G., Chiarello, F. (2006). Residents and urban green spaces: A case of Bari. Urban Forestry and Urban Greening, Vol. 4, No. 3/4, pp. 125-134.
- Schipperijn, J., Stigsdotter, U., Randrup, T., Troelsen, J. (2010). Influences on the use of urban green space - A case study in Odense, Denmark. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 9, No. 1, pp. 25-32.
- Sherer, P., (2006). The Benefits of Parks: Why America Needs More City Parks and Open Space. Published by The Trust for Public Land, San Francisco.
- Van den Berg, A., Maas, J., Verheij, R., Groenewegen, P., (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. Social Science & Medicine, Vol. 70, No. 8, pp. 1203-1210.
- Velarde, D., Fry, G., Tveit, M. (2007). Health effects of viewing landscapes- landscape types in environmental psychology. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 6, No. 4, pp. 199-212.

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ: ΜΙΑ 29ΕΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ CORINE ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ

Φωτεινή Κρατούνα

Φοιτήτρια

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Πολυτεχνική Σχολή

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: foteinikratouna1998@gmail.com

Αλεξάνδρα Γκεμιτζή

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Πολυτεχνική Σχολή

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: agkemitz@env.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σήμερα που η μείωση των εκπομπών CO₂ και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι πιο επιτακτική από ποτέ, οι περιβαλλοντικές πολιτικές προσφέρουν ένα ανεκτίμητο εργαλείο για αυτή τη μείωση, την αξιολόγηση της δέσμευσης άνθρακα διαφόρων τύπων κάλυψης γης. Τα δεδομένα κάλυψης γης που λαμβάνονται από απόσταση χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες για τη διερεύνηση αλλαγών στη χρήση γης/κάλυψη γης (ΧΓΚΓ). Στο παρόν άρθρο εξετάζονται οι μεταβολές της κάλυψης γης στην Ελλάδα, μια μεσογειακή χώρα με σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και κίνδυνο ερημοποίησης, χρησιμοποιώντας καταγραφές κάλυψης γης του CORINE για την περίοδο 1990-2018, χωρικής ανάλυσης 100 m. Οι επικρατέστερες αλλαγές είναι μεταβάσεις από μη-αρδευόμενες σε αρδευόμενες εκτάσεις και φανερώσουν εντατικοποίηση των γεωργικών πρακτικών. Τα φυσικά λιβάδια αντικαθίστανται από σκληρόφυλλη βλάστηση και περιοχές αραιής βλάστησης, τα δάση κερδίζουν εκτάσεις από μεταβατικούς δασότοπους-θάμνους, ενώ οι ελαιώνες επεκτείνονται, υποδηλώνοντας μία στροφή στη δασική βλάστηση. Επιπλέον, τα εκτιμώμενα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση μειώθηκαν ελαφρώς τη δεκαετία του 1990, αυξήθηκαν σημαντικά μέχρι το 2012 και μειώθηκαν λίγο μετά, με όλα τα είδη δασών να αποτελούν τις σημαντικότερες καταβόθρες άνθρακα. Τέλος, αφού εξετάστηκαν πιθανές συνέπειες της πρόσφατης οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα, προέκυψε ότι η οικονομική ευημερία φαίνεται να ευνοεί συγκεκριμένους τύπους κάλυψης-γης, όπως μικτά δάση, μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, καθώς και τη διατήρηση των αποθεμάτων άνθρακα στη βλάστηση.

Λέξεις κλειδιά: *Κάλυψη γης, χρήση γης, αλλαγές ΧΓΚΓ, αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση, Ελλάδα*

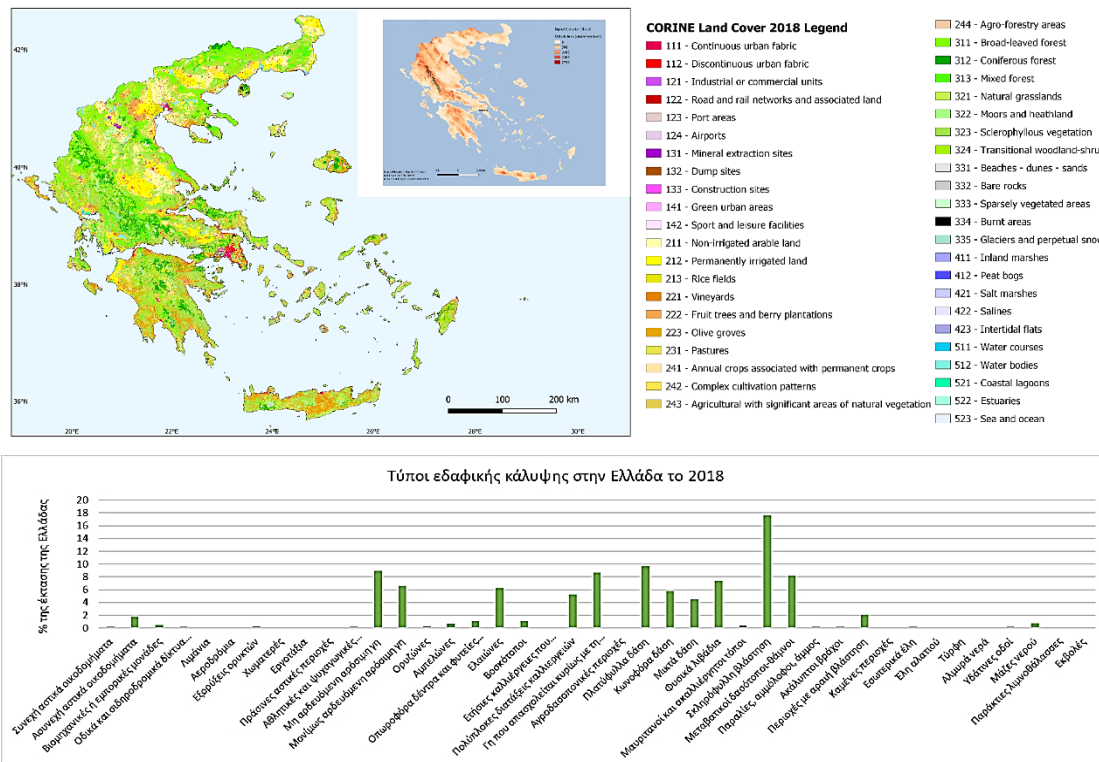
Εισαγωγή

Οι μεταβολές των ΧΓΚΓ έχουν επηρεάσει διάφορους βιογεωχημικούς κύκλους του πλανήτη μας και, κατά συνέπεια, έχουν μεταβάλει τη λειτουργία και τη δυναμική διαφόρων χερσαίων οικοσυστημάτων. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), στην ειδική έκθεσή της για τη χρήση γης, τις αλλαγές χρήσεων γης και τη δασοκομία (Mehenry et al. 2015), ανέφερε ότι οι μέσες ετήσιες παγκόσμιες εκπομπές άνθρακα από τις αλλαγές χρήσεων γης για το διάστημα 1980-1998 ανήλθαν σχεδόν στο 25% (σε σύγκριση με τις εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων και την παραγωγή τσιμέντου), ενώ, ταυτόχρονα, η μέση ετήσια παγκόσμια εκπομπή άνθρακα για τις δύο δεκαετίες, δηλαδή 1980-1989 και 1989-1998, που αποδίδεται στις αλλαγές στις χρήσεις γης ήταν $1,7 \pm 0,8 \text{ Gt C yr}^{-1}$ και $1,6 \pm 0,8 \text{ Gt C yr}^{-1}$ αντίστοιχα. Συνεπώς, είναι ζωτικής σημασίας η μελέτη της εξέλιξης των αλλαγών στις χρήσεις γης στον χρόνο και στον χώρο, καθώς επηρεάζουν το κλίμα της Γης, αλλά και ελέγχουν την ευημερία διαφόρων φυτικών και ζωικών ειδών στον πλανήτη.

Αν και οι όροι «χρήση γης» και «κάλυψη γης» υποδηλώνουν διαφορετική έννοια όσον αφορά την επιφάνεια της γης, όπου ο πρώτος αντανακλά τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ο δεύτερος τη βιοφυσική κατάσταση, και οι δύο διαθέτουν δυναμικό χαρακτήρα με την πάροδο του χρόνου (Assaf et al. 2021). Η εκτίμηση της αλλαγής των ΧΓΚΓ είναι ένα δύσκολο έργο, δεδομένου ότι η απόκτηση επίγειων δεδομένων με την κατάλληλη χρονική και χωρική ανάλυση περιορίζεται τις περισσότερες φορές από το κόστος και την απαιτούμενη προσπάθεια. Η τηλεπισκόπηση έχει προσφέρει τη λύση για την παρακολούθηση, την ποσοτικοποίηση και τη μοντελοποίηση των αλλαγών και των προτύπων του τοπίου (Joorabian Shooshtari et al. 2020). Σήμερα, πληθώρα συνόλων δεδομένων από δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη είναι διαθέσιμα και εύκολα προσβάσιμα από τους επιστήμονες, επιτρέποντας έτσι την ανίχνευση ακόμη και μικρών περιβαλλοντικών αλλαγών (Gemitzi et al. 2020), αλλαγών στην κάλυψη γης που μπορεί να επηρεάσουν τα απειλούμενα είδη (Beck 2020), αλλά και αποθεμάτων άνθρακα της βλάστησης σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως η ημίξηρη περιοχή Sergipe στη Βραζιλία, όπου τα ποσοστά αποψίλωσης των δασών ήταν υψηλά (Fernandes et al. 2020), στην Ανδαλουσία, όπου αναφέρεται αύξηση των αποθεμάτων άνθρακα της βλάστησης από το 1956 έως το 2007 (Muñoz-Rojas et al. 2011) και στην Ιρλανδία για τον προσδιορισμό των χωρικών προτύπων των αποθεμάτων άνθρακα σε διάφορους τύπους κάλυψης γης (Cruickshank et al. 2000).

Μέθοδοι και υλικά

Η Ελλάδα είναι μία χαρακτηριστική μεσογειακή χώρα, με έντονο ανάγλυφο και ιδιαίτερη γεωμορφολογία. Οι κατηγορίες εδαφικής κάλυψης στην Ελλάδα για το 2018 προσδιορίστηκαν από τις καταγραφές της κάλυψης γης του CORINE 2018 (CORINE land cover-CLC) (European Union 2018), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Είναι φανερό ότι σχεδόν το 38,7% της έκτασης της χώρας καλύπτεται από διάφορους τύπους καλλιεργειών (τύποι εδαφικής κάλυψης 211 έως 244 στο Σχήμα 1), ενώ το 20% καταλαμβάνεται από διάφορους τύπους δασών (πλατύφυλλα, κωνοφόρα ή μικτά, δηλαδή εκείνα με κωδικούς κάλυψης γης του CORINE 311 έως 313). Το 3% της γης της Ελλάδας αντιστοιχεί σε κατηγορίες αστικής κάλυψης γης που σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες (κωδικοί CORINE από 111 έως 142), ενώ διάφοροι τύποι κάλυψης γης εσωτερικών υδάτων (κωδικοί CORINE 411 έως 522) αντιστοιχούν περίπου στο 1,2% της έκτασης της χώρας. Η σκληρόφυλλη βλάστηση είναι η κατηγορία κάλυψης γης που εμφανίζεται σε μεγαλύτερη αφθονία και καταλαμβάνει περίπου το 17,5% της έκτασης της χώρας (Gemitzi et al. 2021).



Σχήμα 1. Κατανομή των τύπων εδαφικής κάλυψης στην Ελλάδα το 2018.

Βάσει πληροφοριών της Hellenic Statistical Authority (2020), η ελληνική οικονομία επικεντρώνεται σε μεγάλο βαθμό σε υπηρεσίες, όπου ο τουρισμός είναι σίγουρα ο επικρατέστερος τομέας. Τόσο η γεωργία όσο και η βιομηχανία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της χώρας. Το 2008, λόγω της σοβαρής οικονομικής ύφεσης, το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) της χώρας μειώθηκε απότομα και είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ευημερία του πληθυσμού. Έτσι, το μαζικό κλείσιμο επιχειρήσεων οδήγησε στην κατάρρευση του ιδιωτικού τομέα, ακολουθούμενη από μία τραγική αύξηση στην ανεργία και μία μείωση του εισοδήματος και των δαπανών των πολιτών (Tsampra 2018). Η κρίση οδήγησε σε μείωση των βιομηχανικών επενδύσεων και της επέκτασης των πόλεων (Cecchini et al. 2018), με αποτέλεσμα περίπου το 2% των Ελλήνων να μεταναστεύσουν στο εξωτερικό για ανεύρεση εργασίας. Μία τόσο κρίσιμη οικονομική κατάσταση ενδεχομένως να έχει αφήσει το σημάδι της στα πρότυπα κάλυψης γης και σε συναφή αποθέματα άνθρακα. Το ΑΕΠ θεωρείται δείκτης οικονομικής ευημερίας και αναμένεται να έχει επηρεάσει τις αλλαγές εδαφικής κάλυψης. Οι χρονοσειρές των ετήσιων δεδομένων του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος της Ελλάδας από το 1990 έως το 2018 προσπελάστηκαν από το <https://www.statistics.gr/en/statistics/-/publication/SEL15/> (τελευταία πρόσβαση στις 17 Μαρτίου 2020) και πραγματοποιήθηκε διασταυρούμενη συσχέτιση των χρονοσειρών των κατηγοριών των εκτάσεων εδαφικής κάλυψης που συμπεριλαμβάνονταν στις επικρατέστερες αλλαγές με τα εκτιμώμενα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση και με το ΑΕΠ από το 1990 έως το 2018. Η εκτίμηση των ολοκληρωμένων χρονοσειρών για την κάλυψη γης από το 1990 έως το 2018, με ετήσιο χρονικό βήμα και για τα δεδομένα αποθεμάτων άνθρακα στη βλάστηση, επιτεύχθηκε παρεμβάλλοντας γραμμικά τις τιμές μεταξύ των εξεταζόμενων χρονικών περιόδων, δηλαδή για τα έτη 1990, 2000, 2006, 2012 και 2018.

Ο προσδιορισμός της κάλυψης γης και οι αλλαγές στα αποθέματα της βλάστησης σε άνθρακα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ενός εγκεκριμένου προϊόντος κάλυψης γης, που είναι η καταγραφή για την κάλυψη γης του CORINE (CLC) (European Union 2018, Gemitzi et al. 2021). Ο συντονισμός των πληροφοριών στο πρόγραμμα (CORINE) ήταν μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με στόχο να τυποποιήσει τα δεδομένα γης εντός των 39 συμμετεχόντων χωρών (32 κράτη-μέλη της ΕΕ και 7 συνεργαζόμενες χώρες) και να δημιουργήσει ευρωπαϊκές καταγραφές εδαφικής κάλυψης (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, τελευταία πρόσβαση στις 10 Δεκεμβρίου 2021), κατάλληλες για τον υπολογισμό δεικτών ανάπτυξης, για την εκτέλεση περιβαλλοντικών μοντέλων και την ανάλυση αλλαγών χρήσης στην κάλυψη γης (Land Use Land Cover-LULC) (Büttner 2014). Οι τεχνικές προδιαγραφές του CLC υποδεικνύουν μία ελάχιστη επιφάνεια οποιουδήποτε πολυγώνου κάλυψης γης έως 25 ha, ενώ για γραμμικά φαινόμενα, το ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος είναι 100 m. Η CLC χαρτογραφεί την εδαφική κάλυψη σε κλίμακα 1:100000 και κατηγοριοποιεί τη γη, βάσει ενός ιεραρχικού συστήματος ταξινόμησης 3 επιπέδων, με 44 κατηγορίες στο τρίτο επίπεδο, το οποίο είναι και το πιο λεπτομερές. Οι καταγραφές CLC ενημερώνονται συχνά σε διαστήματα 6 χρόνων. Το πρώτο προϊόν CLC κυκλοφόρησε το 1990, το δεύτερο το 2000, ενώ στη συνέχεια κυκλοφόρησαν και αναγνωρίστηκαν τα CLC 2006, CLC 2012 και CLC 2018, με την αναφερόμενη ακρίβεια να είναι μεγαλύτερη από το συγκεκριμένο ελάχιστο του 85% (Büttner 2014).

Τα πέντε επιλεγμένα έτη CLC αναλύθηκαν σε σχέση με τις μετατροπές στους τύπους κάλυψης γης και καθορίστηκαν οι κυρίαρχοι τύποι αλλαγών. Οι αλλαγές εδαφικής κάλυψης πάνω από 600 km² (περίπου 0,5 % της έκτασης της χώρας) θεωρήθηκαν κυρίαρχες στην Ελλάδα και, ταυτόχρονα, εξετάστηκε τόσο η χρονική όσο και η χωρική διάσταση των αλλαγών. Για την αξιολόγηση της χρονικής αλλαγής της εδαφικής κάλυψης, καθορίστηκε για κάθε έτος η συχνότητα των εικονοστοιχείων σε κάθε κατηγορία και εξήχθησαν γραφήματα χρονοσειρών, για να εκτιμηθεί το μέγεθος των αλλαγών καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης και να αξιολογηθεί ποιοι είναι οι επικρατέστεροι τύποι αλλαγών. Δεύτερον, για την αξιολόγηση συγκεκριμένων χωρικών διατάξεων για κυρίαρχες μεταβολές, χαρτογραφήθηκαν περιοχές που υπέστησαν οποιονδήποτε τύπο κυρίαρχης αλλαγής στην κάλυψη γης. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το πακέτο Raster (Hijmans 2017) της γλώσσας προγραμματισμού R (R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>) και την πλατφόρμα γεωχωρικής ανάλυσης QGIS ("QGIS Development Team, 2020. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>"). Επιπλέον, για να εκτιμηθούν τα αποθέματα της βλάστησης σε άνθρακα χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση CLC, χρησιμοποιήθηκε η πυκνότητα της βλάστησης σε άνθρακα για κάθε τύπο κάλυψης γης που δίνεται στη βιβλιογραφία (Cruickshank et al. 2000, Muñoz-Rojas et al. 2011), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Αυτές οι τιμές λαμβάνουν υπόψη τη βιομάζα πάνω και κάτω από το έδαφος, στην οποία συμπεριλαμβάνονται αποθέματα φυτών, κλαδιών, φύλλων και ριζών, χωρίς να υπολογίζονται απορρίμματα, οργανικός άνθρακας στο έδαφος, νεκρό ξύλο και προϊόντα συγκομιδής. Το ποσό των αποθεμάτων της βλάστησης σε άνθρακα για την περίοδο μεταξύ 1990 και 2018 καθορίστηκε, πολλαπλασιάζοντας τις πυκνότητες άνθρακα ανά τύπο κάλυψης γης με τις αντίστοιχες εκτάσεις εδαφικής κάλυψης.

Πίνακας 1. Πυκνότητα βλάστησης σε άνθρακα για κάθε μία από τις τάξεις του CLC στο Επίπεδο 3 της ονοματολογίας, σύμφωνα με τους Cruickshank et al., (2000) και Muñoz-Rojas et al., (2011).

Τάξη	CLC ονοματολογία	Πυκνότητα σε C (t * ha ⁻¹)	Περιγραφή
1	Συνεχή αστικά οικοδομήματα	0	Θεωρήθηκαν ίσα με τα συνεχή αστικά οικοδομήματα στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
2	Ασυνεχή αστικά οικοδομήματα	3.23	Θεωρήθηκαν ίσα με τα ασυνεχή αστικά οικοδομήματα, ζεστή θερμοκρασία: ενδιάμεση τιμή ανάμεσα σε αυτή των συνεχών αστικών οικοδομημάτων και των κήπων.
3	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις βιομηχανικές/εμπορικές μονάδες στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
4	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφείς εκτάσεις	0	Θεωρήθηκαν ίσα με τα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και τις συναφείς εκτάσεις στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
5	Λιμάνια	0	Θεωρήθηκαν ίσα με τα λιμάνια στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
6	Αεροδρόμια	0.5	Θεωρήθηκαν ίσα με τα αεροδρόμια: 50% χτισμένες επιφάνειες and 50% γρασιδι.
7	Εξορύξεις ορυκτών	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις εξορύξεις ορυκτών στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
8	Χωματερές	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις χωματερές στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
9	Εργοτάξια	0	Θεωρήθηκαν ίσα με τα εργοτάξια στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
10	Πράσινες αστικές περιοχές	6.46	Θεωρήθηκαν ίσες με τους κήπους, τα πάρκα κλπ. Ζεστή θερμοκρασία.
11	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	6.46	Θεωρήθηκαν ίσες με τους κήπους, τα πάρκα κλπ. Ζεστή θερμοκρασία.
12	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	5	Θεωρήθηκε ίση με την καλλιεργήσιμη γη.
13	Μονίμως αρδευόμενη αρόσιμη γη	5	Θεωρήθηκε ίση με την καλλιεργήσιμη γη.
14	Ορυζώνες	5	Θεωρήθηκαν ίσοι με την καλλιεργήσιμη γη.
15	Αμπελώνες	21	Θεωρήθηκαν ίσοι με τις μόνιμες καλλιέργειες. Εύκρατοι (όλα τα συστήματα υγρασίας). Υποθέτοντας 10 χρόνια κατά μέσο όρο.
16	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων	21	Θεωρήθηκαν ίσα με τις μόνιμες καλλιέργειες. Εύκρατα (όλα τα συστήματα υγρασίας). Υποθέτοντας 10 χρόνια κατά μέσο όρο.
17	Ελαιώνες	21	Θεωρήθηκαν ίσοι με τις μόνιμες καλλιέργειες. Εύκρατοι (όλα τα συστήματα υγρασίας). Υποθέτοντας 10 χρόνια κατά μέσο όρο.
18	Βοσκότοποι	6.46	Θεωρήθηκαν ίσοι με τους βοσκότοπους στην Ιρλανδία.
19	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	13	Θεωρήθηκαν ίσες με το 50% των ετήσιων καλλιεργειών και 50% των μόνιμων καλλιεργειών.
20	Πολύπλοκες διατάξεις καλλιεργειών	11.52	Θεωρήθηκαν ίσες με τη γεωργία σε μωσαϊκό με όλους τους άλλους τύπους: σύνολο της βιομάζας στο δάσος/κρυφό (10%), έδαφος με θάμνους (10%) και ετήσια καλλιέργεια (80%).
21	Γη που απασχολείται κυρίως με τη γεωργία, με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης	11.37	Θεωρήθηκε ίση με 50% των ετήσιων καλλιεργειών και 50% των εδαφών με θάμνους.
22	Αγροδασοπονικές περιοχές	8.22	Θεωρήθηκαν ίσες με τη γεωργία σε μωσαϊκό με το Quercus suber: σύνολο της βιομάζας στο δάσος/κρυφό (10%), έδαφος με θάμνους (10%) και ετήσια καλλιέργεια (80%).
23	Πλατύφυλλα δάση	28.24	Θεωρήθηκαν ίσα με το 33% του Eucalyptus, 33% του Quercus suber και 33% του Quercus rotundifolia.
24	Κωνοφόρα δάση	59.48	Θεωρήθηκαν ίσα με το Pinus pinaster.
25	Μικτά δάση	40.8	Περιλαμβάνουν βιομάζα στα δέντρα και στην κάλυψη σε χαμηλή βλάστηση; βιομάζα δέντρων πάνω από το έδαφος κατά μέσο όρο όλων των ειδών.
26	Φυσικά λιβάδια	3.04	Θεωρήθηκαν ίσα με τα φυσικά λιβάδια. Ζεστή θερμοκρασία.
27	Μαυριτανοί και ακαλλιεργήτοι τόποι	2	Θεωρήθηκαν ίσοι με τους μαυριτανούς και τους ακαλλιεργήτους τόπους. Ζεστή θερμοκρασία.
28	Σκληρόφυλλη βλάστηση	17.74	Θεωρήθηκε ίση με τα εδάφη με θάμνους.
29	Μεταβατικοί δασότοποι-θάμνοι	17.74	Θεωρήθηκαν ίσοι με τα εδάφη με θάμνους.

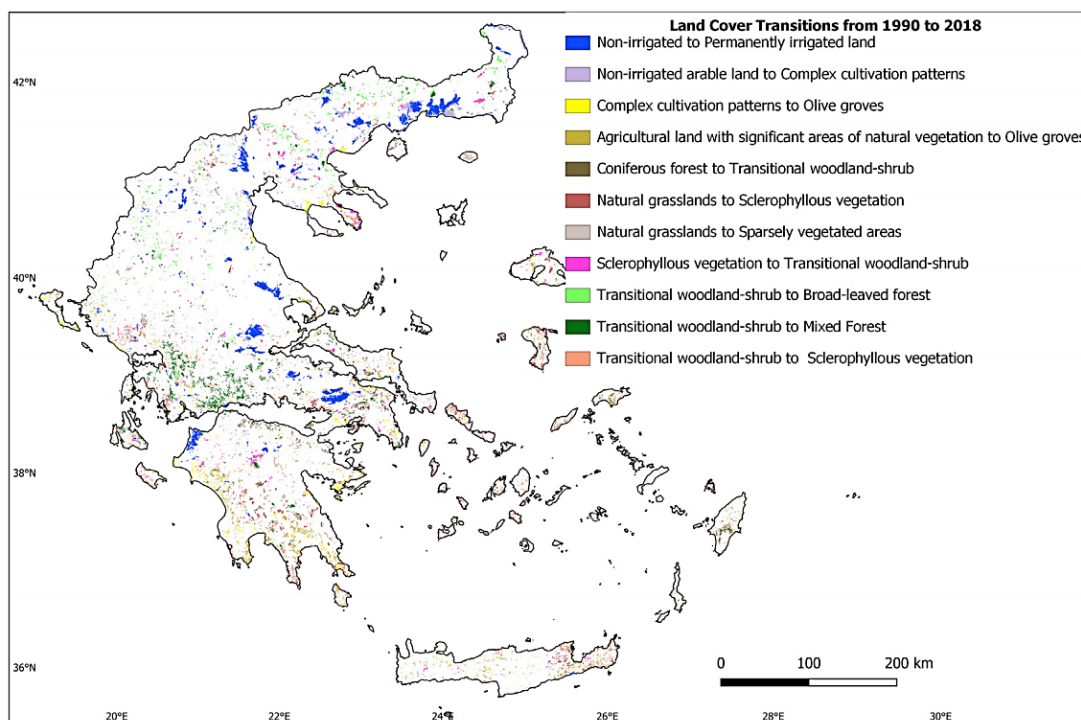
30	Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμος	1.5	Θεωρήθηκαν ίσοι με τις παραλίες, τους αμμόλοφους, την άμμο στην Ιρλανδία.
31	Ακάλυπτοι βράχοι	0	Θεωρήθηκαν ίσοι με τους ακάλυπτους βράχους στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
32	Περιοχές με αραιή βλάστηση	1.52	Θεωρήθηκαν ίσες με την αραιή βλάστηση. Ζεστή θερμοκρασία.
33	Καμένες περιοχές	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις καμένες περιοχές στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
34	Παγετώνες και διαρκές χιόνι		Δεν εφαρμόστηκε.
35	Εσωτερικά έλη	1.5	Θεωρήθηκαν ίσα με τα εσωτερικά έλη στην Ιρλανδία.
36	Τύρφη	2	Θεωρήθηκε ίση με την τύρφη στην Ιρλανδία.
37	Έλη αλατιού	2	Θεωρήθηκαν ίσα με τα έλη αλατιού στη νότια Ισπανία.
38	Αλμυρά νερά	2	Θεωρήθηκαν ίσα με τα αλμυρά νερά στη νότια Ισπανία.
39	Εσωτερικά έλη		Δεν εφαρμόστηκε.
40	Υδάτινες οδοί	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις υδάτινες οδούς στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
41	Μάζες νερού	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις μάζες νερού στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
42	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις παράκτιες λιμνοθάλασσες στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
43	Εκβολές	0	Θεωρήθηκαν ίσες με τις εκβολές στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.
44	Θάλασσες και ωκεανοί	0	Θεωρήθηκαν ίσοι με τις θάλασσες και τους ωκεανούς στη νότια Ισπανία: καμία κάλυψη από βλάστηση.

Εικόνα 1. Πυκνότητα βλάστησης σε άνθρακα για κάθε μία από τις τάξεις του CLC στο επίπεδο 3 της ονοματολογίας, σύμφωνα με τους Cruickshank et al. (2000) και Muñoz-Rojas et al. (2011).

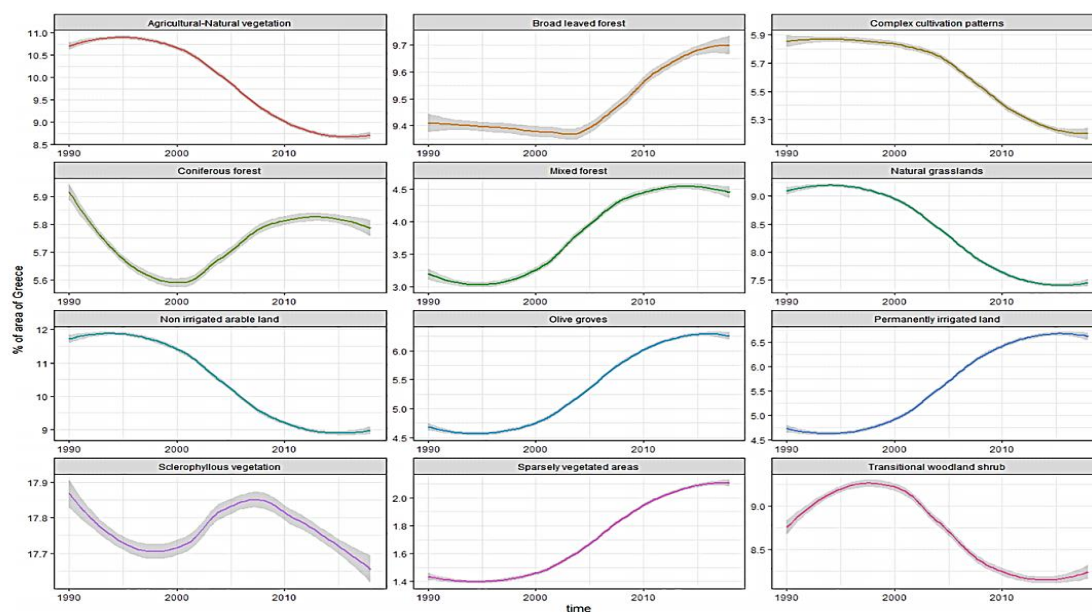
Αποτελέσματα και συζήτηση

Τα Σχήματα 2 και 3 δείχνουν τις χωρικές και χρονικές διαστάσεις των σημαντικών αλλαγών στην κάλυψη της γης. Στον Πίνακα 1 φαίνεται το ποσό της γης που μετατράπηκε, επισημαίνοντας 11 μεγάλες αλλαγές (έκταση > 600 km²) και 12 συνολικά τύπους κάλυψης γης. Στο Σχήμα 2, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των μεγάλων αλλαγών στην κάλυψη γης στην Ελλάδα κατά την προκαθορισμένη περίοδο των 29 ετών, ενώ στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η αντίστοιχη χρονική τους πορεία. Αυτές περιλαμβάνουν μεταβάσεις από μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις σε μόνιμα αρδευόμενες περιοχές, υποδηλώνοντας την εντατικοποίηση των γεωργικών εφαρμογών. Οι ελαιώνες απέκτησαν μη αμελητέες ποσότητες εκτάσεων, κυρίως από γεωργικές περιοχές με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης και από πολύπλοκες διατάξεις καλλιέργειών. Τόσο τα πλατύφυλλα όσο και τα μικτά δάση κέρδισαν μεγάλες περιοχές από αλλαγές των μεταβατικών δασότοπων-θάμνων, γεγονός που υποδηλώνει αναγέννηση των δασών ή φυσική διαδοχή. Σε γενικές γραμμές, τα χρονικά και χωρικά διαγράμματα των αλλαγών που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης δείχνουν μία σημαντική μετάβαση της γης σε αρδευόμενες γεωργικές περιοχές, η οποία συμβαίνει στις πεδιάδες της ανατολικής και βόρειας Ελλάδας, ενώ η επέκταση των δασών εντοπίζεται κυρίως στη δυτική Ελλάδα, όπου τα εδάφη είναι ορεινά.

Επίσης, οι αλλαγές στα αποθέματα της βλάστησης σε άνθρακα στην Ελλάδα εκτιμήθηκαν με βάση τα CLC 1990, 2000, 2006, 2012 και 2018 και τα αποτελέσματα αναγράφονται στην Εικόνα 2.



Σχήμα 2. Χωρική κατανομή των κυρίαρχων αλλαγών γης στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2018.



Σχήμα 3. CLC αλλαγές από το 1990 έως το 2018 στην Ελλάδα. Οι γραμμές αντιστοιχούν στην τοπική παλινδρόμηση των δεδομένων των χρονοσειρών και οι γκρι ζώνες αναπαριστούν διάστημα εμπιστοσύνης ίσο με 95%.

Πίνακας 1. Κυρίαρχες αλλαγές στους τύπους εδαφικής κάλυψης στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2018, σύμφωνα με το CORINE land cover.

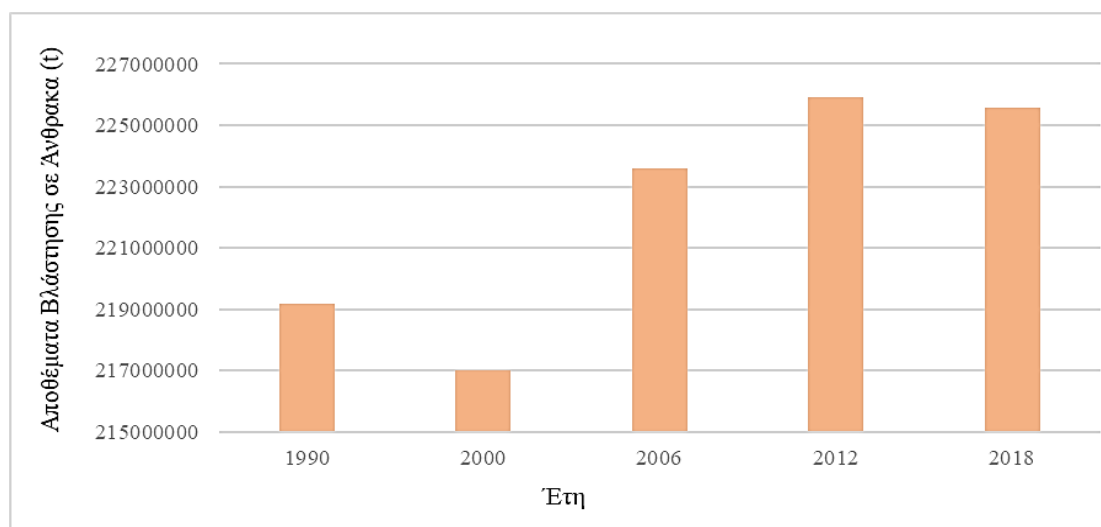
Μετατροπή εδαφικής κάλυψης	Έκταση (σε km ²)
Μη αρδευόμενη σε μονίμως αρδευόμενη γη	2801,3
Φυσικά λιβάδια και σκληρόφυλλη βλάστηση	1418,7
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για τη γεωργία, με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης σε ελαιώνες	1350,3
Μεταβατικοί δασότοποι - Θάμνοι σε μικτά δάση	1239,2
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη σε πολύπλοκες διατάξεις καλλιέργειών	811,3
Κωνοφόρα δάση σε μεταβατικούς δασοτόπους - θάμνους	797,1
Φυσικά λιβάδια σε περιοχές με αραιή βλάστηση	776,7
Πολύπλοκες διατάξεις καλλιέργειών σε ελαιώνες	758,8
Μεταβατικοί δασοτόποι - Θάμνοι σε σκληρόφυλλη βλάστηση	751,9
Σκληρόφυλλη βλάστηση σε μεταβατικούς δασοτόπους --θάμνους	697,7
Μεταβατικοί δασοτόποι – Θάμνοι σε πλατύφυλλα δάση	690,0

Πίνακας 3. Αλλαγές των αποθεμάτων βλάστησης σε άνθρακα σε τόνους (t), υπέργεια και υπόγεια βιομάζα, στην Ελλάδα για την περίοδο 1990–2018 σε Επίπεδο 3 της ονοματολογίας CLC.

Τάξη	Ονοματολογία	Ισοζύγιο Επιφάνειας (ha)				Πυκνότη τα σε C (t * ha ⁻¹)	Ισοζύγιο αποθέματος βλάστησης σε C (t)			
		2000 - 1990	2006 - 2000	2012 - 2006	2018 - 2012		2000 - 1990	2006 - 2000	2012 - 2006	2018 - 2012
1	Συνεχή αστικά οικοδομήματα	9	8491	1184	0	0	0	0	0	0
2	Ασυνεχή αστικά οικοδομήματα	5650	49958	15774	119	3.23	18249.5	161364.3	50950.02	384.37
3	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	6986	12379	10667	1915	0	0	0	0	0
4	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφείς εκτάσεις	7852	6209	6082	6522	0	0	0	0	0
5	Λιμάνια	145	337	303	12	0	0	0	0	0
6	Αεροδρόμια	1330	2723	365	82	0.5	665	1361.5	182.5	41
7	Εξορύξεις ορυκτών	9698	3162	1713	1390	0	0	0	0	0
8	Χωματερές	337	52	324	29	0	0	0	0	0
9	Εργοτάξια	6060	-1599	-406	-4315	0	0	0	0	0
10	Πράσινες αστικές περιοχές	-39	276	360	0	6.46	-251.94	1782.96	2325.6	0
11	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	524	5896	10899	146	6.46	3385.04	38088.16	70407.54	943.16
12	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	-27114	-242895	-114960	-1369	5	-135570	-1214475	-574800	-6845
13	Μονίμως αρδευόμενη αρόσιμη γη	16900	155621	92000	-470	5	84500	778105	460000	-2350
14	Ορυζώνες	4103	6983	3867	44	5	20515	34915	19335	220
15	Αμπελώνες	-5790	-3276	-1405	-69	21	-121590	-68796	-29505	-1449
16	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων	-250	6225	19974	-485	21	-5250	130725	419454	-10185
17	Ελαιώνες	3558	117603	96372	-219	21	74718	2469663	2023812	-4599
18	Βοσκότοποι	-2977	34311	36479	-358	6.46	-19231.42	221649.1	235654.3	-2312.68
19	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	0	-18	-478	0	13	0	-234	-6214	0
20	Πολύπλοκες διατάξεις καλλιέργειών	-3361	-18609	-62696	-664	11.52	-38718.72	-214376	-722258	-7649.28
21	Γη που απασχολείται κυρίως με τη γεωργία, με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης	2470	-158396	-121071	-449	11.37	28083.9	-1800963	-1376577	-5105.13

22	Αγροδοασπονικές περιοχές	0	0	123	0	8.22	0	0	1011.06	0
23	Πλατύφυλλα δάση	-2727	-2826	43057	-2338	28.24	-77010.48	-79806.2	1215930	-66025.1
24	Κονοφόρα δάση	-46328	31319	7809	-4167	59.48	-2755589.4	1862854	464479.3	-247853
25	Μικτά δάση	-1217	149356	36831	-1263	40.8	-49653.6	6093725	1502705	-51530.4
26	Φυσικά λιβάδια	-12111	-131683	-87337	2487	3.04	-36817.44	-400316	-265504	7560.48
27	Μαυριτανοί και ακαλλιέργητοι τόποι	869	-3956	2148	0	2	1738	-7912	4296	0
28	Σκληρόφυλλη βλάστηση	-23735	32703	-23099	-7101	17.74	-421058.9	580151.2	-409776	-125972
29	Μεταβατικοί δασοτοποι-θάμνοι	69911	-117153	-45373	9007	17.74	1240221.14	-2078294	-804917	159784.2
30	Παραλίες, αμμόλοφοι, άμμος	986	-1624	-62	-23	1.5	1479	-2436	-93	-34.5
31	Ακάλυπτοι βράχοι	-38	13027	1565	-73	0	0	0	0	0
32	Περιοχές με αραιή βλάστηση	1590	39135	45646	4252	1.52	2416.8	59485.2	69381.92	6463.04
33	Καμένες περιοχές	2249	1102	7223	-4150	0	0	0	0	0
35	Εσωτερικά έλη	672	-1415	1933	-1377	1.5	1008	-2122.5	2899.5	-2065.5
36	Τύρφη	0	0	64	0	2	0	0	128	0
37	Έλη αλατιού	-387	-1467	1461	-41	2	-774	-2934	2922	-82
38	Αλμυρά νερά	10	-20	13	0	2	20	-40	26	0
40	Υδάτινες οδοί	-155	1086	2347	1009	0	0	0	0	0
41	Μάζες νερού	136	5140	3302	1994	0	0	0	0	0
42	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	-192	1286	-100	0	0	0	0	0	0
43	Εκβολές	0	1751	3	0	0	0	0	0	0
44	Θάλασσες και ωκεανοί	931	-1194	7099	-77	0	0	0	0	0

Εικόνα 2. Αλλαγές των αποθεμάτων βλάστησης σε άνθρακα σε τόνους (t), υπέργεια και υπόγεια βιομάζα στην Ελλάδα για την περίοδο 1990-2018, σε επίπεδο 3 της ονοματολογίας CLC.

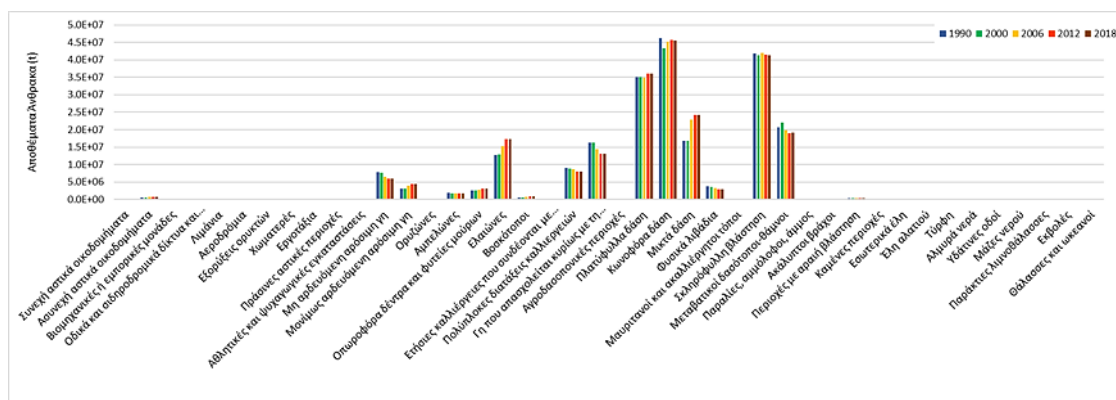


Σχήμα 4. Αποθέματα βλάστησης σε άνθρακα στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2018, με βάση το CLC.

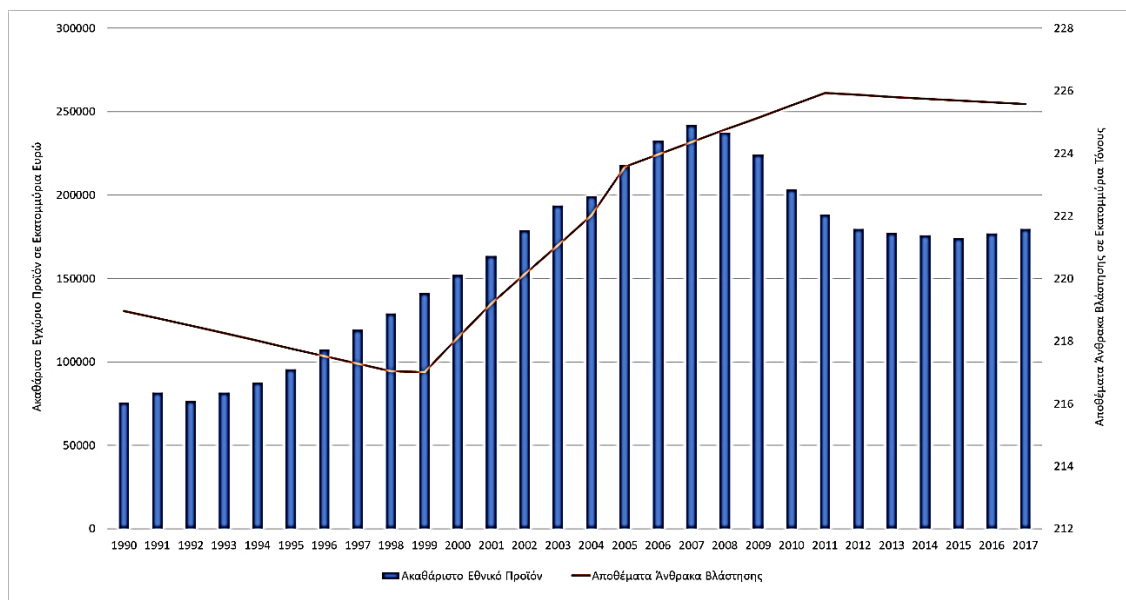
Τα εκτιμώμενα αποθέματα της βλάστησης σε άνθρακα στην Ελλάδα για την περίοδο από το 1990 έως το 2018, σύμφωνα με την ταξινόμηση CLC, φαίνονται στο Σχήμα 4, όπου είναι ορατή μία μικρή μείωση από το 1990 έως το 2000. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε μία αύξηση

από το 2000 έως το 2012, φανερώνοντας τη δέσμευση άνθρακα, ενώ ακολούθησε και μία πολύ ελαφριά μείωση, με τα αποθέματα άνθρακα να παραμένουν, ωστόσο, αρκετά πιο υψηλά από αυτά του 1990. Συνολικά, η αύξηση των αποθεμάτων άνθρακα στη βλάστηση από το 1990 έως το 2018, βάσει της CLC ανάλυσης, ήταν 2,9 %.

Όσον αφορά την κατανομή των αποθεμάτων άνθρακα σε διάφορους τύπους κάλυψης γης, στο Σχήμα 5 φαίνονται με μεγάλη ακρίβεια οι μεμονωμένοι τύποι CLC που συνεισφέρουν στην αποθήκευση άνθρακα στην Ελλάδα. Συνεπώς, οι σημαντικότεροι από αυτούς τους τύπους που λειτουργούν ως μεγάλες αποθήκες άνθρακα είναι τα δάση (πλατύφυλλα, κωνοφόρα και μικτά) και η σκληρόφυλλη βλάστηση, που αποτελεί μία ακόμη σπουδαία καταβόθρα άνθρακα.

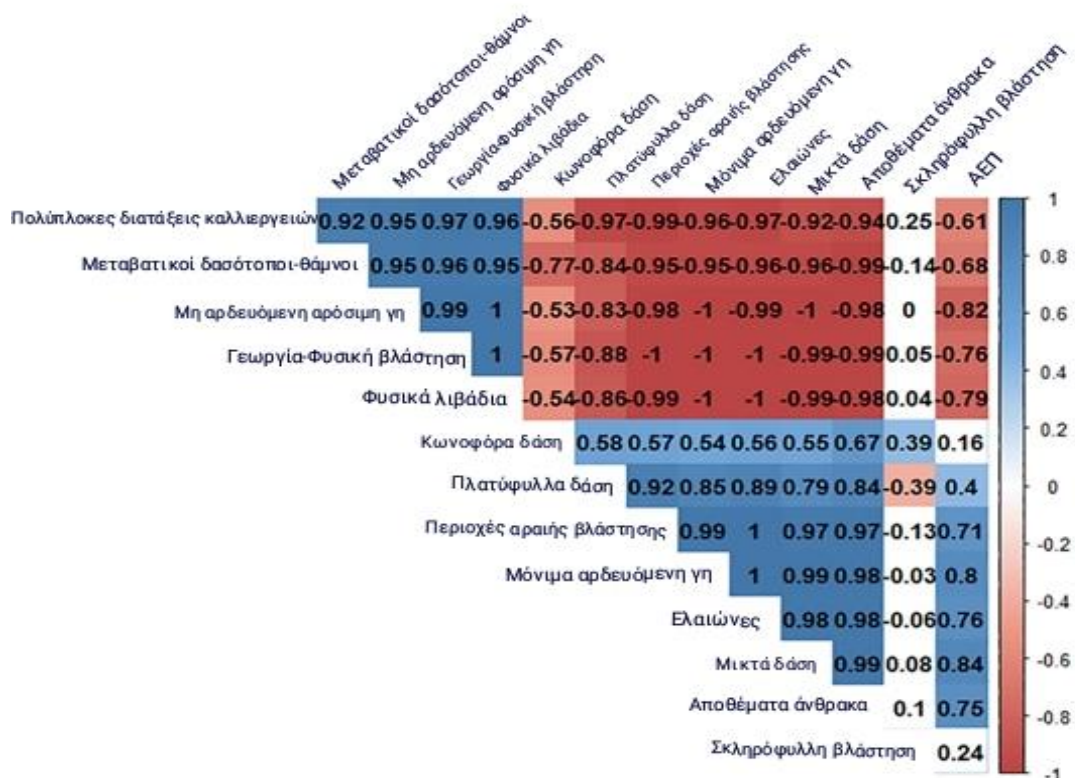


Σχήμα 5. Αποθέματα άνθρακα σε διαφορετικούς CLC τύπους για τα έτη 1990, 2000, 2006, 2012 και 2018.



Σχήμα 6. Χρονοσειρά του ΑΕΠ (GDP) και του αποθέματος της βλάστησης σε άνθρακα στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2018.

Στο Σχήμα 6 δίνονται οι χρονοσειρές για το ΑΕΠ και τα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση κατά τη χρονική περίοδο που μελετήθηκε, όπου μία κορυφή εμφανίζεται το 2008, ακολουθούμενη στη συνέχεια από μία απότομη πτώση, με το ΑΕΠ να αποκτά την χαμηλότερη τιμή του το 2015. Προκειμένου να αποκαλυφθούν οι ενδεχόμενες σχέσεις μεταξύ των εξεταζόμενων κυρίαρχων μεταβολών στην εδαφική κάλυψη, των ανθρακικών αποθεμάτων και του δείκτη οικονομικής ανάπτυξης, δηλαδή του ΑΕΠ, κατασκευάστηκε ο πίνακας συσχέτισής τους (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Πίνακας συσχέτισης των περιοχών CLC, του αποθέματος άνθρακα στη βλάστηση και του ΑΕΠ. Τα άχρωμα κελιά αντιστοιχούν σε συντελεστές συσχέτισης με $p > 0,01$ (στατιστικά μη σημαντικοί συντελεστές συσχέτισης).

Στο Σχήμα 7, τα αποτελέσματα ομαδοποιήθηκαν, σύμφωνα με την ένδειξη του συντελεστή συσχέτισης. Για κάθε ζευγάρι μεταβλητών, οι συντελεστές συσχέτισης θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικοί στο επίπεδο 0,01 (με $p < 0,01$). Παρατηρούνται, λοιπόν, θετικοί συσχετισμοί του ΑΕΠ με τα μικτά δάση, τη μόνιμα αρδευόμενη γη, τους ελαιώνες, τις περιοχές με αραιή βλάστηση και τα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση, ενώ αρνητικές συσχετίσεις με το ΑΕΠ παρουσιάζουν η μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, τα φυσικά λιβάδια, η γη που καταλαμβάνεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης, οι μεταβατικοί δασότοποι-θάμνοι και οι πολύπλοκες διατάξεις καλλιεργειών, καθώς όλες οι παραπάνω ήταν τάξεις κάλυψης γης που έχασαν σημαντική ποσότητα κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Ένας υψηλός συντελεστής συσχέτισης $\geq 0,75$ μεταξύ του ΑΕΠ και των μικτών δασών, των μόνιμα αρδευόμενων εδαφών, των ελαιώνων και των ανθρακικών αποθεμάτων στη βλάστηση καταδεικνύει το κοινό μοτίβο των δύο χρονοσειρών, με

αυξανόμενη τάση έως το 2008 και μειούμενη έπειτα. Συνεπώς, εξάγεται το συμπέρασμα πως μία αύξηση στην οικονομική ευημερία πιθανόν να συνδέεται με την επέκταση των μικτών δασών, των μονίμως αρδευόμενων εκτάσεων και των ελαιώνων, γεγονός που συνεπάγεται την αύξηση απομάκρυνσης άνθρακα. Είναι εμφανές ότι η αύξηση σε οποιονδήποτε τύπο δάσους αντικατοπτρίζεται στα αποθέματα άνθρακα της βλάστησης, δεδομένου ότι τα δάση έχουν τη μέγιστη πυκνότητα σε άνθρακα, ενώ η αρνητική συσχέτιση των ανθρακικών αποθεμάτων της βλάστησης αντικατοπτρίζει απλά την αντίστροφη μετάβασή τους κατά τη συγκεκριμένη περίοδο μελέτης. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι αρνητικοί συσχετισμοί δεν συνεπάγονται σχέση αιτίου-αποτελέσματος (για παράδειγμα η αύξηση των φυσικών λιβαδιών δεν σημαίνει πως θα μειωθούν τα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση).

Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, η αξιολόγηση των αλλαγών στην κάλυψη γης με τις αντίστοιχες αλλαγές στα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση πραγματοποιήθηκε με βάση τις καταγραφές του CORINE land cover (CLC) από το 1990 έως το 2018. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν εντατικοποίηση των αγροτικών δραστηριοτήτων, από τη μετατροπή και μόνο της μη αρδευόμενης γης σε μονίμως αρδευόμενη, σύμφωνα με την ανάλυση CLC. Επιπλέον, οι μεταβάσεις των φυσικών λιβαδιών σε σκληρόφυλλη βλάστηση και σε περιοχές με αραιή βλάστηση, οι αυξημένες δασικές εκτάσεις μόνο από αλλαγές των μεταβατικών δασότοπων-θάμνων και οι ολοένα και περισσότερες περιοχές με ελαιώνες συνιστούν μοτίβα αλλαγών εδαφικής κάλυψης και υποδηλώνουν μία συνολική μετάβαση σε δασική βλάστηση και ελαχιστοποιημένο κίνδυνο ερημοποίησης. Η CLC αξιολόγηση των ανθρακικών αποθεμάτων στη βλάστηση φανέρωσε μία μέτρια ελάττωση μέχρι το 2000 που ακολουθήθηκε από μία σημαντική αύξηση έως το 2012 και έπειτα από μία μικρή μείωση. Γενικά, διαπιστώθηκε αύξηση των αποθεμάτων βλάστησης σε άνθρακα κατά την περίοδο των 29 χρόνων που μελετήθηκε, με τα δάση όλων των κατηγοριών και τη μονίμως αρδευόμενη γη να αποτελούν τις κύριες αποθήκες άνθρακα που ελέγχουν τους τύπους εδαφικής κάλυψης και χρήζουν αναγκαίας διατήρησης στο μέλλον.

Μια σημαντική θετική συσχέτιση των μικτών δασών, των πλατύφυλλων δασών και των αρδευόμενων εκτάσεων με τα ανθρακικά αποθέματα στη βλάστηση και με το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν της χώρας υποδηλώνει πως η οικονομική ευημερία μίας χώρας δεν συνδέεται απαραίτητα με την περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη μπορεί να παρέχει επαρκείς πόρους για την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιώσιμη ανάπτυξη ταυτόχρονα.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας σχετικά με τις αλλαγές στην κάλυψη γης από το 1990 έως το 2018 έρχονται σε συμφωνία με άλλες μελέτες που έχουν γίνει για την ίδια περίοδο και αναφέρουν ότι παρατηρήθηκε αύξηση στην παραγωγικότητα της βλάστησης (Banti et al. 2019, Gemitzi et al. 2019). Ωστόσο, προβληματισμοί που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενες εργασίες (Karamesouti et al. 2018) σε σχέση με την ερημοποίηση και τον κίνδυνο υποβάθμισης του εδάφους που αναφέρονται να έχουν αυξηθεί σημαντικά από το 2000 έως το 2015, με περίοδο αναφοράς την κατάσταση του εδάφους από το 1970 έως το 1985, δεν υποστηρίζονται από τα πορίσματα της παρούσας εργασίας. Αυτό οφείλεται, ενδεχομένως, στο γεγονός ότι οι μελέτες για την υποβάθμιση του εδάφους και την ερημοποίηση συνήθως στηρίζονται σε δεδομένα μοντέλων στα οποία δεν υπολογίζονται οι απότομες και απροσδόκητες αλλαγές που έχουν αντίκτυπο στις παρατηρήσεις, όπως η απροσδόκητη οικονομική ύφεση που βίωσε η

Ελλάδα την περίοδο που μελετήθηκε, με τις αλλαγές στην κάλυψη γης που προαναφέρθηκαν να μην συνεπάγονται αυξημένο κίνδυνο ερημοποίησης.

Από τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, προκύπτουν ορισμένοι περιορισμοί, λόγω της έλλειψης πραγματικών σημείων στο έδαφος που θα διευκόλυναν τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης για τις αξιολογήσεις της εδαφικής κάλυψης. Οι προσπάθειες που καταβάλλονται από την Ευρώπη προς το παρόν για ένα πανευρωπαϊκό προϊόν εδαφικής κάλυψης είναι μία πρωτοβουλία πολύ λογική, όμως το χρονικό βήμα των έξι ετών παραμένει περιοριστικός παράγοντας όσον αφορά την εξέλιξη των χρονοσειρών από τα ανθρακικά αποθέματα στη βλάστηση, για αυτό και ήταν απαραίτητο να παρεμβάλουμε τις περιοχές κάλυψης γης μεταξύ των δεδομένων χρονολογιών. Άλλα προϊόντα εδαφικής κάλυψης παγκοσμίου κλίμακας και με υψηλότερη ανάλυση, όπως τα ετήσια προϊόντα εδαφικής κάλυψης MODIS (Strahler et al. 1999) έχουν λιγότερες κατηγορίες κάλυψης γης και χαμηλότερη χωρική ανάλυση από τα δεδομένα του CORINE. Εκτιμάται ότι βελτιωμένα προϊόντα κάλυψης γης σε υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση θα συμβάλουν τόσο στην καλύτερη αξιολόγηση των αποθεμάτων άνθρακα στη βλάστηση όσο και στην προσαρμογή πολιτικών που σχετίζονται με τον περιορισμό των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή.

Γενικά, στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την αξιολόγηση των διάφορων μεταβολών στην κάλυψη γης στη χώρα. Δεδομένου ότι η παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008 είχε και εξακολουθεί να έχει αντίκτυπο σε πολλές χώρες, ιδίως σε αυτές της νότιας Ευρώπης, θεωρούμε ότι η μεθοδολογία μας είναι σχετική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πολλές άλλες χώρες. Επιπλέον, η μεθοδολογία αυτή μπορεί να φανεί χρήσιμη στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, για να προωθήσουν την οικονομική ευημερία και τη διατήρηση σημαντικών οικοσυστημάτων με τα αντίστοιχα ανθρακικά αποθέματα, καθώς στα ευρήματα της εργασίας διαπιστώνεται πως η οικονομική ανάπτυξη δεν επιφέρει απαραίτητα περιβαλλοντική υποβάθμιση. Πολλά φιλόδοξα προγράμματα διαχείρισης της αειφορίας, με το πιο διακεκριμένο να είναι αυτό της Κίνας, έδειξαν πως μπορούν να διατηρηθούν τα αποθέματα άνθρακα στη βλάστηση από την ανθρώπινη διαχείριση των χρήσεων γης (Chen et al. 2019). Σε αυτό το πρόγραμμα οι Chen et al. (2019) παρουσίασαν την Κίνα και την Ινδία ως αρχηγούς στο πρασίνισμα του κόσμου, μέσω προγραμμάτων δένδροφυτεύσεων στην Κίνα, αλλά και εντατικών γεωργικών πρακτικών και στις δύο χώρες. Οι Chen et al. (2019) προσθέτουν ακόμα πως η εφαρμογή αυτών των προγραμμάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης δεν αντισταθμίζει απαραίτητα την απώλεια φυσικής τροπικής βλάστησης σε χώρες όπως η Βραζιλία και η Ινδονησία, υποδεικνύοντας έτσι ότι η διατήρηση των ανθρακικών αποθεμάτων στα φυτά πρέπει να αποτελέσει παγκόσμιο στόχο. Οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να επικεντρωθούν στον τρόπο αύξησης των αποθεμάτων άνθρακα στη βλάστηση, ώστε να καταπολεμηθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη και παράλληλα να διατηρηθούν οι υδάτινοι πόροι και η οικονομική ευημερία.

Βιβλιογραφία

- Assaf, C., Adams, C., Ferreira, F.F., França, H. (2021). Land use and cover modeling as a tool for analyzing nature conservation policies – a case study of Juréia-Itatins. *Land Use Policy*, Vol. 100, No. 104895.
- Banti, M.A., Kiachidis, K., Gemitzi, A. (2019). Estimation of spatio-temporal vegetation trends in different land use environments across Greece. *Journal of Land Use Science*, Vol. 14, No. 1, pp. 21-36.

- Beck, J. (2020). The Black Snub-Nosed Monkey: Differentiating and Discovering Suitable Habitat Using MODIS Land Cover Products and ASTER Digital Elevation Models. Available: <https://lpdaac.usgs.gov/resources/data-action/black-snubnosed-monkey-differentiating-and-discovering-suitable-habitat-using-modis-landcover-products-and-aster-digital-elevation-models/>
- Büttner, G. (2014). CORINE land cover and land cover change products. In: Manakos, I., Braun, M. (Eds), Land Use and Land Cover Mapping in Europe: Practices & Trends. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 55–74.
- Cecchini, M., Zambon, I., Pontrandolfi, A., Turco, R., Colantoni, A., Mavrakakis, A., Salvati, L. (2018). Urban sprawl and the ‘olive’ landscape: sustainable land management for ‘crisis’ cities. *GeoJournal*, Vol. 84, pp. 237–255.
- Chang, C.C., Lin, C.J. (2011). LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 2, No. 27, pp. 1–27.
- Chen, C., Park, T., Wang, X., Piao, S., Xu, B., Chaturvedi, R.K., Fuchs, R., Brovkin, V., Ciais, P., Fensholt, R., Tømmervik, H., Bala, G., Zhu, Z., Nemani, R.R., Myneni, R.B. (2019). China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, Vol. 2, pp. 122–129.
- Cruickshank, M.M., Tomlinson, R.W., Trew, S. (2000). Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. *Journal of Environmental Management*, Vol. 58, pp. 269–287.
- Eleftheriou, D., Kiachidis, K., Kalmintzis, G., Kalea, A., Bantasis, C., Koumadoraki, P., Spathara, M.E., Tsolaki, A., Tzampazidou, M.I., Gemitzi, A. (2018). Determination of annual and seasonal daytime and nighttime trends of MODIS LST over Greece - climate change implications. *Science of the Total Environment*, Vol. 616–617, pp. 937–947.
- European Union (2018). Copernicus land monitoring service 2018, European Environment Agency (EEA). Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 2020_20u1. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- Fernandes, M.M., Fernandes, M.R. de M., Garcia, J.R., Matricardi, E.A.T., de Almeida, A.Q., Pinto, A.S., Menezes, R.S.C., Silva, A. de J., Lima, A.H. de S. (2020). Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. *Land Use Policy*, Vol. 99, No. 104795.
- Gemitzi, A., Banti, M.A., Lakshmi, V. (2019). Vegetation greening trends in different land use types: natural variability versus human-induced impacts in Greece. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 78, No. 172.
- Gemitzi, A. (2020). Advanced Environmental Monitoring with Remote Sensing Time Series Data and R. In: Koutsias, N. and Lakshmi, V., CRC Press, Boca Raton.
- Hellenic Statistical Authority (2020). The Greek Economy. Hellenic Republic Hellenic Statistical Authority. Available: <https://www.statistics.gr/en/statistics/-/publication/SEL15/>
- Hijmans, R.J. (2017). Introduction to the ‘ Raster ’ package (version 2 . 3-24). R-CRAN Proj.
- Hong, S., Lakshmi, V., Small, E.E. (2007). Relationship between vegetation biophysical properties and surface temperature using multisensor satellite data. *Journal of Climate*, Vol. 20, pp. 5593–5606.
- Hong, S., Lakshmi, V., Small, E.E., Chen, F. (2011). The influence of the land surface on hydrometeorology and ecology: new advances from modeling and satellite remote sensing. *Hydrology Research*, Vol. 42, pp. 95–112.

- Hsu, C.-W., Chang, C.-C., Lin, C.-J. (2010). A Practical Guide to Support Vector Classification. National Taiwan University.
- Huang, C., Davis, L.S., Townshend, J.R.G. (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, No. 4, pp. 725–749.
- Joorabian Shoostari, S., Silva, T., Raheli Namin, B., Shayesteh, K. (2020). Land use and cover change assessment and dynamic spatial modeling in the Ghara-su Basin, Northeastern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 48, pp. 81–95.
- Karamesouti, M., Panagos, P., Kosmas, C. (2018). Model-based spatio-temporal analysis of land desertification risk in Greece. *Catena*, Vol. 167, pp. 266–275.
- Mantero, P., Moser, G., Serpico, S.B. (2004). Partially supervised classification of remote sensing images using SVM-based probability density estimation. 2003 IEEE Workshop on Advances in Techniques for Analysis on Remotely Sensed Data, Vol. 43, pp. 327–336.
- Mchenry, M.P. (2015). Land use, land-use change and forestry. In: Kulshreshtha, S.N. and Lac, S., New York, United States.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 66, pp. 247–259.
- Muñoz-Rojas, M., De la Rosa, D., Zavala, L.M., Jordán, A., Anaya-Romero, M. (2011). Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956–2007). *Science of the Total Environment*, Vol. 409, pp. 2796–2806.
- Pnevmatikos, J.D., Katsoulis, B.D. (2006). The changing rainfall regime in Greece and its impact on climatological means. *Meteorological Applications*, Vol. 13, pp. 331–345.
- QGIS Development Team (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team (2013). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Roy, D.P., Ju, J., Kline, K., Scaramuzza, P.L., Kovalskyy, V., Hansen, M., Loveland, T.R., Vermote, E., Zhang, C. (2010). Web-enabled Landsat data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 114, pp. 35–49.
- Strahler, A. (1999). MODIS Land Cover Product Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) MODIS Land Cover and Land-Cover Change. In: Gopal, S., Lambin, E. and Moody, A., Boston University, Boston, MA
- Tsampra, M. (2018). Crisis and austerity in action: Greece. *The New Oxford Handbook of Economic Geography*. Oxford University Press, pp. 113–140.
- Tucker, C.J., Grant, D.M., Dykstra, J.D. (2004). NASA’s global orthorectified landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, No. 3, pp. 313–322.
- United States Department of Agriculture, E.R.S, n.d. Land use and land cover estimates for the United States. Available: <https://www.ers.usda.gov/about-ers/partnerships/strengthening-statistics-through-the-icars/land-use-and-land-cover-estimates-for-the-united-states/>
- Williams, D.L., Goward, S., Arvidson, T. (2006). Landsat : yesterday , today , and tomorrow. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 72, pp. 1171–1178.
- Wirt, B. (2020). The African Sahel in transition. Available: <https://lpdaac.usgs.gov/resources/data-action/african-sahel-transition/>

Zhang, Z., Wang, W., Gong, C., Zhao, M., Franssen, H.-J.H., Brunner, P. (2021). *Salix psammophila* afforestations can cause a decline of the water table, prevent groundwater recharge and reduce effective infiltration. *Science of the Total Environment*, Vol. 780, No. 9, 146336.

Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΓΙΑ ΕΝΔΗΜΙΕΣ, ΕΠΙΔΗΜΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΝΔΗΜΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΚΑΙΝΟ ΕΠΟΧΗ

Παρασκευή Μπέγου

Υποψήφια Διδάκτορας

Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,

Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

E-mail: p.begou@uoi.gr

Παύλος Κασσωμένος

Καθηγητής

Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,

Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

E-mail: pkassom@uoi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ανθρωπόκαινο Εποχή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την «κυριαρχία» του ανθρώπου στη Γη. Η εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής που συντελείται τις τελευταίες δεκαετίες είναι συνέπεια των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και της ανεξέλεγκτης εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων του πλανήτη που έχουν ως αποτέλεσμα τη διατάραξη της ισορροπίας των οικοσυστημάτων. Η επίδραση των προαναφερθέντων στους έμβιους οργανισμούς του πλανήτη επιφέρει κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να αυξήσει τη συχνότητα, τη χρονική διάρκεια και τη γεωγραφική εξάπλωση των μολυσματικών ασθενειών σε παγκόσμια κλίμακα. Είναι επιστημονικά τεκμηριωμένο πως οι φορείς μετάδοσης των λοιμωδών νοσημάτων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες. Συνεπώς, νέες μολυσματικές ασθένειες εμφανίζονται, ενώ παράλληλα ασθένειες που είχαν εξαλειφθεί επανεμφανίζονται και εξαπλώνονται ραγδαία. Η Νότια Ευρώπη και η περιοχή της Μεσογείου αναμένεται να είναι από τις περιοχές του πλανήτη που θα πληγούν ιδιαίτερα από τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Ο κίνδυνος εμφάνισης ασθενειών που μεταδίδονται μέσω διαβιβαστών (vector-borne diseases), όπως τα κουνούπια, αναμένεται στο μέλλον να είναι ενισχυμένος. Ακόμα, ένας κίνδυνος για τη δημόσια υγεία που συνδέεται με την κλιματική αλλαγή και τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι τα αερογενώς μεταδιδόμενα νοσήματα (air-borne infectious diseases), όπως η γρίπη. Η παρούσα μελέτη παραθέτει και αναλύει τους αμοιβαία εντεινόμενους δεσμούς μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της δημόσιας υγείας.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, φυσικό περιβάλλον, μολυσματικές ασθένειες

Εισαγωγή

Οι κλιματικές και μετεωρολογικές συνθήκες αποτελούν σημαντικές συνιστώσες που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό

Υγείας (WHO), η κλιματική αλλαγή επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίες σχετίζονται με μετεωρολογικούς παράγοντες όπως ακραίες θερμοκρασίες και με ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα όπως τυφώνες και πλημμύρες. Επίσης, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την κατανομή ορισμένων νοσημάτων που μεταδίδονται μέσω διαβιβαστών και μεταδίδονται σε ανθρώπους και ζώα από δήγμα ή τσίμπημα μολυσμένων φορέων όπως αρθρώποδα (κρότωνα, κουνούπια). Οι διαβιβαστές έχουν τον ρόλο του ενδιάμεσου φορέα/ξενιστή που μεταφέρει το παθογόνο/μικρόβιο στον άνθρωπο (Σαρογλου 2018).

Η μετάδοση των μολυσματικών ασθενειών καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, όπως οι κοινωνικές, οικονομικές και οικολογικές συνθήκες, η δυνατότητα πρόσβασης σε οργανωμένα συστήματα υγείας και η φυσική ανοσία των ανθρώπων. Εντούτοις, οι μολυσματικοί παράγοντες, οι φορείς ασθενειών, οι «δεξαμενές» (*reservoir*) λοιμογόνων παραγόντων και οι ρυθμοί αναπαραγωγής παθογόνων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις κλιματικές και μετεωρολογικές συνθήκες (www.ecdc.europa.eu).

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) προβλέπει ότι η αλλαγή του κλίματος θα έχει ως συνέπεια μεταβολές στην εξάπλωση και μετάδοση των λοιμωδών νοσημάτων που μεταδίδονται με φορείς. Η σύνδεση των μετεωρολογικών και κλιματικών παραγόντων με τις μολυσματικές ασθένειες περιλαμβάνει κυρίως τις αλλαγές στην οικολογική ισορροπία, τη μετανάστευση και τη γεωγραφική εξάπλωση των φορέων/διαβιβαστών, των ξενιστών και των «δεξαμενών» των λοιμωδών νοσημάτων, τις μεταβολές στις εποχές δραστηριότητάς τους και στο μέγεθος του πληθυσμού τους και την εκτεταμένη περίοδο μετάδοσης.

Οι ασθένειες που μεταδίδονται από φορέα είναι ευρέως διαδεδομένες στην Ευρώπη και είναι οι συνήθεις μελετημένες ασθένειες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Σημαντικό είναι ακόμα να αναφερθεί ότι η αλλαγή του κλίματος απειλεί να μετατρέψει σε ενδημικές νόσους στην Ευρώπη τις μολυσματικές ασθένειες που εμφανίζονται κυρίως στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές.

Ακόμα, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η εκδήλωση μολυσματικών ασθενειών που μεταδίδονται από φορείς χαρακτηρίζεται από την εποχικότητα (Martinez 2018). Η εποχικότητα στις μολυσματικές ασθένειες αντιπροσωπεύει συνήθως μία περιοδική διαδικασία που έχει ημιτονοειδείς κορυφές και κοιλάτες σε τακτά χρονικά διαστήματα (Fisman 2012). Η εποχικότητα έχει τεκμηριωθεί για λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος, όπως η λοίμωξη από τον ιό της γρίπης (Lytras et al. 2019). Οι περισσότερες ιογενείς αναπνευστικές λοιμώξεις τείνουν να ακολουθούν εποχιακά μοτίβα, με υψηλή συχνότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε περιοχές της εύκρατης κλιματικής ζώνης και κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών σε περιοχές της τροπικής κλιματικής ζώνης (Audi et al. 2020).

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας συνδεδεμένος με την κλιματική αλλαγή είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία είτε λειτουργεί συνεργικά με τους κλιματικούς και μετεωρολογικούς παράγοντες επιβαρύνοντας τη δημόσια υγεία είτε η μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους επιβαρύνει την υγεία δημιουργώντας ευπάθεια στον ανθρώπινο οργανισμό. Η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση αύξησε τον κίνδυνο θανάτου κατά τη διάρκεια της επιδημίας του SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) το 2003 (Cui et al. 2003).

Σε αυτή τη βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφερόμαστε σε αερογενώς μεταδιδόμενα νοσήματα (γρίπη, SARS, Covid-19) και σε λοιμώδη νοσήματα που μεταδίδονται μέσω

φορέων/διαβιβαστών (ελονοσία, λοίμωξη από τον ιό του δυτικού Νείλου) στα πλαίσια των μεταβολών που δέχεται το περιβάλλον λόγω της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των ομβρόφιλων δασών, ακόμα και η κτηνοτροφία, δρουν σωρευτικά και επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα και τη θερμοκρασία της Γης. Οι δραστηριότητες αυτές προσθέτουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Η σημερινή μέση θερμοκρασία της Γης είναι κατά 0,85°C υψηλότερη από ό,τι στο τέλος του 19^{ου} αιώνα. Κάθε μία από τις τρεις τελευταίες δεκαετίες ήταν θερμότερη από την προηγούμενή της, από τη στιγμή που άρχισε η καταγραφή των στοιχείων το 1850. Μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή θεωρείται ως το όριο πέραν του οποίου θα υπάρξει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα για επικίνδυνες και πιθανώς καταστροφικές αλλαγές στο περιβάλλον του πλανήτη. Συγκεκριμένα, το χρονικό διάστημα 2015-2019 έχει χαρακτηριστεί ως η θερμότερη πενταετία από οποιαδήποτε άλλη ισοδύναμη χρονική περίοδο. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία εκτιμάται ότι είναι ήδη 1.1°C ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) πάνω από τη μέση θερμοκρασία της προβιομηχανικής εποχής (έτη 1850-1900) και 0.2°C ($\pm 0.08^\circ\text{C}$) πάνω από τη μέση θερμοκρασία της χρονικής περιόδου 2011-2015 (Επιστημονική Συμβουλευτική Ομάδα της Συνόδου Κορυφής του ΟΗΕ για το κλίμα, 2019).

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τον πλανήτη. Οι πάγοι στις πολικές περιοχές λιώνουν και η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Ορισμένες περιοχές πλήττονται συχνότερα από ακραία καιρικά φαινόμενα και βροχοπτώσεις, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες. Για παράδειγμα, οι χώρες της νότιας και κεντρικής Ευρώπης πλήττονται όλο και πιο συχνά από πρωτοφανή κύματα καύσωνα, ξηρασίες και δασικές πυρκαγιές και στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης καταγράφονται μεγαλύτερα ύψη βροχοπτώσεων και οι πλημμύρες τείνουν να γίνουν σύνηθες φαινόμενο τους χειμερινούς μήνες του έτους.

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη ορατές και αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες. Συνεπώς, θα επιφέρουν αρνητικό αντίκτυπο σε όλους τους ζώντες οργανισμούς, μείωση της βιοποικιλότητας, εξαφάνιση πολλών ειδών έως και κατάρρευση των οικοσυστημάτων. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), η κλιματική αλλαγή επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τις ακραίες θερμοκρασίες (θερμική καταπόνηση), την αύξηση των επιπέδων των ατμοσφαιρικών ρύπων (καρδιαγγειακές και αναπνευστικές ασθένειες) και τη γεωργική παραγωγή (επισιτιστική ανασφάλεια, υποσιτισμός). Επίσης, λόγω της κλιματικής αλλαγής προκύπτουν τροφιμογενή (και υδατογενή) νοσήματα που μεταδίδονται μέσω της κατανάλωσης νερού, γάλακτος, ή τροφών που έχουν μολυνθεί (όπως η χολέρα που προκαλείται από το βακτήριο «*δονάκιο της χολέρας*») και ασθένειες που μεταδίδονται με φορείς (όπως η ελονοσία).

Ο καθηγητής Επιδημιολογίας Tony McMichael ήταν ένας από τους πρώτους που θεμελίωσαν τη σχέση μεταξύ της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και της ανθρώπινης υγείας στην Ανθρωπόκαινο Εποχή, το έτος 1993 (McMichael 1993). Οι περιβαλλοντικές αλλαγές και η

κλιματική αλλαγή μεταβάλλουν την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το περιβάλλον και αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης ασθενειών (Myers et al. 2013).

Εμφάνιση μολυσματικών ασθενειών λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί η εμφάνιση μολυσματικών ασθενειών παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένης της επιδημίας του ιού Έμπολα στην Αφρική το 1976, του ιού Nipah στην Ασία το 1999, του πνευμονικού συνδρόμου από χανταϊό (Hantavirus Pulmonary Syndrome-HPS) στη Λατινική Αμερική το 1993, τη νόσο Lyme (βορρελίωση) στο Κονέκτικατ των ΗΠΑ το 1975, τη νόσο του ιού Zika στην Ουγκάντα το 1947 και τη νόσο του ιού chikungunya στην Τανζανία το 1952 (www.cdc.gov). Ακόμα, παρατηρείται η επανεμφάνιση και η γεωγραφική εξάπλωση νοσημάτων που μεταδίδονται με διαβίβαστες, όπως η ελονοσία (Mordecai et al. 2020), ο κίτρινος πυρετός (Gaythorpe et al., 2020) και ο δάγκειος πυρετός (Tran et al. 2020) λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Μελέτες έχουν εξετάσει περιβαλλοντικούς παράγοντες που συνέβαλαν στην εμφάνιση του πνευμονικού συνδρόμου από χανταϊό (HPS). Η επικράτηση των έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων λόγω του φαινομένου El Niño, τη χρονική περίοδο 1992-1993, φαίνεται να επηρέασε τον πληθυσμό των τρωκτικών στην περιοχή Four Corners (Αριζόνα, Νέο Μεξικό, Κολοράντο, Γιούτα) των Ηνωμένων Πολιτειών το 1993. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες που επικράτησαν ευνόησαν την αύξηση της βλάστησης των δασών και της αφθονίας των εντόμων και συνεπώς της τροφής των τρωκτικών, με αποτέλεσμα αυτά να επιβιώνουν περισσότερο και να αναπαράγονται. Όσο μεγαλύτερος είναι ο πληθυσμός των τρωκτικών τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μολυσμένων ατόμων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα μετάδοσης του Sin Nombre virus στους ανθρώπους, προκαλώντας το «ξέσπασμα» της επιδημίας του HPS στις Ηνωμένες Πολιτείες (Engelthaler et al. 1999).

Επιπροσθέτως, η επιδημία του ιού Έμπολα που επανεμφανίστηκε στην Αφρική το 2013 εξαπλώθηκε χωρικά από τις αγροτικές περιοχές στον αστικό ιστό, επηρεάζοντας μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Οι λόγοι της εξάπλωσης της επιδημίας ήταν η αυξημένη επαφή των ανθρώπων με την άγρια φύση ως επακόλουθο της εκτεταμένης αποψίλωσης των δασών, του κυνηγιού και της εξόρυξης (Ragarabamu et al. 2020).

Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί το αρχικό «ξέσπασμα» του ιού Nipah το 1998. Η αποψίλωση των δασών και οι δασικές πυρκαγιές στην Ινδονησία (1997-1998) σε συνδυασμό με την ξηρασία που προκλήθηκε μετά την εκδήλωση του φαινομένου El Niño την περίοδο 1997-1998, οδήγησε στη μείωση της διαθεσιμότητας καρποφόρων δέντρων στα δάση για την εύρεση τροφής από τις νυχτερίδες. Παράλληλα η γειτνίαση των χοιροστασίων με τους οπωρώνες στη Μαλαισία δημιούργησε το «κατάλληλο» περιβάλλον, όπου οι χοίροι τρέφονταν με πεσμένα φρούτα μολυσμένα με εκκρίματα από τις νυχτερίδες (οι οποίες είναι οι «δεξαμενές» του ιού Nipah). Έτσι εκδηλώθηκαν τα πρώτα κρούσματα εμπύρετης εγκεφαλίτιδας, κυρίως στους εργαζόμενους στα χοιροστάσια (Chua 2003, McNeely 2021).

Τέλος, πρόσφατη μελέτη των Beyer et al. (2021) αποκάλυψε μεγάλες αλλαγές στον τύπο της βλάστησης στην επαρχία Γιουνάν της νότιας Κίνας και σε παρακείμενες περιοχές στη Μιανμάρ και στο Λάος. Οι κλιματικές αλλαγές της 30ετίας 1901-1930 σε σχέση με την 30ετία 1990-2019 στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, μεταβολές στα μηνιαία πρότυπα βροχοπτώσεων, σημαντικά μειωμένη μέση μηνιαία νεφοκάλυψη και υψηλότερα επίπεδα ατμοσφαιρικού CO₂, οι οποίες έχουν επηρεάσει την ανάπτυξη φυτών και δέντρων και έχουν μεταβάλει τα οικοσυστήματα. Η κλιματική

αλλαγή έχει καταστήσει τον βióτοπο στην επαρχία Γιουνάν κατάλληλο για πολλά είδη νυχτερίδων και θεωρείται παγκόσμιο «hot spot» για τη μελέτη της αύξησης της αφθονίας των ειδών νυχτερίδων. Η περιοχή αυτή συμπίπτει με την πιθανή γεωγραφική προέλευση του SARS-CoV-1 και του SARS-CoV-2 (Beyer et al. 2021).

Νοσήματα που μεταδίδονται με διαβιβαστές (vector-borne diseases)

Η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει την ανησυχία ότι θα μεταβάλει τη γεωγραφική και χρονική εξάπλωση και το «φορτίο» των λοιμωδών νοσημάτων που μεταφέρονται με διαβιβαστές (vector-borne diseases) (Mordecai et al. 2020). Ενδεχομένως, θα υπάρξουν αρνητικές επιπτώσεις στις στρατηγικές πρόληψης και ελέγχου των ασθενειών που παρακολουθούνται μέσω της επιδημιολογικής επιτήρησης. Συνεπώς, η αυξανόμενη ανησυχία για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα οικοσυστήματα του πλανήτη και η σύνδεσή τους με την εμφάνιση των λοιμωδών νοσημάτων που μεταφέρονται από διαβιβαστές αποτελεί απειλή για τη δημόσια υγεία.

Τα νοσήματα που μεταδίδονται με διαβιβαστές μεταδίδονται μέσω δαγκώματος από τρωκτικά ή δήγματος/τσιμπήματος από διαβιβαστές, όπως είναι τα κουνούπια, οι κρότνες, οι φλεβοτόμοι, οι μύγες, τα τσιμπούρια και οι κοριοί που φέρουν τον λοιμογόνο παράγοντα. Ο τρόπος επίδρασης των κλιματικών αλλαγών στα λοιμώδη νοσήματα ποικίλει, καθώς επηρεάζεται τόσο ο αναπαραγωγικός ρυθμός των διαβιβαστών όσο και η δραστηριότητά τους (www.eody.gov.gr). Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη μετάδοση ασθενειών που μεταδίδονται από φορέα, επειδή οι αλλαγές της θερμοκρασίας επηρεάζουν το μέγεθος του πληθυσμού του φορέα, την επιβίωση, τη δραστηριότητα, τα ποσοστά επώασης παθογόνων και τη δραστηριότητα και ικανότητα του φορέα. Επιπλέον, η βροχόπτωση και η υγρασία έχουν επιπρόσθετα αποτελέσματα (Mordecai et al. 2020). Για πολλές μολυσματικές ασθένειες που μεταδίδονται με διαβιβαστές έχει διαπιστωθεί ότι η ανάπτυξη ορισμένων κουνουπιών που έχουν τον ρόλο του φορέα της νόσου επιταχύνεται με αυξημένη βροχόπτωση και αύξηση της θερμοκρασίας (Hoshen & Morse 2004). Ωστόσο, η βροχόπτωση δεν δρα πάντα θετικά στην επιβίωση των φορέων. Για παράδειγμα, η έντονη βροχόπτωση μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στον πληθυσμό των κουνουπιών, διότι μπορεί να καταστρέψει τις περιοχές αναπαραγωγής τους (Kuhn et al. 2005). Ακόμα οι Wu et al. (2016) αναφέρουν πως πολλοί ξενιστές τείνουν να ανταποκρίνονται έντονα στην αλλαγή της υγρασίας. Για παράδειγμα, η σχετική υγρασία επηρεάζει τη μετάδοση της ελονοσίας, επηρεάζοντας τη δραστηριότητα και την επιβίωση των κουνουπιών. Στην περίπτωση που η μέση μηνιαία σχετική υγρασία είναι κάτω από 60%, η διάρκεια ζωής του κουνουπιού που είναι φορέας του πλασμώδιου της ελονοσίας γίνεται πολύ μικρή για να είναι εφικτή η μετάδοση της νόσου (Pampana 1969).

Είναι αποδεδειγμένο ότι η θερμοκρασία έχει μη γραμμικές επιδράσεις στη μετάδοση ασθενειών που μεταδίδονται από φορέα και ότι τα είδη κουνουπιών και παθογόνων οργανισμών διαφέρουν σε αυτή την απόκριση. Για παράδειγμα, για την ελονοσία και τους αρμοϊούς (ιοί που μεταδίδονται με αρθρώποδα) τα χαρακτηριστικά φορέων και παρασίτων κορυφώνονται σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες και καταστέλλονται τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές θερμοκρασίες (Mordecai et al. 2020).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η δυναμική των λοιμωδών νοσημάτων που μεταδίδονται με διαβιβαστές είναι πολύπλευρη και περιλαμβάνει την ανθρώπινη κινητικότητα μέσω των ταξιδιών, του διεθνούς εμπορίου και της μετανάστευσης των πληθυσμών, την αστικοποίηση,

τη διαθεσιμότητα και την αποταμίευση πόσιμου νερού, και άλλους παράγοντες όπως είναι οι συνθήκες υγιεινής. Για παράδειγμα, ταξιδιώτες που είναι φορείς λοιμωδών νοσημάτων και βρίσκονται σε φάση ιαιμίας, όπου το ιϊκό φορτίο στο αίμα μπορεί να είναι πολύ υψηλό, μεταδίδουν αναπόφευκτα τη νόσο, όταν δεν λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα (www.eody.gov.gr).

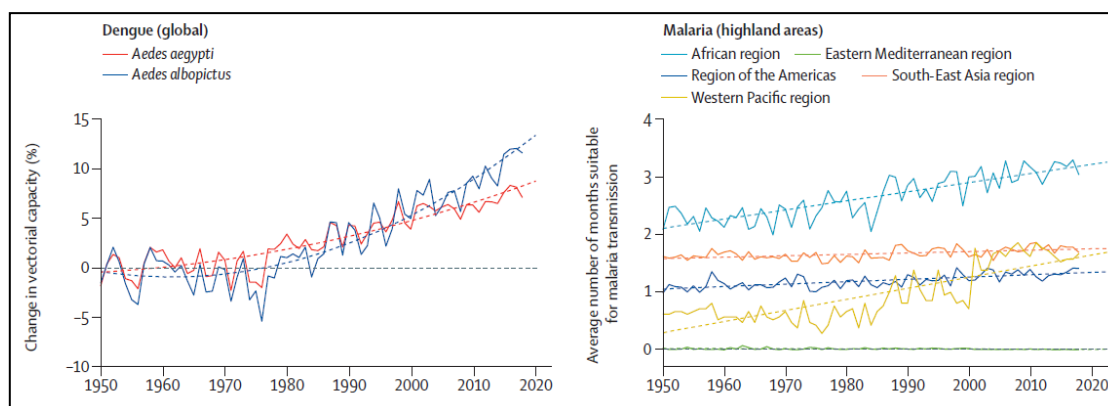
Ο δάγκειος πυρετός είναι μία ιογενής ασθένεια που μεταδίδεται στον άνθρωπο μέσω κουνουπιών του γένους *Aedes Aegypti*, χαρακτηριστικό του οποίου αποτελεί η ικανότητά του να προσαρμόζεται στις περιβαλλοντικές συνθήκες των πόλεων (National Research Council (US) Committee on Climate, Ecosystems, Infectious Diseases, and Human Health 2001). Η θερμοκρασία, η υγρασία και η βροχόπτωση επηρεάζουν την πιθανή εξάπλωση του ιού σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του κουνουπιού. Το κουνούπι *Aedes Aegypti* έχει επικρατήσει σε περιοχές της Ευρώπης, που έχουν υγρό υποτροπικό κλίμα, όπως οι χώρες της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας (www.ecdc.europa.eu). Επιπλέον, ο δάγκειος πυρετός μεταδίδεται και με το κουνούπι του γένους *Aedes Albopictus*. Για την επιβίωσή του και τη δραστηριότητά του απαιτείται μέση ετήσια θερμοκρασία άνω των 11°C και τουλάχιστον 500 mm ετήσιας βροχόπτωσης (προϋπόθεση για τη συντήρηση των υδρόβιων οικοτόπων). Οι βροχοπτώσεις πρέπει να είναι επαρκείς κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, για να διατηρηθούν οι υδρόβιοι οικοτόποι των κουνουπιών και απαιτείται θερμοκρασία της τάξης 25°C–30°C τη θερινή περίοδο για τη βέλτιστη ανάπτυξη των κουνουπιών *Aedes Albopictus* (www.ecdc.europa.eu).

Η κλιματική αλλαγή επιφέρει αξιοσημείωτες μεταβολές στην εμφάνιση του δάγκειου πυρετού στις πόλεις, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας επιμηκύνει και το χρονικό διάστημα μετάδοσης του ιού. Στην Ελλάδα, το κουνούπι *Aedes Albopictus* δραστηριοποιείται συνεχώς για 9 μήνες του έτους (Απρίλιο έως Δεκέμβριο), με τη μεγαλύτερη αφθονία το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, με μέγιστο τον Οκτώβριο (Giatropoulos et al. 2012). Ακόμα, έχει υποστηριχθεί πως η εμφάνιση επιδημίας δάγκειου πυρετού είναι εφικτή στην Αθήνα τους τελευταίους μήνες του καλοκαιριού, αν ο ιός εισαχθεί στον πληθυσμό (www.eody.gov.gr).

Επιπροσθέτως, οι αστικές περιοχές εμφανίζουν το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας (urban heat island) με μικροκλίμα που εμφανίζει αρκετούς βαθμούς υψηλότερη θερμοκρασία από τις γύρω περιοχές όπου κυριαρχεί βλάστηση, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και την επιβίωση των φορέων (Murdock et al. 2017). Τόσο το καλοκαίρι όσο και το φθινόπωρο, τα αστικά μικροκλίματα είναι σημαντικά θερμότερα και λιγότερο υγρά από ό,τι οι μη αστικές τοποθεσίες, γεγονός που αντανακλά το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας. Αυτό συμβαδίζει με άλλες μελέτες που δείχνουν ότι τα αστικά κέντρα έχουν διαφορετική θερμοκρασία και «πρότυπα» βροχόπτωσης από τις περιφερειακές περιοχές, λόγω σημαντικών τροποποιήσεων στη δομή του εδάφους και αύξηση στη σπατάλη ενέργειας (waste heat) λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Murdock et al. 2017).

Στην Εικόνα 1, το διάγραμμα για τον δάγκειο πυρετό απεικονίζει την αλλαγή (%), σε παγκόσμιο επίπεδο, στη μεταδοτική ικανότητα (vectorial capacity) των κουνουπιών *Aedes aegypti* και *Aedes albopictus* από το 1950 έως το 2020. Το 2018 ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκό έτος για τη μετάδοση του δάγκειου πυρετού, με αύξηση στη μεταδοτική ικανότητα κατά 8,9% για το κουνούπι *Aedes Aegypti* και 15,0% για το *Aedes Albopictus* σε σύγκριση με το έτος 1950. Ακόμα, το διάγραμμα για την ελονοσία δείχνει σημαντική αύξηση των μηνών που εξασφαλίζουν την κλιματική καταλληλότητα (climate suitability) για τη μετάδοση της ελονοσίας σε ορεινές περιοχές (malaria, highlands areas), με αύξηση 38,7% στην περιοχή της

Αφρικής και 149,7% στην περιοχή του Δυτικού Ειρηνικού το 2015–2019 σε σύγκριση με το 1950.



Εικόνα 1. Διαγράμματα για τις αλλαγές στην κλιματική καταλληλότητα (climate suitability) για την εξάπλωση του δάγκειου πυρετού (dengue (global)) και την ελονοσία (malaria (highlands areas)) (Πηγή: Watts et al., 2021).

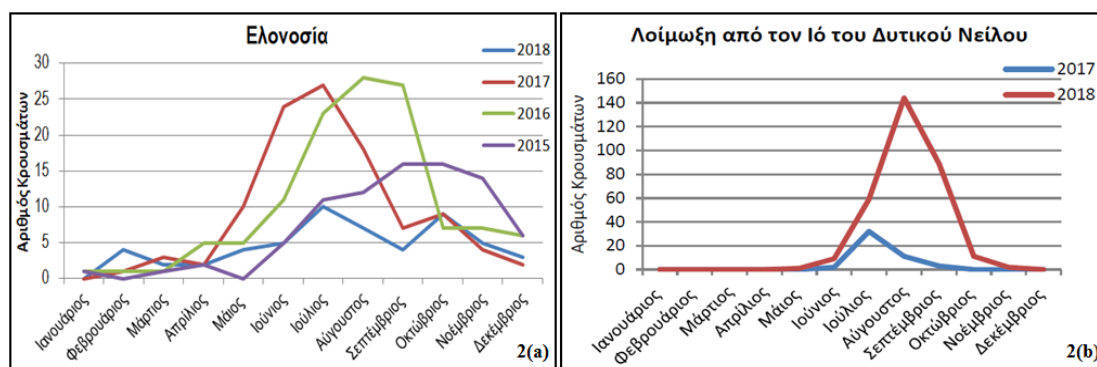
Η επανεμφάνιση της ελονοσίας στην Ελλάδα και η λοίμωξη από τον ιό του Δυτικού Νείλου

Σημαντική είναι η συμβολή των αρthropόδων στην μετάδοση των λοιμωδών νοσημάτων στον άνθρωπο. Πλήθος γνωστών παθογόνων παραγόντων, όπως μικρόβια, ιοί και παράσιτα, μεταδίδονται με αρthropοδα στον άνθρωπο και στα ζώα. Ο τεράστιος αριθμός των αρthropόδων και η «κοσμοπολίτικη» εξάπλωσή τους είναι παράγοντες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη ανταγωνιστικής σχέσης με τον άνθρωπο από την εποχή της εμφάνισής τους στη Γη. Ο ρόλος τους στην δημόσια υγεία είναι σημαντικός, διότι μεταδίδουν ασθένειες με μεγάλη νοσηρότητα και θνησιμότητα, όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός και ο ιός του Δυτικού Νείλου. Συγκριμένα, η ελονοσία είναι ενδημική ασθένεια σε περισσότερες από 100 χώρες του κόσμου (www.eody.gov.gr). Οι περιοχές που πλήττονται από τη νόσο είναι η Υποσαχάρια Αφρική, η Νοτιοανατολική Ασία και η Λατινική Αμερική. Επομένως, περισσότεροι από 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε ενδημικές περιοχές ελονοσίας. Η ελονοσία μεταδίδεται με το πλασμώδιο της ελονοσίας μέσω δήγματος από μολυσμένο κουνούπι του είδους *Anopheles*. Υπάρχουν 4 είδη πλασμωδίου (*P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale* και *P. malariae*), από τα οποία το επικρατέστερο στην Ελλάδα είναι το *P. vivax*.

Η ελονοσία είχε εξαλειφθεί στη Νότια Ευρώπη, ωστόσο παρατηρείται σταδιακή αύξηση των κρουσμάτων. Το γεγονός αυτό, εν μέρει, συνδέεται με την κλιματική αλλαγή και την αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα το κουνούπι που είναι υπεύθυνο για την ελονοσία να επιβιώνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία και ο άνεμος καθορίζουν την κατανομή και τη συχνότητα εμφάνισης κρουσμάτων ελονοσίας. Αυτοί οι παράγοντες διέπουν την κατανομή, τον επιπολασμό, τον ρυθμό ανάπτυξης, τη διάρκεια ζωής και τη συχνότητα σίτισης των κουνουπιών *Anopheles*. Επομένως, η ελονοσία τείνει να εμφανίζεται λιγότερο συχνά σε μεγαλύτερα υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη που εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες (National Research Council (US) Committee on Climate, Ecosystems, Infectious Diseases, and Human Health 2001).

Την τελευταία δεκαετία, η επιδημιολογική επιτήρηση των λοιμωδών νοσημάτων από τον ΕΟΔΥ καταδεικνύει αύξηση των κρουσμάτων της ελονοσίας στην Ελλάδα (σχεδόν κάθε έτος με έναρξη από το 2009), όπως και σε όλη την Ευρώπη, ενώ η νόσος είχε εξαλειφθεί στην Ελλάδα κατόπιν εντατικών προγραμμάτων ελέγχου από το έτος 1974. Πρόσφατη μελέτη επισημαίνει πως η κλιματική αλλαγή επιμηκύνει την περίοδο δράσης των φορέων μετάδοσης της ελονοσίας στη Νοτιοανατολική Ευρώπη (Trájer & Hammer 2018) και αυξάνει την πιθανότητα ανάπτυξης παθογόνων και την πιθανότητα μετάδοσης του πλασμιδίου της ελονοσίας στους ανθρώπους. Ακόμα, μελέτη του Trájer (2020) υποστηρίζει ότι η Ελλάδα λόγω της ιδιαίτερης γεωγραφικής θέσης στη Μεσόγειο, του πλούσιου ανάγλυφου και των διάφορων κλιματικών ζωνών που παρουσιάζει, συμβάλλει στην επανεμφάνιση της ελονοσίας και στην εξάπλωσή της στη Βόρεια Ευρώπη. Η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλο εύρος κλιματικών ζωνών με κύριο κλίμα το εύκρατο με ξηρό και θερμό θέρος (*Csa*). Στη Φλώρινα, στην Κοζάνη και στις Σέρρες το κλίμα χαρακτηρίζεται ως εύκρατο υγρό με θερμό θέρος (*Cfa*) και στην Καβάλα, στη Λάρισα και στην Κεντρική Μακεδονία εμφανίζεται ξηρό ψυχρό κλίμα στέπας (*Bsk*) (ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Επομένως, η επανεμφάνιση της ελονοσίας συνδέεται με δυο παράγοντες σχετικούς με την κλιματική αλλαγή. Πρώτον, η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί τις ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες για την επιβίωση και τη δραστηριότητα του κουνουπιού. Δεύτερον, τα ακραία καιρικά φαινόμενα σε χώρες της Αφρικής και της Ασίας συντελούν στη μετακίνηση των πληθυσμών τους σε νέες περιοχές όπου η νόσος είχε εξαλειφθεί. Στην Εικόνα 2(α) απεικονίζεται ο αριθμός των κρουσμάτων ελονοσίας στην Ελλάδα για τα έτη από το 2015-2018. Είναι εμφανής η αύξηση των κρουσμάτων τους θερινούς μήνες του έτους. Τους μήνες από τον Ιανουάριο έως τον Μάιο (των ετών 2015 έως 2018) τα μηνιαία κρούσματα είναι λιγότερα από 5 και τους μήνες από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο (των ετών 2016 και 2017), τα μηνιαία κρούσματα υπερέβαιναν τα 25.



Εικόνα 2. (α) Κρούσματα ελονοσίας στην Ελλάδα για τα έτη 2015-2018 (β) Κρούσματα λοίμωξης από τον ιό του Δυτικού Νείλου στην Ελλάδα για τα έτη 2017 και 2018 (Πηγή δεδομένων: www.statistics.gr, www.eody.gov.gr).

Δεδομένου ότι η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη δραστηριότητα των κουνουπιών που επικρατούν σε κάθε περιοχή, ένα ακόμα παράδειγμα είναι ο ιός του Δυτικού Νείλου, ο οποίος μεταδίδεται στον άνθρωπο μέσω τσιμπήματος από μολυσμένο κουνούπι (συνήθως του γένους *Culex*, το κοινό αστικό κουνούπι). Η μετάδοση του ιού διευκολύνεται από την κλιματική αλλαγή, κυρίως μέσω της αύξησης του πληθυσμού των κουνουπιών σε λιμνάζοντα νερά στα φρεάτια και σε άλλους χώρους με συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και

υγρασίας. Τα περιστατικά από τον ιό του Δυτικού Νείλου παρουσίασαν αύξηση στις εύκρατες περιοχές της Ευρώπης. Στην Εικόνα 2(b) απεικονίζονται τα κρούσματα της λοίμωξης από τον ιό του Δυτικού Νείλου στην Ελλάδα για τα έτη 2017 και 2018. Είναι εμφανής η σταδιακή αύξηση των κρουσμάτων από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο, όπου και εμφανίζεται η μέγιστη τιμή λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των κουνουπιών, που σχετίζεται με τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες (αυξημένη υγρασία, υψηλή θερμοκρασία, νηνεμία) και ακολουθεί σταδιακή μείωση των κρουσμάτων μέχρι τον Οκτώβριο. Είναι αξιοσημείωτο ότι τους θερινούς μήνες του έτους του 2018 υπήρξε κατακόρυφη αύξηση στα κρούσματα από τον ιό του Δυτικού Νείλου στην Ελλάδα.

Η νόσος Covid-19

Τον Ιανουάριο του 2020 οι υγειονομικές αρχές της Κίνας ανακοίνωσαν την εμφάνιση ενός νέου στελέχους κορωνοϊού¹ (2019-nCoV) που προκάλεσε κατά συρροή κρούσματα πνευμονίας στους κατοίκους της Wuhan στην επαρχία Hubei της Κίνας. Με βάση τα διαθέσιμα επιδημιολογικά δεδομένα, ο κορωνοϊός SARS-CoV-2 κυρίως μεταδίδεται μεταξύ των ανθρώπων, όταν άτομο που είναι φορέας του ιού αναπνέει, μιλάει, βήχει, φτερνίζεται και παράγει σταγονίδια τα οποία περιέχουν τον ιό και αυτά απορρίπτονται στη ατμόσφαιρα (www.cdc.gov).

Όσον αφορά τη γεωγραφική εξάπλωση της νόσου, η νόσος Covid-19 αρχικά εκδηλώθηκε στο Βόρειο Ημισφαίριο στις αρχές του χειμώνα του έτους 2020, σε περιοχές της εύκρατης γεωγραφικής ζώνης. Εν συνεχεία, εξαπλώθηκε ανατολικά και δυτικά της Κίνας σε μία αρχικά αρκετά στενή κλιματική ζώνη εντός των γεωγραφικών πλατών 30°B-50°B. Σε λιγότερο από 4 μήνες ο ιός SARS-CoV-2 εξαπλώθηκε σε όλες τις ηπείρους εκτός της Ανταρκτικής. Το μοτίβο της διάδοσης πιθανώς να αντικατοπτρίζει την εξάρτηση από μετεωρολογικούς και κλιματικούς παράγοντες, αλλά θα μπορούσε εξίσου να αντικατοπτρίζει τα πρότυπα της κινητικότητας των ανθρώπων μέσω των ταξιδιών και του εμπορίου.

Η νόσος Covid-19 ως «η νόσος της Ανθρωπόκαινου Εποχής»

Η νόσος Covid-19, που σαρώνει όλο τον κόσμο, έχει εξεταστεί ως επείγον ζήτημα δημόσιας υγείας και μπορεί να χαρακτηριστεί ως «η νόσος της Ανθρωπόκαινου Εποχής» (O'Callaghan-Gordo & Antó 2020). Με μία απλουστευμένη ερμηνεία του όρου, ως Ανθρωπόκαινος νοείται η γεωλογική εποχή που χαρακτηρίζεται από τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και διαδικασιών στα οικοσυστήματα του πλανήτη. Σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο, η νόσος Covid-19 έχει αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας των κοινωνιών σε παγκόσμια κλίμακα, σε βαθμό που εικάζεται ότι η κανονικότητα της καθημερινής ζωής των ανθρώπων θα αργήσει να επανέλθει. Η παγκόσμια κρίση της νόσου Covid-19 είναι μία έντονη υπενθύμιση των πολύπλοκων δεσμών μεταξύ της μετάδοσης των μολυσματικών ασθενειών και της βιοποικιλότητας. Παράλληλα, η ανθρωπότητα είναι αντιμέτωπη με ζητήματα σημαντικά και επείγοντα, όπως η κλιματική αλλαγή, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η ανθρώπινη δραστηριότητα διαμορφώνει τη βιοποικιλότητα από τότε που άρχισε να εντείνεται η γεωργία και η κτηνοτροφία, αλλάζει τους μηχανισμούς αλληλεπίδρασης μεταξύ των ειδών στους φυσικούς

¹Οι κορωνοϊοί είναι μία ομάδα ιών που συνήθως προκαλούν αναπνευστικές λοιμώξεις, με ποικίλη σοβαρότητα, στους ανθρώπους και στα ζώα (www.eody.gov.gr).

οικοτόπους και τα οικοσυστήματα της Γης (Myers et al. 2013) και διευκολύνει τη μετάδοση μολυσματικών ασθενειών μεταξύ ειδών και ανθρώπων (Patz et al. 2005).

Στην περίπτωση της νόσου Covid-19, το ξέσπασμα του ιού προήλθε από υπαίθρια αγορά στη Γουχάν, όπου άγρια ζώα (αρουραίοι, νυχτερίδες κ.ά.) διατέθηκαν προς πώληση. Η πρώτη ομάδα ασθενών με SARS-CoV-2 στη Γουχάν ήταν ως επί το πλείστον έμποροι σε αυτήν την αγορά. Αυτό το μοτίβο ακολουθεί μία περίπλοκη αλληλουχία γεγονότων που περιλαμβάνει διαταραχή των φυσικών, κοινωνικών, οικονομικών και διακυβερνητικών συστημάτων (Vidal 2020, O'Callaghan-Gordo & Antó 2020). Η αλληλουχία των αιτιών που σχετίζονται με το ξέσπασμα του Covid-19 το 2020 όπως και του SARS το 2003 (Yuan et al. 2006) και του MERS το 2012 (Altamimi & Ahmed, 2020) συνδέονται στενά με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή και τις περιβαλλοντικές διαταραχές της Ανθρωπόκαινου Εποχής. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η αστικοποίηση, η κατασκευή δρόμων, η εξόρυξη, η υλοτομία, το κυνήγι, το εμπόριο και η κατανάλωση άγριων ζώων, καταστρέφουν τη βιοποικιλότητα του πλανήτη και δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εμφάνιση νέων ιών όπως ο ιός SARS-CoV-2 (Vidal 2020, Beyer et al. 2021). Η καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος αλλάζει την αλληλεπίδραση μεταξύ ξενιστών και φορέων μολυσματικών ασθενειών και η αυξημένη επαφή των ανθρώπων με την άγρια φύση εκθέτει τους ανθρώπους σε ζωνοσους (OECD 2020).

Η πανδημία της νόσου Covid-19 ξεχωρίζει μεταξύ των άλλων λόγω της ταχείας εξάπλωσης και μεταδοτικότητάς της μεταξύ των ανθρώπων. Η χωρική και η χρονική μεταβλητότητα της εξάπλωσης του ιού του SARS-CoV-2 δημιουργεί υψηλό αριθμό μολυσμένων ατόμων και θανάτων λόγω των επιπλοκών της νόσου (Coccia 2020). Όμως ενώ τα πρότυπα μετάδοσης της πανδημίας συνδέονται με διαφορετικούς περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες (Bontempi et al. (2020), ελλείπει προστατευτικών μέτρων για τη δημόσια υγεία, οι μετεωρολογικές ή/και κλιματικές συνθήκες δεν μπορούν να περιορίσουν τη διασπορά του SARS-CoV-2 (Paraskevis et al. 2021).

Ιογενείς λοιμώξεις, Covid-19 και ατμοσφαιρική ρύπανση

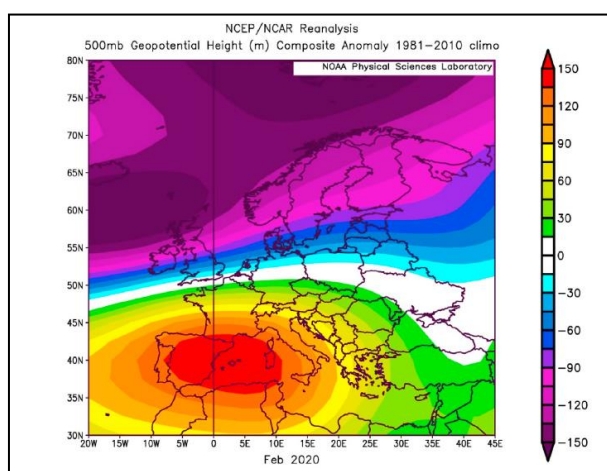
Μελέτες που έχουν διεξαχθεί από τη δεκαετία του 1990 έχουν αποδείξει τις αρνητικές επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία (Hanninen et al. 2014). Οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί, κυρίως, στις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών σωματιδίων (PM_{2.5} και PM₁₀) στις καρδιαγγειακές και αναπνευστικές νόσους (Hoek et al. 2013). Ωστόσο, μελέτες τα τελευταία χρόνια ανέφεραν συσχετίσεις μεταξύ της έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους και των ιογενών λοιμώξεων του αναπνευστικού συστήματος (Chauhan & Johnston 2003, Cieniewicz & Jaspers 2007). Για παράδειγμα, η μελέτη των Chen et al. (2017) αποδεικνύει πως ο ιός της ιλαράς προσκολλάται στα ατμοσφαιρικά σωματίδια και μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις υπό ευνοϊκές μετεωρολογικές συνθήκες και ειδικότερα κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης. Παρόμοια μετάδοση έχει αποδειχθεί ότι έχει και ο ιδιαίτερα παθογόνος ιός της γρίπης των πτηνών (H5N1) που μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις με τη μεταφορά σκόνης (Chen et al. 2010).

Με την ταχεία διασπορά της νόσου Covid-19, συνεχείς και εντατικές μελέτες διερευνούν τη συσχέτιση των αυξημένων επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την έξαρση της νόσου. Ειδικότερα, στη Βόρεια Ιταλία που έχει πληγεί από την νόσο Covid-19 και αποτέλεσε την κύρια εστία εξάπλωσης του ιού SARS-CoV-2 στην Ευρώπη, οι έρευνες εστιάζονται στη Λομβαρδία η οποία είναι μία βαριά βιομηχανική περιοχή με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής

ρύπανσης (Lolli et al. 2020). Οι Frontera et al. (2020) αναφέρουν ότι η ατμόσφαιρα πλούσια σε ατμοσφαιρικούς ρύπους σε συνδυασμό με ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες και την τοπική τοπογραφία, μπορεί να συνεισφέρει σε μακροβιότερη παραμονή των ιογενών σωματιδίων στον αέρα, ευνοώντας έτσι τη διασπορά του ιού. Η υπόθεση βασίζεται σε επιστημονικά δεδομένα από έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί για τη μετάδοση του ιού της γρίπης στο Πεκίνο, όπου η συγκέντρωση των $PM_{2.5}$ στην ατμόσφαιρα είναι σε υψηλά επίπεδα. Τα σωματίδια $PM_{2.5}$ τείνουν να παραμένουν περισσότερο στον αέρα από τα σωματίδια PM_{10} και η μικρή αεροδυναμική τους διάμετρος αυξάνει τις πιθανότητες να διεισδύουν βαθιά στους πνεύμονες.

Είναι επίσης σημαντικό να επισημάνουμε ότι, εκτός από τα ατμοσφαιρικά σωματίδια και οι μετεωρολογικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, αντιπροσωπεύουν βασικούς παράγοντες ανθεκτικότητας και παραμονής των ιών στην ατμόσφαιρα (Chan et al. 2011). Πρόσφατες μελέτες έχουν επισημάνει και διερευνήσει τον ρόλο της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην εξάπλωση της νόσου Covid-19 (He et al. 2021). Οι Sajadi et al. (2020) επισημαίνουν ότι ο ιός SARS-CoV-2 μεταδίδεται πιο αποτελεσματικά σε ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες, με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 5°C - 11°C .

Οι Sanchez-Lorenzo et al. (2021) ισχυρίζονται πως η ασυνήθιστα επίμονη αντικυκλωνική κυκλοφορία (Εικόνα 3) που επικρατούσε στη νοτιοδυτική Ευρώπη τον Φεβρουάριο του 2020 οδήγησε σε μετεωρολογικές συνθήκες στην Ιταλία και στην Ισπανία που ευνόησαν την ταχύτερη εξάπλωση του ιού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες.



Εικόνα 3. Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους (m) στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa για τον Φεβρουάριο του 2020 στην Ευρώπη σε σύγκριση με τον μέσο όρο της χρονικής περιόδου 1981-2010. Ο χάρτης δημιουργήθηκε με Web-based Reanalyses Intercomparison Tools (WRIT) που είναι διαθέσιμα από το NOAA/ESRL Physical Sciences Laboratory, Boulder Colorado στην ιστοσελίδα <http://psl.noaa.gov/> (Πηγή: Sanchez-Lorenzo et al. 2021).

Το κύριο μοτίβο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας τον Φεβρουάριο του 2020 χαρακτηρίστηκε από ένα «ανώμαλο» αντικυκλωνικό σύστημα πάνω από τη λεκάνη της Δυτικής Μεσογείου, στο κέντρο μεταξύ Ισπανίας και Ιταλίας, και χαμηλότερες πιέσεις στη Βόρεια Ευρώπη. Αυτή η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, η οποία παράγει ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες στη νοτιοδυτική Ευρώπη, δημιούργησε τις κατάλληλες μετεωρολογικές συνθήκες για τη διάδοση

του ιού, τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, παράλληλα με την άμεση μετάδοση του ιού με την επαφή των ανθρώπων. Πρέπει να επισημανθεί ότι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία τον Φεβρουάριο του 2020 βοήθησε στη διαμόρφωση του χωρικού μοτίβου της εκδήλωσης της νόσου κατά τα πρώτα στάδια της πανδημίας στην Ευρώπη, όταν οι στρατηγικές δημόσιας υγείας δεν ήταν ακόμη σε πλήρη ισχύ στις ευρωπαϊκές χώρες (Sanchez-Lorenzo et al. 2021).

Συμπεράσματα

Η σύγχρονη γεωλογική εποχή ονομάζεται Ανθρωπόκαινος σε αναγνώριση της παγκόσμιας κυριαρχίας του *Homo sapiens* στη Γη (McMichael 2013). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες προκαλούν μεγάλης κλίμακας περιβαλλοντικούς κινδύνους, όπως η υποβάθμιση και η μόλυνση του εδάφους, η ρύπανση των υδάτων και του ατμοσφαιρικού αέρα, ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων και η απώλεια βιοποικιλότητας, οδηγώντας στην κλιματική αλλαγή (McMichael 2013). Η κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα και τον σύγχρονο τρόπο ζωής που χαρακτηρίζεται από την αναποτελεσματική διαχείριση και την αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων της Γης, αποτελούν τους βασικούς λόγους διατάραξης της υγείας και της ευημερίας των ανθρώπων (Sunyer et al. 2021). Οι άνθρωποι επεμβαίνουν στα οικοσυστήματα και στην άγρια ζωή και αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης ζωνοσόων λόγω της καταστροφής και του κατακερματισμού των ενδιαιτημάτων, δημιουργώντας πρόσφορο έδαφος για την εμφάνιση νέων μολυσματικών ασθενειών και την επανεμφάνιση νόσων που είχαν εξαλειφθεί. Η εμφάνιση πολλών μολυσματικών νοσημάτων, όπως η ελονοσία, και τα αερογενώς μεταδιδόμενα νοσήματα, όπως η γρίπη και ο Covid-19, υποβοηθούνται από κλιματικούς, μετεωρολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η κλιματική αλλαγή έχει έμμεσες επιπτώσεις στην εμφάνιση ασθενειών, καθώς επηρεάζει τις κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες και τα συστήματα δημόσιας υγείας (Ogden & Gachon 2019) και προκαλεί μετανάστευση των πληθυσμών.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

Επιστημονική Συμβουλευτική Ομάδα της Συνόδου Κορυφής του ΟΗΕ για το κλίμα (2019) «Ενωμένοι στην Επιστήμη». Διαθέσιμο: http://www.emy.gr/emypdf/United_in_Science.

Σαρόγλου Γ. (2018) Λοιμώδη νοσήματα από διαβιβαστές, 2^ο Μετεκπαιδευτικό Σεμινάριο Παιδιατρικής, 24 Νοεμβρίου 2018, Αθήνα.

II. Ξενόγλωσση

Altamimi, A., Ahmed, A.E. (2020). Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Journal of Infection and Public Health*, Vol. 13, Issue 5, pp. 704-708.

Audi, A., AlIbrahim, M., Kaddoura, M., Hijazi, G., Yassine, H.M., Zaraket, H. (2020). Seasonality of Respiratory Viral Infections: Will COVID-19 Follow Suit? *Frontiers in Public Health*, Vol. 8, Article 567184.

- Beyer, R.M., Manica, A., Mora, C. (2021). Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2. *Science of the Total Environment*, Vol. 767, Article 145413.
- Bontempi, E., Vergalli, S., Squazzoni, F. (2020). Understanding COVID-19 diffusion requires an interdisciplinary, multi-dimensional approach. *Environmental Research*, Vol. 188, Article 109814.
- Chauhan, A.J., Johnston, S.L. (2003). Air pollution and infection in respiratory illness. *British Medical Bulletin*, Vol. 68, No. 1, pp. 95–112.
- Chan, K.H., Peiris, J.S., Lam, S.Y., Poon, L.L., Yuen, K.Y., Seto, W.H. (2011). The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. *Advances in Virology*, Vol. 2011, Article 734690.
- Chen, P.S., Tsai, F.T., Lin, C.K., Yang, C.Y., Chan, C.C., Young, C.Y., Lee, C.H. (2010). Ambient influenza and avian influenza virus during dust storm days and background days. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 118, No. 9, 1211–1216.
- Chen, G., Zhang, W., Li, S., Williams, G., Liu, C., Morgan, G.G., Jaakkola, J., Guo, Y. (2017). Is short-term exposure to ambient fine particles associated with measles incidence in China? A multi-city study. *Environmental Research*, Vol. 156, pp. 306–311.
- Chua, K.B. (2003). Nipah virus outbreak in Malaysia. *Journal of clinical virology: the official publication of the Pan American Society for Clinical Virology*, Vol. 26, No. 3, pp. 265–275.
- Ciencewicki, J., Jaspers, I. (2007). Air pollution and respiratory viral infection. *Inhalation Toxicology*, Vol. 19, No.14, pp. 1135–1146.
- Coccia, M. (2020). Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. *Science of the Total Environment*, Vol. 729, 138474.
- Cui, Y., Zhang, Z.F., Froines, J., Zhao, J., Wang, H., Yu, S.Z., Detels, R. (2003). Air pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study. *Environmental Health*, Vol. 2, No. 1, Article 15.
- Dockery, D.W., Pope, C.A., 3rd, Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G.Jr, Speizer, F.E. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, Vol. 329, No. 24, pp. 1753–1759.
- Engelthaler, D.M., Mosley, D.G., Cheek, J.E., Levy, C.E., Komatsu, K.K., Ettestad, P., Davis, T., Tanda, D.T., Miller, L., Frampton, J.W., Porter, R., Bryan, R.T. (1999). Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 5, No. 1, pp. 87–94.
- Fisman, D. (2012). Seasonality of viral infections: mechanisms and unknowns. *Clinical microbiology and infection: the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*, Vol. 18, No. 10, pp. 946–954.
- Frontera, A., Martin, C., Vlachos, K., Sgubin, G. (2020). Regional air pollution persistence links to COVID-19 infection zoning. *The Journal of Infection*, Vol. 81, No. 2, pp. 318–356.
- Gaythorpe, K.A., Hamlet, A., Cibrelus, L., Garske, T., Ferguson, N.M. (2020). The effect of climate change on yellow fever disease burden in Africa. *eLife*, 9, e55619.
- Giatropoulos, A., Emmanouel, N., Koliopoulos, G., Michaelakis, A. (2012). A study on distribution and seasonal abundance of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)

- population in Athens, Greece. *Journal of Medical Entomology*, Vol. 49, Issue 2, pp. 262–269.
- Hänninen, O., Knol, A.B., Jantunen, M., Lim, T.A., Conrad, A., Rappolder, M., Carrer, P., Fanetti, A.C., Kim, R., Buekers, J., Torfs, R., Iavarone, I., Classen, T., Hornberg, C., Mekel, O.C., & EBoDE Working Group (2014). Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 122, No. 5, pp. 439–446.
- He, Z., Chin, Y., Yu, S., Huang, J., Zhang, C., Zhu, K., Azarakhsh, N., Sheng, J., He, Y., Jayavanth, P., Liu, Q., Akinwunmi, B.O., Ming, W.K. (2021). The influence of average temperature and relative humidity on new cases of COVID-19: Time-series analysis. *JMIR Public Health and Surveillance*, Vol. 7, No. 1, e20495.
- Hoek, G., Krishnan, R.M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., Kaufman, J.D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, Vol. 12, Article 43.
- Hoshen, M.B., Morse, A.P. (2004). A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal*, Vol. 3, No. 32.
- Kuhn K, Campbell-Lendrum D, Haines A, Cox J (2005). Using Climate to Predict Infectious Disease Epidemics. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Lolli, S., Chen, Y.C., Wang, S.H., Vivone, G. (2020). Impact of meteorological conditions and air pollution on COVID-19 pandemic transmission in Italy. *Scientific Reports*, Vol., Article 16213.
- Lytras, T., Pantavou, K., Mouratidou, E., Tsiodras, S. (2019). Mortality attributable to seasonal influenza in Greece, 2013 to 2017: variation by type/subtype and age, and a possible harvesting effect. *Euro Surveillance*, Vol. 24, No. 14: pii=1800118.
- Martinez, M.E. (2018) The calendar of epidemics: Seasonal cycles of infectious diseases. *PLoS Pathogens*, Vol. 14, No. 11: e1007327.
- McMichael, A.J. (1993). Planetary overload: global environmental changes and health of the human species. Cambridge UP; 1993.
- McMichael, A.J. (2013). Globalization, climate change, and human health. *The New England Journal of Medicine*, Vol. 368, No. 14, pp. 1335-1343.
- McNeely, J.A. (2021). Nature and COVID-19: The pandemic, the environment, and the way ahead. *Ambio*, Vol. 50, No. 4, pp. 767–781.
- Mordecai, E.A., Ryan, S.J., Caldwell, J.M., Shah, M.M., LaBeaud, A.D. (2020). Climate change could shift disease burden from malaria to arboviruses in Africa. *The Lancet. Planetary Health*, Vol. 4, No. 9, pp. e416–e423.
- Murdock, C.C., Evans, M.V., McClanahan, T.D., Miazgowicz, K.L., Tesla, B. (2017). Fine-scale variation in microclimate across an urban landscape shapes variation in mosquito population dynamics and the potential of *Aedes albopictus* to transmit arboviral disease. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, Vol. 11, No. 5: e0005640.
- Myers, S.S., Gaffikin, L., Golden, C.D., Ostfeld, R.S., Redford, K.H., Ricketts, T.H., Turner, W.R., Osofsky, S.A. (2013). Human health impacts of ecosystem alteration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 110, No. 47, pp. 18753–18760.
- National Research Council (US) Committee on Climate, Ecosystems, Infectious Diseases, and Human Health. Under the Weather: Climate, Ecosystems, and Infectious Disease. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001.

- OECD (2020), "Environmental health and strengthening resilience to pandemics", OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), OECD Publishing, Paris.
- O'Callaghan-Gordó, C., Antó, J.M. (2020) COVID-19: The disease of the anthropocene. *Environmental Research*, Vol. 187, Article 109683.
- Ogden, N.H., and Gachon, P. (2019). Climate change and infectious diseases: What can we expect? *Canada Communicable Disease Report*, Vol. 45, No. 4, pp. 76–80.
- Pampana, E. (1969). *A Textbook of Malaria Eradication*. 2nd edition. London: Oxford University Press.
- Paraskevis, D., Kostaki, E.G., Alygizakis, N., Thomaidis, N.S., Cartalis, C., Tsiodras, S., Dimopoulos, M.A. (2021). A review of the impact of weather and climate variables to COVID-19: In the absence of public health measures high temperatures cannot probably mitigate outbreaks. *Science of the Total Environment*, Vol. 768, Article 144578.
- Patz, J.A., Confalonieri, E.C., Amerasinghe, F.P., Chua, K.B., Daszak, P., Hyatt, A.D., Molyneux, D., Thomson, M., Yameogo, L., Lazaro, M.M., Vasconcelos, P., Rubio-Palis, Y., Campbell-Lendrum, D., Jaenisch, T., Mahamat, H., Mutero, C., Walter-Toews, D., Whiteman, C. (2005). Human health: ecosystem regulation of infectious diseases. In: Hassan, R.; Scholes, R.; Ash, N. eds, editor/s. *Ecosystems and human well-being: current state and trends volume 1*. Washington, USA: Island Press; 2005. 391-415.
- Rugarabamu, S., Mboera, L., Rweyemamu, M., Mwanyika, G., Lutwama, J., Paweska, J., Misinzio, G. (2020). Forty-two years of responding to Ebola virus outbreaks in Sub-Saharan Africa: a review. *BMJ Global Health*, Vol. 5, No. 3, e001955.
- Sajadi, M.M., Habibzadeh, P., Vintzileos, A., Shokouhi, S., Miralles-Wilhelm, F., Amoroso, A. (2020). Temperature, humidity, and latitude analysis to estimate potential spread and seasonality of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA Network Open*, Vol. 3, No. 6, e2011834.
- Sanchez-Lorenzo, A., Vaquero-Martínez, J., Calbó, J., Wild, M., Santurtún, A., Lopez-Bustins, J.A., Vaquero, J.M., Folini, D., Antón, M. (2021). Did anomalous atmospheric circulation favor the spread of COVID-19 in Europe? *Environmental Research*, Vol. 194, 110626.
- Sunyer, J., Dadvand, P., Foraster, M., Gilliland, F., Nawrot, T. (2021). Environment and the COVID-19 pandemic. *Environmental Research*, Vol. 195, 110819.
- Trájer, A.J. (2020). The changing risk patterns of *Plasmodium vivax* malaria in Greece due to climate change. *International Journal of Environmental Health Research* (in press).
- Trajer, A.J., Hammer T. (2018). Expected changes in the length of *Anopheles maculipennis* (Diptera: culicidae) larva season and the possibility of the re-emergence of malaria in Central and Eastern Europe and the North Balkan region. *Időjaras*. Vol. 122, No. 2, pp. 159–176.
- Tran, B. L., Tseng, W.C., Chen, C.C., Liao, S.Y. (2020). Estimating the Threshold Effects of Climate on Dengue: A Case Study of Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17, No. 4, 1392.
- Vidal, J. (2020). Destruction of habitat and loss of biodiversity are creating the perfect conditions for diseases like COVID-19 to emerge. ENSIA. Available: <https://ensia.com/features/covid-19-coronavirus-biodiversity-planetary-health-zoonoses/>

- Watts N., Amann M., Arnell N. et al. (2021). The 2020 report of The Lancet countdown on health and climate change: responding to converging crises. *Lancet*, Vol. 397, No. 10269, pp. 129-170.
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, Vol. 86, pp. 14–23.
- Yuan, J., Yun, H., Lan, W., Wang, W., Sullivan, S.G., Jia, S., Bittles, A.H. (2006). A climatologic investigation of the SARS-CoV outbreak in Beijing, China. *American Journal of Infection Control*, Vol. 34, No. 4, pp. 234–236.

III. Επίσημες Ιστοσελίδες

www.cdc.gov Centers for Disease Control and Prevention (CDC)

www.ecdc.europa.eu European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC)

www.eody.gov.gr Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας (ΕΟΔΥ)

www.public.wmo.int World Meteorological Organization (WMO)

www.statistics.gr Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ)

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΔΑΣΙΚΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Χριστόδουλος Νταούτης

MSc Δασολόγος-Περιβαλλοντολόγος

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: chrintao@hotmail.gr

Αλέξανδρος Ευταξίας

Δρ Μηχανικός Περιβάλλοντος ΔΠΘ

E-mail: aleeftaxias@gmail.com

Βασίλειος Διαμαντής

Δρ Μηχανικός Περιβάλλοντος ΔΠΘ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Πολυτεχνική Σχολή

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: bdiamant@env.duth.gr

Απόστολος Κανταρτζής

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: apkantar@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τακτική απομάκρυνση της δασικής βιομάζας εκατέρωθεν δασικών δρόμων είναι απαραίτητη για την πρόληψη των πυρκαγιών. Στην παρούσα εργασία αξιολογήσαμε την ποσότητα των πευκοβελόνων που απαντάται στον δασικό τάπητα και τις φρέσκες βελόνες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια εργασιών κλαδέματος πεύκων σε ένα μεσογειακό δάσος *Pinus* χαμηλού υψομέτρου. Δείγματα βελόνων υποβλήθηκαν σε αναερόβια χώνευση σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου, προκειμένου να προσδιοριστεί το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Οι ξηρές βελόνες χαρακτηρίζονται από πάχος μεταξύ 3 και 7 cm, φαινομενική πυκνότητα 400-600 g/m² και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (12%). Οι φρέσκες βελόνες που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια εργασιών κλαδέματος (μέχρι το ύψος των 3 m) ήταν της τάξης των 2,5-3,0 kg/δέντρο, με περιεκτικότητα υγρασίας μεταξύ 44-54%. Οι βελόνες πεύκων χαρακτηρίζονται από δυναμικό παραγωγής βιοαερίου της τάξης των 120-140 L/kg πτητικών στερεών. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας καταδεικνύουν ότι είναι δυνατή η

παραγωγή περίπου 500 m³ βιοαερίου ανά χιλιόμετρο δασικής οδού, όταν η συλλεγόμενη βιομάζα διατεθεί σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης.

Λέξεις κλειδιά: Αναερόβια χώνευση, βιοαέριο, υπολείμματα δασών, δασικός δρόμος

Εισαγωγή

Ο άνθρωπος από την αρχαιότητα χρησιμοποιεί το ξύλο τόσο για κατασκευή εργαλείων όσο και για θέρμανση και μαγείρεμα. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξημένη ζήτηση για παραγωγή ενέργειας από πηγές ανεξάντλητες/ανανεώσιμες, για την κάλυψη των αναγκών του και την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Η δασική βιομάζα αποτελεί έναν ανανεώσιμο πόρο που, με σωστή διαχείριση, μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας, με σκοπό την αποδέσμευση από τα ορυκτά καύσιμα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Η βιομάζα περιλαμβάνει υπολείμματα ξύλου και γεωργικών καλλιεργειών, καθώς επίσης και αστικά στερεά απόβλητα, ζωικά απόβλητα, υπολείμματα από την επεξεργασία τροφίμων, υδρόβια φυτά και φύκια. Η μετατροπή της βιομάζας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε με χημική αποσύνθεση είτε με βιολογική χώνευση (Demirbas 2001). Η ενέργεια που παράγεται από την αξιοποίηση της βιομάζας αποτελεί μία βιώσιμη επιλογή, αλλά μόνο εφόσον χρησιμοποιείται σε πολύ περιορισμένο βαθμό. Άλλωστε, η ποσότητα ενέργειας που δύναται να εξοικονομηθεί από τη χρήση βιοκαυσίμων δεν είναι απαραίτητα μεγαλύτερη από την ποσότητα που απαιτείται για την παραγωγή τους (Abbasi & Abbasi 2010). Η δασική βιομάζα θεωρείται δυνητική πρώτη ύλη για την ικανοποίηση των αναγκών σε ανανεώσιμη βιοενέργεια. Έχει ως πλεονέκτημα τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Επίσης, η παραγωγή βιοενέργειας από δασική βιομάζα χαρακτηρίζεται από μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Creutzig et al. 2015). Η απομάκρυνση της δασικής βιομάζας μπορεί να συμβάλει στη μείωση των δασικών πυρκαγιών (Mason et al. 2006). Τα καύσιμα που προέρχονται από την αξιοποίηση της βιομάζας θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ειδικά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οξειδίων του αζώτου και οξειδίων του θείου (Agbor et al. 2014). Η χρήση ενέργειας από βιομάζα προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη, μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της όξινης βροχής, της διάβρωσης του εδάφους, της ρύπανσης των υδάτων, καθώς επίσης και στην ορθολογικότερη διαχείριση των δασών (Demirbas 2005). Για όλους αυτούς τους λόγους, η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική για την αξιοποίηση της δασικής βιομάζας (Rao et al. 2010). Το κόστος παραγωγής ενέργειας από ξύλο ανταγωνίζεται την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και του πετρελαίου. Τα καύσιμα που προέρχονται από το ξύλο μπορούν να ανταγωνιστούν την τιμή του βαρέως πετρελαίου, στην περίπτωση που η μεταφορά τους γίνεται σε απόσταση έως 50 km (Goltsev et al. 2010). Η χρήση καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές στη βιομηχανία προσφέρει όχι μόνο οικολογικά αλλά και οικονομικά οφέλη. Τα οικονομικά οφέλη σχετίζονται με τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, καθώς και τη μείωση των αντίστοιχων εισαγωγών. Η χρήση γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων για καύση σχετίζεται με χαμηλές εκπομπές επιβλαβών ενώσεων, σε αντίθεση με την καύση ορυκτών καυσίμων (Demirbas 2005).

Αξιοποίηση πευκοβελόνων

Οι βελόνες των πεύκων πέφτουν συνεχώς από τα δέντρα και αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλου καλύμματος στη δασική επιφάνεια. Επίσης, με την πτώση τους στο έδαφος, δημιουργείται μεγάλος κίνδυνος το καλοκαίρι για πρόκληση πυρκαγιάς. Από την άλλη, οι βελόνες των πεύκων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και συνεπώς το πρόβλημα αυτό να μειωθεί. Η αξιοποίηση της δασικής βιομάζας μπορεί να γίνει όχι μόνο από τον τάπητα αλλά και από τις κλαδεύσεις πεύκων στα πρανή των δασικών δρόμων. Οι κλαδεύσεις των πεύκων αποσκοπούν στην αύξηση της απόστασης της κόμης από την επιφάνεια, έτσι ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος μία έρπουσα πυρκαγιά να μετατραπεί σε επικόρυφη.

Η απομάκρυνση, όμως, ολόκληρου του δέντρου μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα των πρανών, γιατί το ριζικό σύστημα συγκρατεί το έδαφος και αποτελεί μέτρο πρόληψης για τις κατολισθήσεις (Emadi-Tafti 2021). Η βλάστηση έχει την ιδιότητα να προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση, ενώ παράλληλα μειώνει την επιφανειακή απορροή από τους δρόμους (Puigdefabregas 2005). Επίσης, σύμφωνα με τους Bochet et al. (1998), η βλάστηση προστατεύει την αποκόλληση του εδάφους, καθώς και τη συμπίεσή του, που μπορεί να προκληθεί από τη βροχόπτωση. Η βλάστηση που βρίσκεται στις πλαγιές είναι πολύτιμη για τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους (Lavee et al. 1998).

Ο σχεδιασμός δασικών δρόμων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την τοποθεσία, τις συνθήκες εδάφους και τη χρήση εξειδικευμένων τεχνολογιών και δραστηριοτήτων διαχείρισης. Το κλάδεμα των δέντρων είναι απαραίτητο στις πλαγιές του δρόμου, διότι η πλήρης απομάκρυνση της βλάστησης μπορεί να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στη διάβρωση του εδάφους και την απορροή (Calvo et al. 2003). Σύμφωνα με τους Liu et al. (2014), η βλάστηση, εκτός από την πρόληψη της απώλειας εδάφους και της απορροής, αυξάνει, επίσης, την αντοχή του εδάφους. Ωστόσο, η κατασκευή δρόμων μπορεί συχνά να οδηγήσει σε πλαγιές που δεν έχουν βλάστηση, οπότε δεν προστατεύονται από το νερό της βροχής (Grace 2002).

Παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης από πευκοβελόνες

Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, μπορεί με χημική κατεργασία να μετατραπεί σε σάκχαρα και περαιτέρω σε βιοκαύσιμα (Behera et al. 2014). Οι βελόνες πεύκου έχουν περισσότερο από 50% κυτταρίνη και ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτοπολτού και χαρτιού (Lal et al. 2013). Η υψηλή τους περιεκτικότητα σε κυτταρίνη τις καθιστά κατάλληλες και για την παραγωγή βιοαερίου. Η σύνθεσή τους περιλαμβάνει κυρίως κυτταρίνη (41-68%) και λιγνίνη (22-31%) (Ghosh & Ghosh 2011).

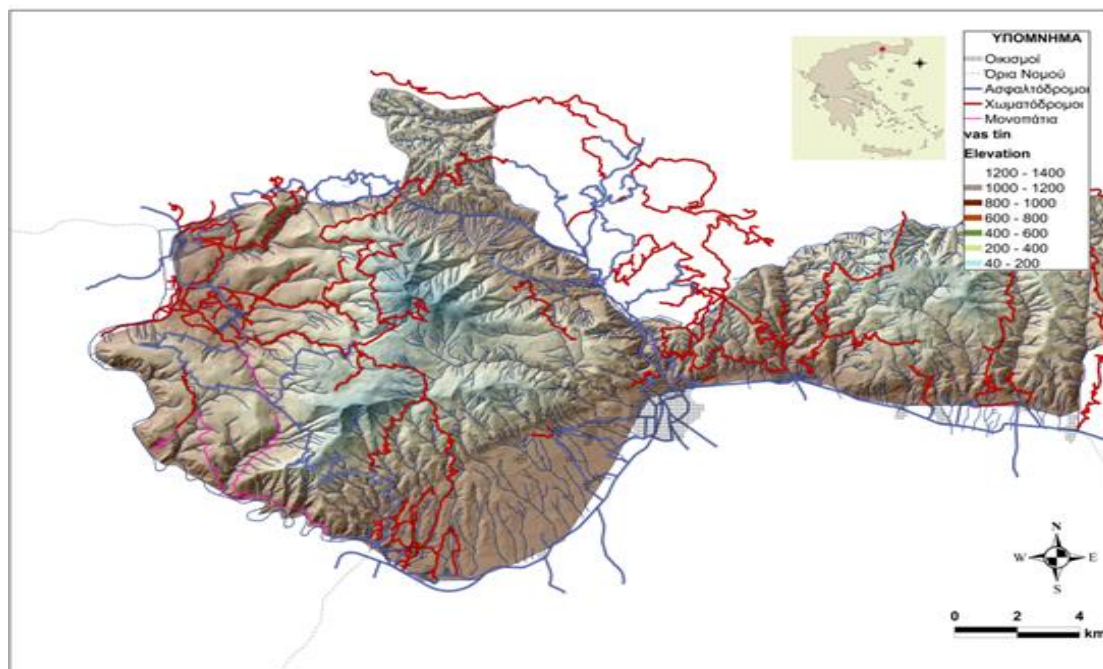
Η ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που παράγεται με αξιοποίηση του βιοαερίου είναι φιλική προς το περιβάλλον (Iglinski et al. 2012). Σύμφωνα με τους Dwivedi et al. (2016), οι βελόνες των πεύκων, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, μπορούν να μετατραπούν σε βιοαέριο. Η δασική βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης (Mahajan et al. 2019, Dwivedi et al. 2016). Ωστόσο, τα δεδομένα σχετικά με το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου από βελόνες πεύκου είναι γενικά λιγοστά στη βιβλιογραφία. Σε μια προηγούμενη εργασία, οι φρέσκες βελόνες πεύκου υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου και πέτυχαν δυναμικό παραγωγής μεθανίου της τάξης των 213 mL/g πτητικών στερεών (VS)

(Matsakas et al. 2016). Αντιθέτως, οι αποξηραμένες βελόνες πεύκων που λαμβάνονται από τον δασικό τάπητα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού έδειξαν αμελητέα παραγωγή βιοαερίου, όταν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία υπό θερμοφίλες συνθήκες (Mahajan et al. 2019, Dwivedi et al. 2016).

Σε αυτή την εργασία, γίνεται προσδιορισμός της ποσότητας των βελόνων πεύκων (α) που συσσωρεύονται στον δασικό τάπητα και (β) αυτών που προκύπτουν μετά το κλάδεμα των πεύκων γειτονικά των δασικών δρόμων, σε ένα μεσογειακό δάσους *Pinus χαμηλού* υψομέτρου. Ακολούθως, τα συλλεχθέντα υλικά υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σε αναερόβιο χώνευτή εργαστηριακής κλίμακας, για τον προσδιορισμό του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου. Από τα παραπάνω δεδομένα, έγινε υπολογισμός της ποσότητας βιοενέργειας που μπορεί να παραχθεί ανά km δασικής οδού, εάν η απομακρυνόμενη βιομάζα διατεθεί σε εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης.

Περιοχή μελέτης

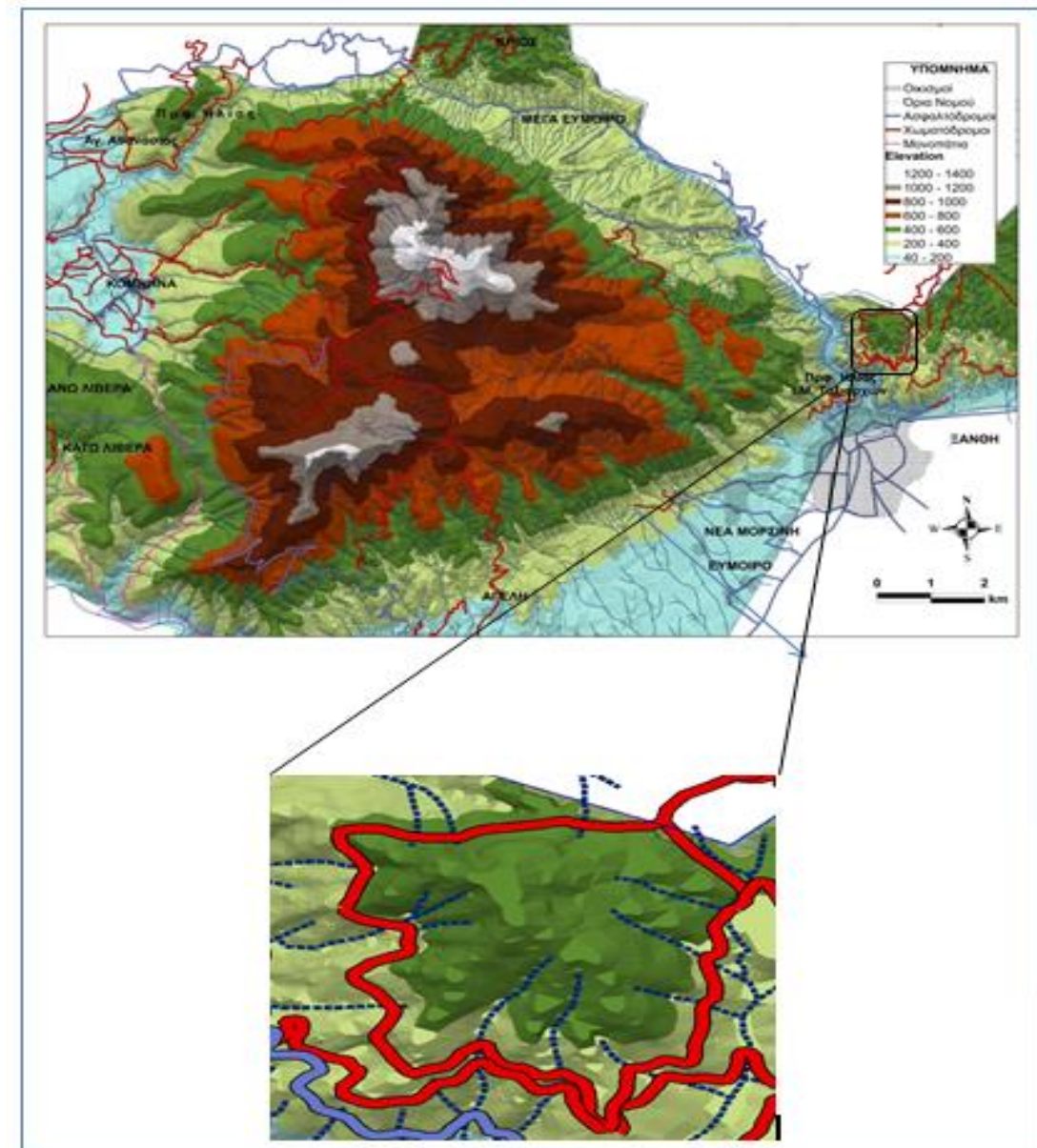
Περιοχή μελέτης αποτέλεσε το δημόσιο δασικό σύμπλεγμα "ΓΕΡΑΚΑ - ΞΑΝΘΗΣ - ΚΙΜΜΕΡΙΩΝ", το οποίο εκτείνεται από τα δυτικά του Νομού Ξάνθης, με όριο τον ποταμό Νέστο, στο ύψος των Στενών του Νέστου (Τοξότες), ως τα ανατολικά όρια του Νομού, με τον Νομό Ροδόπης (Σούνιο). Εκτείνεται μεταξύ $41^{\circ} 12' 44''$ και $41^{\circ} 05' 10''$ βόρειου γεωγραφικού πλάτους και $01^{\circ} 03' 50''$ και $01^{\circ} 22' 35$ ανατολικού γεωγραφικού μήκους, από τον μεσημβρινό των Αθηνών. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 60 έως 1402 m (μέσο υψόμετρο 600 m) και η κλίση του εδάφους μεταξύ 5% και 80% (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης.

Το δασικό σύμπλεγμα είναι χωρισμένο σε 101 τμήματα, τα οποία περιλαμβάνουν 247 συστάδες. Τα πεύκα καταλαμβάνουν 88,2745 ha, τα οποία αντιστοιχούν σε 9 συστάδες, με

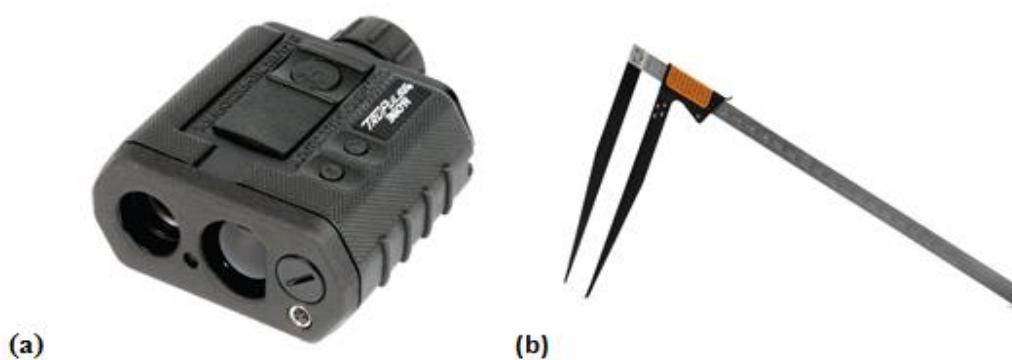
κυριαρχία της πεύκης που προήλθε από τεχνητές αναδασώσεις (περιαστικό δάσος Ξάνθης). Το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου είναι 61,760 km, από τα οποία κατηγορίας Α' είναι τα 6,000 km, κατηγορίας Β' τα 1,700 km και κατηγορίας Γ' τα 54,060 km. Το οδικό δίκτυο που πραγματοποιήθηκαν οι κλαδεύσεις είναι κατηγορίας Γ', μήκους 5 km, με μέσο πλάτος καταστρώματος 7,95 m και μέση κλίση οδοστρώματος 9%. Οι κλίσεις των πρανών στα ανάντη κυμαίνονται από 7% έως 35% και στα κατόντη από 25% έως 60%. Οι τάφροι έχουν μέσο ύψος 0,60 m και μέσο βάθος 0,87 m. Στον συγκεκριμένο δασικό δρόμο δεν παρατηρήθηκαν μικρά τεχνικά έργα, όπως οχετοί και μικρού μήκους γέφυρες.



Εικόνα 2. Απεικόνιση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης και το οδικό δίκτυο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι κλαδεύσεις της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 3. Φωτογραφία από τον δασικό δρόμο που πραγματοποιήθηκαν οι κλαδεύσεις.



Εικόνα 4. Φωτογραφική απεικόνιση (a) της πυξίδας κλισίμετρου και (b) παχύμετρου που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Υλικά και Μέθοδοι

Τα δέντρα που επιλέχθηκαν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων βρίσκονται στα ανάντη και στα κατόντη του δασικού δρόμου. Καταμετρήθηκαν 1186 δέντρα πεύκης 5 m στα ανάντη και στα κατόντη του δασικού δρόμου. Το ύψος των δέντρων προσδιορίστηκε με πυξίδα

κλισίμετρου (LTI TruPulse 360 R) και η στηθαία διάμετρός τους σε ύψος 1,30 m με παχύμετρο (Εικόνα 4).

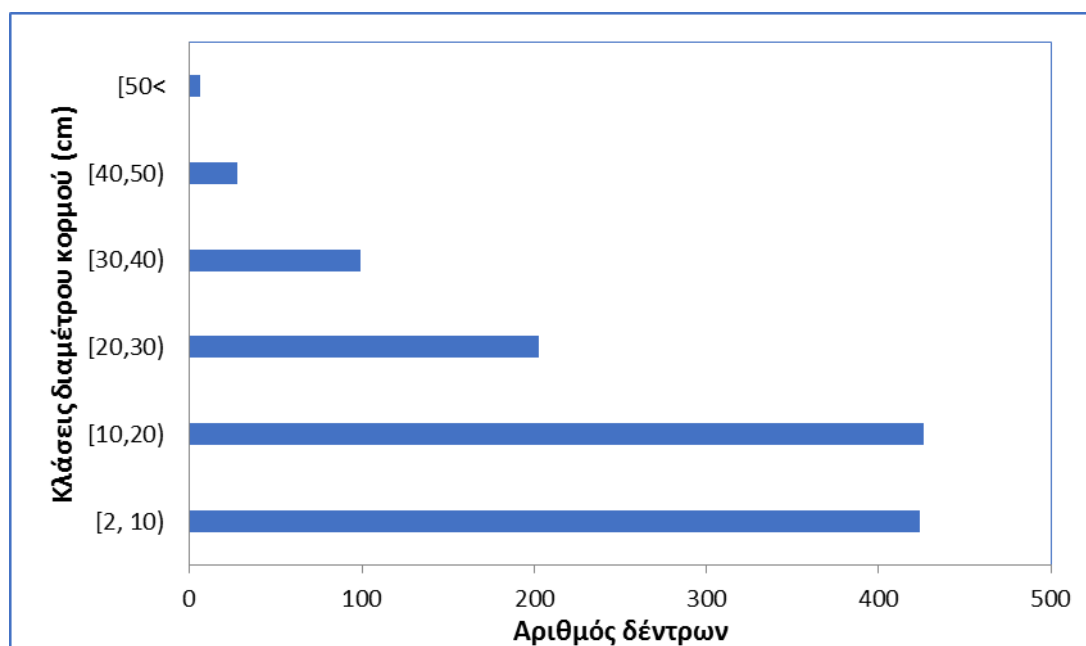
Τα δέντρα διαχωρίστηκαν σε 6 κλάσεις (<10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 και >50 cm) ανάλογα με το πάχος του κορμού. Πραγματοποιήθηκαν κλαδεύσεις δέντρων με τηλεσκοπικό κλαδευτήρι, μέχρι το ύψος των 3 m. Δείγματα φρέσκων και ξηρών βελόνων πεύκου τροφοδοτήθηκαν σε αναερόβιους χωνευτές διαλείποντος έργου (Εικόνα 5). Όλα τα δείγματα αλέστηκαν πριν τη χρήση. Οι αναερόβιοι χωνευτές είχαν λειτουργικό όγκο 150 mL και διατηρήθηκαν σε μεσοφιλικές συνθήκες (39° C). Οι αντιδραστήρες εμβολιάστηκαν με μεθανιογόνο βιομάζα από εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης πλήρους κλίμακας, η οποία χρησιμοποιείται για επεξεργασία κοπριάς αγελάδων γαλακτοπαραγωγής και ενσύρωμα καλαμποκιού. Η σύσταση του εμβολιάσματος ήταν: ολικά στερεά (TS) = 35 g/L, πτητικά στερεά (VS) = 22 g/L, pH = 7,82, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) = 25 mS/cm, PO₄-P = 83 mg/L, NH₄-N = 2400 mg/L. Κάθε αναερόβιος χωνευτής πληρώθηκε με 150 mL εμβολιάσματος και 0,45 g VS, που αντιστοιχεί σε λόγο υποστρώματος προς εμβολίασμα ίσο με 0,14 (βάση των VS). Όλα τα δείγματα χωνεύτηκαν εις διπλούν. Οι αντιδραστήρες ξεπλύθηκαν με αέριο άζωτο για 3 min, με στόχο την απομάκρυνση του οξυγόνου και τη διατήρηση αναερόβιων συνθηκών.



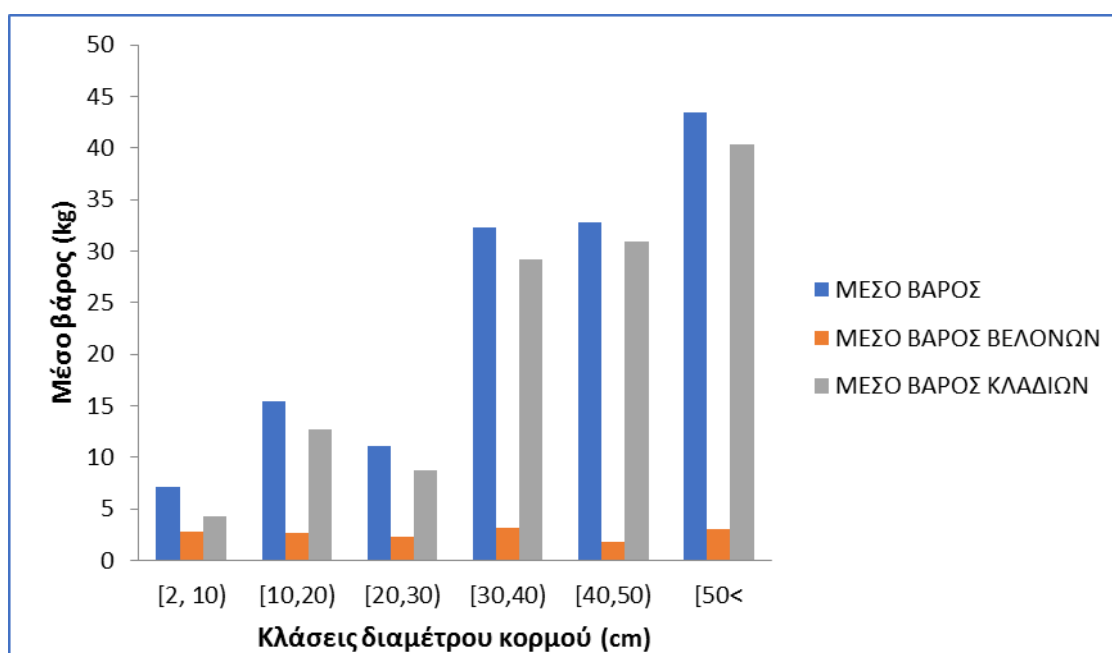
Εικόνα 5. Φωτογραφική απεικόνιση των αντιδραστήρων παραγωγής βιοαερίου στο Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων του ΔΠΘ.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Καταμετρήθηκαν 1186 δέντρα στα ανάντη και στα κατόντη του δασικού δρόμου, συνολικού μήκους 5000 m. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα περισσότερα δέντρα ανήκουν στην κλάση [10,20], με συνολικό αριθμό δέντρων 426, ακολουθεί η κλάση [2,10], με 424 δέντρα. Η κλάση με τα λιγότερα δέντρα είναι η $[>50]$, με μόλις 6 δέντρα (Εικόνα 6).

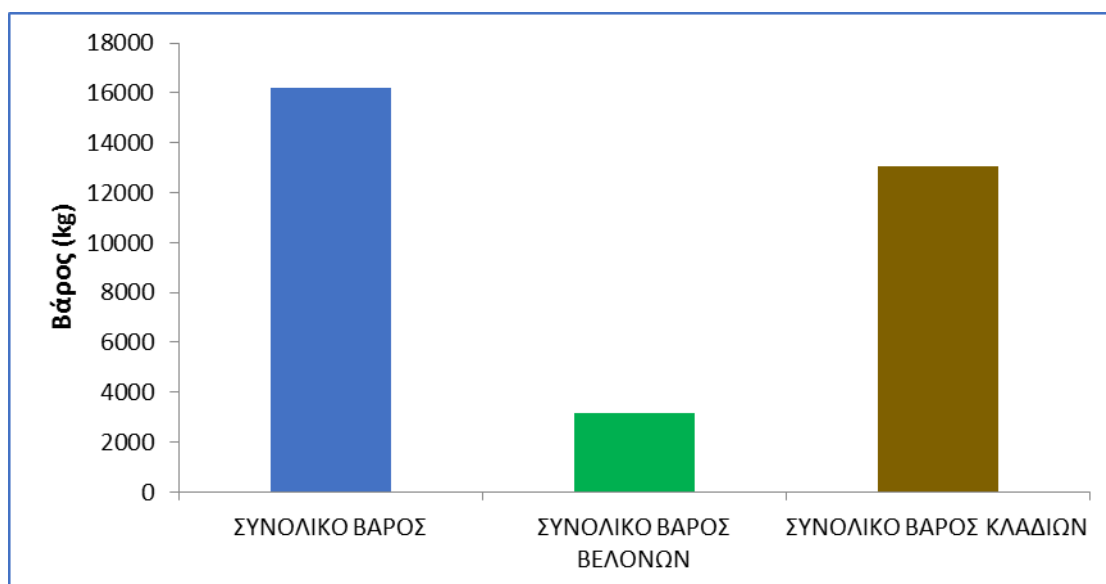


Εικόνα 6. Αριθμός δέντρων ανά κλάση στην περιοχή μελέτης.



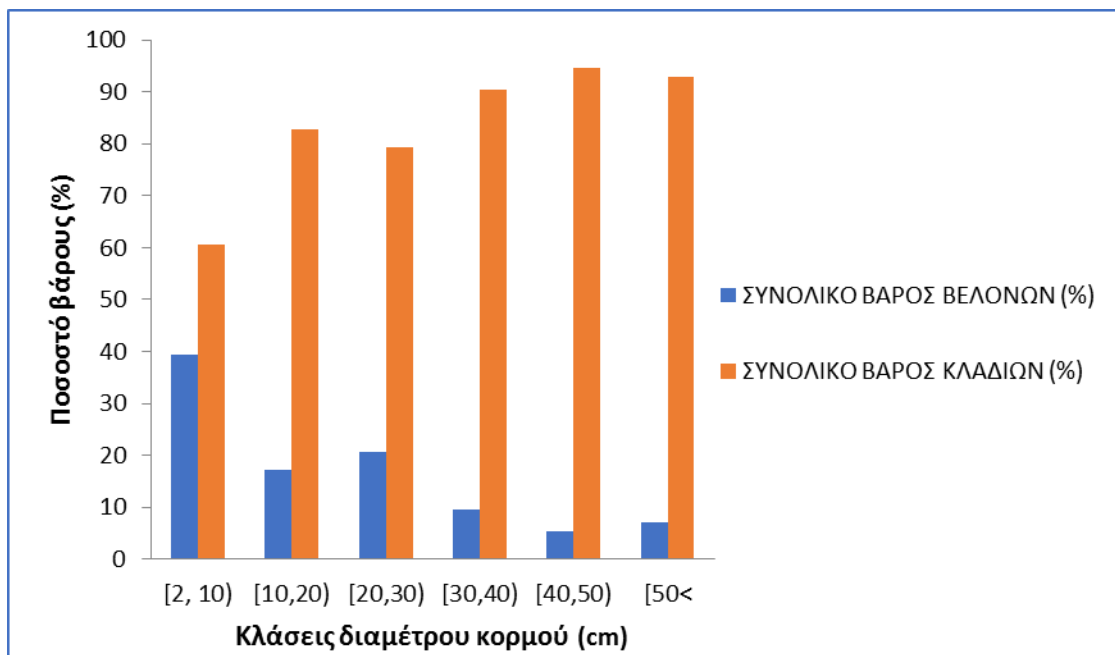
Εικόνα 7. Μέσο συνολικό βάρος - μέσο βάρος βελονών – μέσο βάρος κλαδιών ανά κλάση.

Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται το φρέσκο βάρος των πευκοβελόνων και κλαδιών που απομακρύνθηκαν κατά τις κλαδεύσεις δέντρων διαφορετικής διαμέτρου. Το υψηλότερο βάρος προσδιορίστηκε στην κλάση [>50], με 43,45 kg και ακολουθεί η κλάση [40,50], με μέσο βάρος 32,75 kg. Το μικρότερο βάρος απομακρυνόμενης βιομάζας κατέχει η κλάση [2,10], με 7,15 kg ανά δέντρο. Σύμφωνα με το διάγραμμα, το μέσο βάρος των κλαδιών είναι, επίσης, μεγαλύτερο στην κλάση [>50], με τιμή 40,37 kg και το μικρότερο στην κλάση [2,10], με μέση τιμή 4,34 kg. Το μέσο βάρος πευκοβελόνων στην κλάση [30,40] ήταν το μεγαλύτερο, με τιμή 3,13 kg και ακολουθεί η κλάση [>50], με 3,09 kg. Η κλάση με το μικρότερο μέσο βάρος πευκοβελόνων είναι η [40,50], με μέσο βάρος 1,77 kg. Το συνολικό βάρος από τις κλαδεύσεις των 1186 δέντρων είναι 16.215,5 kg, το οποίο αντιστοιχεί σε 13.055,02 kg κλαδιών ή 80,51% του συνολικού βάρους και 3.160,49 kg πευκοβελόνων ή 19,49% του συνολικού βάρους (Εικόνα 8).



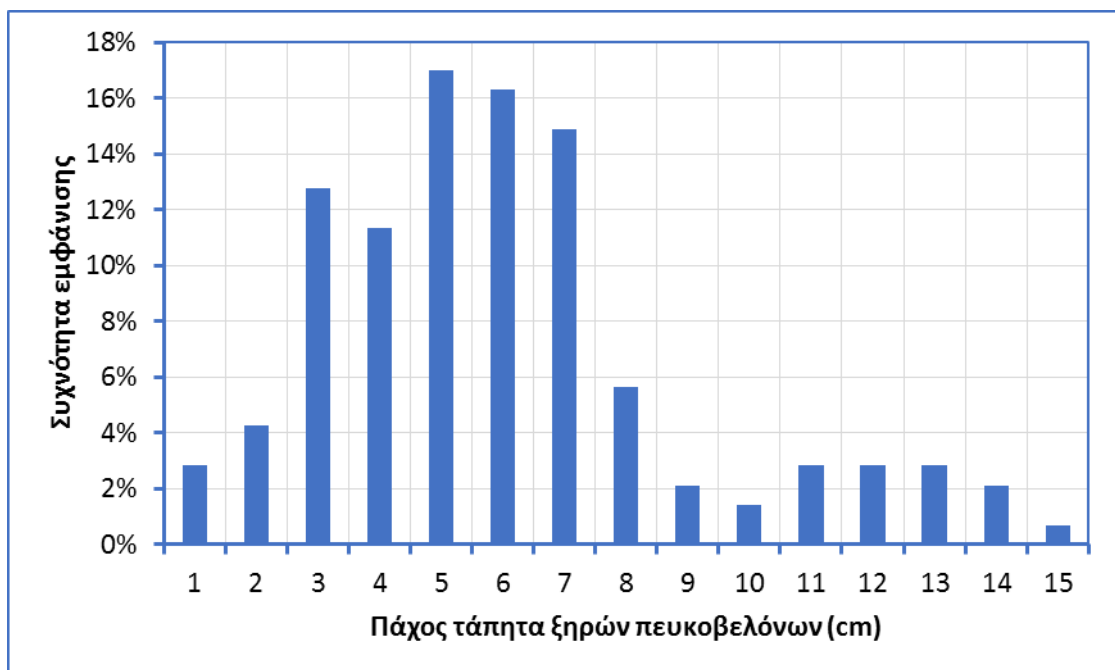
Εικόνα 8. Αναλογία συνολικού βάρους σε σχέση με το συνολικό βάρος κλαδιών και βελόνων.

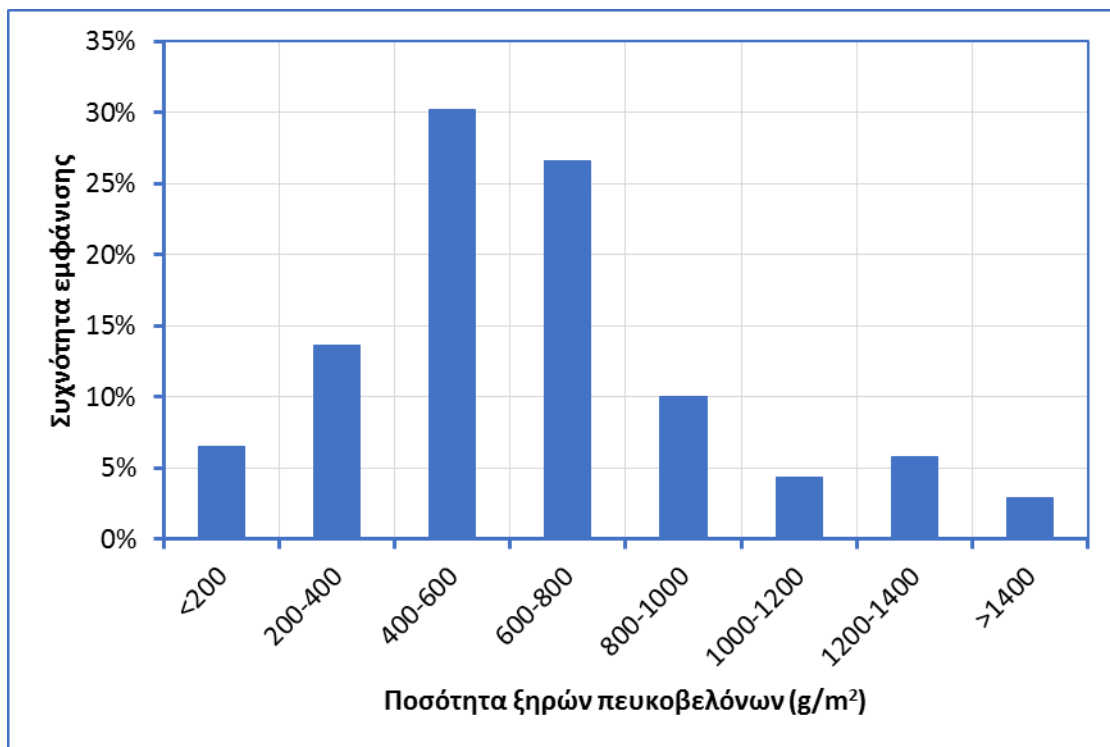
Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 9) παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη διαφορά σε ποσοστό βάρους ανάμεσα στο συνολικό βάρος κλαδιών και στο συνολικό βάρος των βελόνων έχει η κλάση [40,50], με ποσοστό 94,61% και 5,39% αντίστοιχα και ακολουθεί η κλάση [>50], με ποσοστό 90,34% και 9,66%. Η μικρότερη διαφορά σε αναλογία ποσοστού βάρους κλαδιών και βελόνων παρατηρείται στην κλάση [2,10], με συνολικό ποσοστό βάρους κλαδιών 60,7% και συνολικό ποσοστό βάρους βελόνων 29,3%.



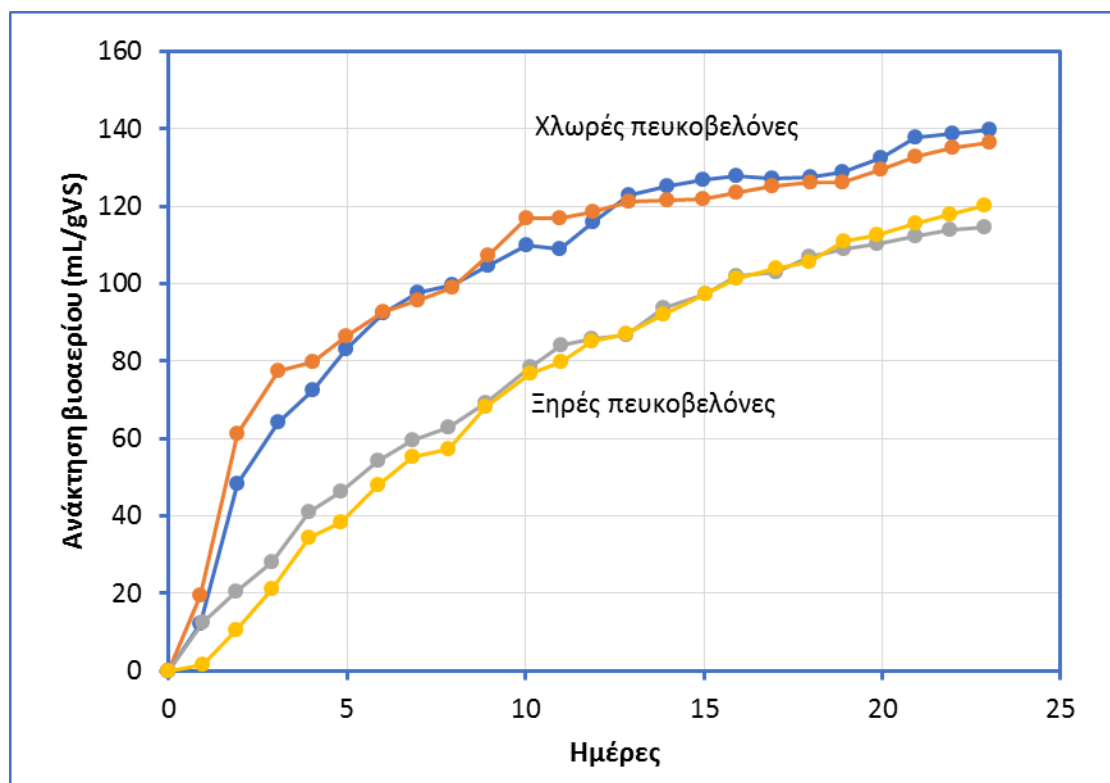
Εικόνα 9. Ποσοστό (%) του μέσου βάρους βελόνων και κλαδιών για διαφορετικές κλάσεις δέντρων.

Οι ξηρές πευκοβελόνες που βρίσκονται γειτονικά του δασικού δρόμου χαρακτηρίζονται από συνολικό πάχος μεταξύ 3 και 7 cm και φαινομενική πυκνότητα μεταξύ 400 και 800 g/m² (Εικόνα 10). Τα δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη θερινή περίοδο, οι ξηρές πευκοβελόνες του τάπητα χαρακτηρίστηκαν από χαμηλή περιεκτικότητα υγρασίας 11,5% και περιεκτικότητα πτητικών στερεών 97,4% TS.





Εικόνα 10. Κατανομή ύψους ξηρών πευκοβελόνων (πάνω) και φαινομενική πυκνότητα (κάτω) δίπλα σε δασικούς δρόμους ενός μεσογειακού δάσους *Pinus* χαμηλού υψομέτρου.



Εικόνα 11. Αθροιστική απόδοση βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση διαφορετικών δειγμάτων πεύκων από δάσος *Pinus* χαμηλού υψομέτρου.

Οι ξηρές βελόνες πεύκου που συλλέχθηκαν από το έδαφος χαρακτηρίστηκαν από χαμηλές τιμές απόδοσης βιοαερίου, περίπου 120 L/kgVS, που είναι συγκρίσιμες με αυτές που λαμβάνονται από φρέσκες βελόνες πεύκων (140 L/kgVS) (Εικόνα 11).

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά και την απόδοση βιοαερίου διαφορετικών δειγμάτων βελόνας πεύκου που εξετάστηκαν σε αυτή τη μελέτη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία μεταξύ των φρέσκων βελόνων πεύκου και των ξηρών, σε συνδυασμό με μια μείωση του συντελεστή απόδοσης βιοαερίου.

Πίνακας 1. Επισκόπηση των διαφορετικών χαρακτηριστικών των βελόνων πεύκου και των συντελεστών απόδοσης βιοαερίου.

Δείγμα	Υγρασία (%)	Απόδοση βιοαερίου (L/kg)	Πτητικά στερεά (%)
Χλωρές (>0,50 m)	43,6	147	93,9
Ξηρές (επιφαν.)	11,5	117	97,4

Ο υπολογισμός του παραγόμενου βιοαερίου ανά km δασικής οδού πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που ελήφθησαν από την επιτόπια μελέτη και τα εργαστηριακά πειράματα. Εφαρμόσαμε δε ένα απλό εννοιολογικό μοντέλο για τον υπολογισμό του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου ανά km δασικού δρόμου κατά τη διάρκεια τυπικών πρακτικών αφαίρεσης βλάστησης. Για τους υπολογισμούς ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω:

- Οι βελόνες πεύκων συλλέχθηκαν μεταξύ 3 και 5 m εκατέρωθεν του δασικού δρόμου, εύρος που αντιστοιχεί σε μία μέση έκταση συλλογής 0,8 ha ανά km δασικής οδού.
- Η ποσότητα των ξηρών βελόνων πεύκων που συσσωρεύεται στον δασικό τάπητα είναι 5 tn/ha.
- Ο αριθμός των δέντρων που απαιτούν κλάδεμα δίπλα σε δασικούς δρόμους θεωρήθηκε 250 δέντρα ανά km.
- Η ποσότητα των φρέσκων βελόνων πεύκου που ανακτήθηκαν με κλάδεμα δέντρων ήταν 2,5 kg ανά δέντρο.

Εκτελώντας τους υπολογισμούς, προκύπτει ότι η ποσότητα βιοαερίου που ανακτάται ανά km δασικής οδού ισούται με 500 m³/km ή 625 m³/ha δασικής έκτασης. Σε αυτές τις τιμές, οι ξηρές βελόνες συνεισφέρουν στο 70% και το υπόλοιπο 30% προέρχεται από τις φρέσκες βελόνες πεύκου. Υποθέτοντας ότι το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιείται σε μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP), είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 1300 kWh-el/km δασικής οδού (λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα σε μεθάνιο 65% και συντελεστή απόδοση της γεννήτριας 4 kWh-el/m³ CH₄). Στην Ελλάδα, η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με καύση βιοαερίου επιδοτείται με 0,20 €/kWh-el και ακολούθως το οικονομικό όφελος που προκύπτει είναι ίσο με 260 €/km δασικής οδού. Τα έσοδα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις εργασίες συλλογής της δασικής βιομάζας.

Συμπεράσματα

Τα δέντρα εκτός από τα οφέλη που προσφέρουν στους ανθρώπους, τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, την παραγωγή οξυγόνου και την παραγωγή προϊόντων όπως είναι η ξυλεία, μπορούν, επίσης, να αξιοποιηθούν (κυρίως το φύλλωμα/ βελόνες) για την παραγωγή βιοαερίου. Το τελευταίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου που αυτά προκαλούν.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι οι βελόνες πεύκων χαρακτηρίζονται από δυναμικό παραγωγής βιοαερίου της τάξης του 120-140 L/kg VS. Οι ξηρές πευκοβελόνες συσσωρεύονται στον δασικό τάπητα και μπορεί να οδηγήσουν στην εμφάνιση πυρκαγιών, κυρίως κατά την ξηρή περίοδο του έτους. Τα υλικά αυτά μπορούν, ωστόσο, να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την παραγωγή βιοαερίου σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης. Η ποσότητα του βιοαερίου που μπορεί να παραχθεί ανά km δασικής οδού είναι της τάξης των 500 m³, τιμή που ισοδυναμεί με 1300 kWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- Abbasi, T., Abbasi, S.A. (2010). Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 3, pp. 919–937.
- Agbor, E., Zhang, X., Kumar, A. (2014). A review of biomass co-firing in North America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40, pp. 930–943.
- American Public Health Association (APHA). (1999). American Water Works Association and Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington DC, USA, American Public Health Association.
- Behera, S., Arora, R., Nandhagopal, N., Kumar, S. (2014). Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 36, pp. 91–106.
- Bochet, E., Rubio, J.L., Poesen, J. (1998). Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the microscale in a semi-arid climate. *Geomorphology*, Vol. 23, No. 2-4, pp. 139–150.
- Calvo, C.A., Boix-Fayos, C., Imeson A.C. (2003). Runoff generation, sediment movements and soil water behavior on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology*, Vol. 50, No.1-3, pp. 269–291.
- Creutzig, F., Ravindranath, N.H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., Chum, H., Corbera, E., Delucchi, M., Faaij, A., Fargione J., Haberl, H., Heath, G., Lucon, O., Plevin, R., Popp, A., Robledo-Abad, C., Rose, S., Smith, P., Stromman, A., Suh, S., Masera, O. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, Vol. 7, pp. 916–944.
- Demirbas, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion Management*, Vol. 42, No.11, pp. 1357–1378.
- Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 31, No. 2, 171–192.

- Dwivedi, R.K., Singh, R.P., Bhattacharya T.K. (2016). Studies on bio-pretreatment of pine needles for sustainable energy thereby preventing wild forest fires. *Current Research*, Vol. 111, No. 2, pp. 388-395.
- Emadi-Tafti, M., Ataie-Ashtiani, B., Mossa Hosseini, S. (2021). Integrated impacts of vegetation and soil type on slope stability: A case study of Kheyroud Forest, Iran *Ecological Modeling*, Vol. 446, 109498.
- Ghosh, M.K., Ghosh, U.K. (2011). Utilization of Pine Needles as bed material in Solid State Fermentation for Production of Lactic Acid by *Lactobacillus* strains. *Bioresource*, Vol. 6, No. 2, pp. 1556-1575.
- Goltsev, V., Ilavsky, J., Gerasimov, Y., Karjalainen, T. (2010). Potential for biofuel development in Tihvin and Boksitogorsk districts of the Leningrad region the analysis of energy wood supply and costs. *Forest Political Economy*, Vol. 12, No. 4, pp. 308-316.
- Grace, J.M. (2002). Effectiveness of vegetation in erosion control from forest road side slopes. *Transactions of the ASAE*, Vol. 45, No. 3, pp. 681-685.
- Iglinski, B., Buczkowski, R., Iglinska, A., Cichosz, M., Piechota, G., Kujawski, W. (2012). Agricultural biogas plants in Poland: investment process, economical and environmental aspects, biogas potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 7, pp. 4890-4900.
- Lal, P.S., Sharma, A., Bist, V. (2013). Pine needle—an evaluation of pulp and paper. *Journal of Forest Product Industries*, Vol. 2, No. 3, pp. 42–47.
- Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development*, Vol. 9, pp. 407-422.
- Liu, Y.J., Wang, T.W., Cai, C.F. Li, Z.X., Cheng, D.B. (2014). Effects of vegetation on runoff generation, sediment yield and soil shear strength on road-side slopes under a simulation rainfall test in the Three Gorges Reservoir Area. *China Science Total Environment*, Vol. 485–486, pp. 93-102.
- Mahajan, R., Nikitina, A., Litti, Y., Kallistova, A., Nozhevnikova, A., Goel G. (2019). Evaluating anaerobic and aerobic digestion strategies for degradation of pretreated pine needle litter. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 16, pp. 91-200.
- Mason, C.L., Lippke, B.R., Zobrist, K.W., Bloxton, Jr., T.D., Ceder, K.R., Cornick, J.M., McCarter, J.B., Rogers, H.K. (2006). Investments in fuel removals to avoid forest fires result in substantial benefits. *Journal of Forestry*, Vol. 104, pp. 27–31.
- Matsakas, L., Rova, U., Christakopoulos, P. (2016). Strategies for enhanced biogas generation through anaerobic digestion of forest material – an overview. *Bioresources*, Vol. 11, No. 2, pp.1-18.
- Puigdefàbregas, J. (2005). The role of vegetation patterns in structuring Runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 30, pp. 133–147.
- Rao, P.V., Baral, S.S., Dey, R., Mutnuri, S. (2010). Biogas generation potential by anaerobic digestion for sustainable energy development in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 7, pp. 2086-2094.
- Salehian, P., Karimi, K. (2013). Alkali pretreatment for improvement of biogas and ethanol production from different waste parts of pine tree. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 52, 972-978.



ΠΡΑΣΙΝΟ ΤΑΜΕΙΟ

Η παρούσα εργασία διεξήχθη στο πλαίσιο του έργου «Ανάπτυξη συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης πυρκαγιών σε ιστορικά κέντρα και παλιές πόλεις, σε επαφή με το περιαστικό πράσινο», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Πράσινο Ταμείο στο πλαίσιο του Προγράμματος «Φυσικό Περιβάλλον και Καινοτόμες Δράσεις 2020», Προτεραιότητα άξονας 2: Έξυπνες πόλεις.

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Ηλίας Πέτρου

Υποψήφιος Διδάκτορας
Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
E-mail: i.petrou@uoi.gr

Παύλος Κασσωμένος

Καθηγητής
Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
E-mail: pkassom@uoi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών το αντικείμενο της κλιματικής αλλαγής έχει λάβει μεγάλη προσοχή από τους επιστημονικούς, πολιτικούς και δημόσιους φορείς. Καθώς οι περισσότερες έρευνες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή επικεντρώνονται στη μελέτη των τάσεων μεμονωμένων μετεωρολογικών μεταβλητών (απόλυτη υγρασία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, πίεση στη στάθμη της θάλασσας κ.λπ.), η μελέτη των συνοπτικών αερίων μαζών (ή τύπων καιρού) παραμένει ανεξερεύνητη. Στόχος αυτής της έρευνας είναι να εξετάσει τις μεταβολές στη συχνότητα των τύπων καιρού (WTs) στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης από το 1979, χρησιμοποιώντας ένα πρόσφατα αναπτυγμένο σύστημα ταξινόμησης τύπων καιρού (Gridded Weather Type Classification- GWTC). Κατά μέσο όρο, σε ολόκληρο τον τομέα μελέτης, ο Warm WT εμφανίζει αύξηση κατά 27 ημέρες ανά έτος, ο HW WT κατά 18 ημέρες ανά έτος, ενώ ο DW WT εμφανίζεται κατά 14 ημέρες επιπλέον ανά έτος. Αυτές οι αυξήσεις συνοδεύονται από μείωση στη συχνότητα εμφάνισης του Cool WT (-33 ημέρες ανά έτος) και του DC WT (-14 ημέρες ανά έτος). Οι πιο αξιοσημείωτες μεταβολές παρατηρούνται στις πολικές περιοχές (τμήματα της Βόρειας Θάλασσας, της Νορβηγικής Θάλασσας, της Θάλασσας της Γροιλανδίας και της Θάλασσας του Μπάρεντς), όπου ο HW και ο W WT εμφανίζουν αυξήσεις κατά 38 ημέρες ανά έτος και 36 ημέρες ανά έτος αντίστοιχα, ενώ ο D και ο DC WT μειώνονται κατά 51 ημέρες ανά έτος και 29 ημέρες ανά έτος αντίστοιχα. Σημαντικές, επίσης, μεταβολές στη συχνότητα των W (+31 ημέρες ανά έτος) και C WT (-31 ημέρες ανά έτος) παρουσιάζονται στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη. Τα θερμά και ψυχρά μέτωπα (WFP και CFP WTs) παρουσιάζουν μειώσεις στις περισσότερες περιοχές μελέτης, μικρότερης όμως έντασης σε σχέση με τους υπόλοιπους WTs. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των τάσεων, η μελέτη και η περιγραφή των μεταβολών των συχνοτήτων για κάθε WT μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας για τους ιθύνοντες και το ευρύ κοινό.

Λέξεις κλειδιά: Ευρώπη, τύποι καιρού, σημείο δρόσου, θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, κλιματική μεταβολή

Εισαγωγή

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον είναι ένα αντικείμενο παρατήρησης σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπτώσεις που οι επιστήμονες είχαν προβλέψει στο παρελθόν ότι θα προκύψουν από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή συμβαίνουν τώρα, όπως η απώλεια θαλάσσιου πάγου, η επιταχυνόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η εμφάνιση μεγαλύτερων και πιο έντονων κυμάτων καύσωνα. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η παγκόσμια μέση θερμοκρασία σημείωσε αύξηση κατά 0,85 °C, με την περιοχή της Αρκτικής να βιώνει δυσανάλογα ισχυρότερες επιπτώσεις (Francis & Vavrus 2012). Από τις αρχές του 21ου αιώνα, η Ευρώπη έχει βιώσει μία σειρά από ακραία θερμά και ξηρά καλοκαίρια (2003, 2010, 2013 και 2015) (Ionita et al. 2011). Το καλοκαίρι του 2015 ήταν το πιο θερμό από το 1950 σε μεγάλο μέρος της ανατολικής και νοτιοδυτικής Ευρώπης, ενώ οι περίοδοι του φθινοπώρου του 2006 και του χειμώνα του 2007 κατατάχθηκαν ως οι θερμότεροι των τελευταίων 500 χρόνων (Schär et al. 2004). Οι επιπτώσεις αυτών των ακραίων καιρικών συνθηκών έγιναν αισθητές στους τομείς της γεωργίας, της υδρολογίας και των υδάτινων πόρων (Van Lanen et al. 2013), της ανθρώπινης υγείας (Robine et al. 2008), καθώς και των φυσικών οικοσυστημάτων (Ciais et al. 2005).

Το μεγαλύτερο μέρος που αφορά στην έρευνα για την κλιματική αλλαγή επικεντρώνεται στη μελέτη των τάσεων (μέσα, μέγιστα, ακραίες τιμές κ.λπ.) μεμονωμένων μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η απόλυτη υγρασία της ατμόσφαιρας (Santer et al. 2007), η σχετική υγρασία (Willett et al. 2007), η πίεση στη στάθμη της θάλασσας (Gillett & Stott 2009) και η ταχύτητα του ανέμου (McVicar & Roderick 2010). Οι ατμοσφαιρικές αυτές μεταβλητές παρουσιάζουν σημαντικές και συχνές αλλαγές στα μεγέθη τους τις τελευταίες δεκαετίες. Ενώ οι αλλαγές αυτές έχουν μελετηθεί εκτενώς, οι τάσεις των αερίων μαζών συνοπτικής κλίμακας (τύποι καιρού - μία κατηγορία καιρού που καθορίζει την ολιστική ατμοσφαιρική κατάσταση σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο) παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητες.

Η κατηγοριοποίηση τύπων καιρού (weather type-WT) έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμο εργαλείο στην εφαρμοσμένη κλιματολογική έρευνα που εξετάζει τη μεταβλητότητα των επιπτώσεων που σχετίζονται με το κλίμα (Lee 2017), όπως εκείνες που αφορούν την ανθρώπινη θνησιμότητα και νοσηρότητα, καθώς η ανθρώπινη ευημερία και υγεία επηρεάζονται περισσότερο από συνδυασμούς μετεωρολογικών παραμέτρων στις οποίες εκτίθενται τα άτομα, παρά από μεμονωμένα μετεωρολογικά στοιχεία (Hondula et al. 2014).

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη κατηγοριοποίηση τύπων επιφανειακών καιρικών συνθηκών είναι η Χωρική Συνοπτική Ταξινόμηση (Spatial Synoptic Classification - SSC) (Sheridan, 2002). Ωστόσο, μία πιο πρόσφατη εξέλιξη στην ταξινόμηση τύπων καιρού είναι η ταξινόμηση τύπου πλέγματος (Gridded Weather Type Classification- GWTC) (Lee 2015). Από την ανάπτυξη της έως τώρα, η ταξινόμηση GWTC έχει αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο στις μελέτες που σχετίζονται με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Lee 2015), ωστόσο οι μακροπρόθεσμες τάσεις των τύπων καιρού της ταξινόμησης GWTC δεν έχουν ακόμα εξεταστεί σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, δεδομένου ότι οι τάσεις της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων τις τελευταίες δεκαετίες είναι καλά διερευνημένες, αλλά ένα μεταβαλλόμενο κλίμα μπορεί να εκδηλωθεί με πολλούς τρόπους, ο στόχος αυτής της έρευνας είναι να εξεταστούν οι αλλαγές στη συχνότητα των τύπων καιρού πλέγματος GWTC (Πίνακας 1) στην Ευρώπη από το 1979 έως το 2019.

Μέθοδοι και υλικά

Για τον σκοπό της παρούσας εργασίας, ημερήσια δεδομένα τύπων καιρού ταξινόμησης πλέγματος (GWTC) ελήφθησαν για κάθε ημέρα από την 1^η Ιανουαρίου του 1979 έως τις 30 Δεκεμβρίου του 2019 για κάθε σημείο πλέγματος της περιοχής μελέτης που περιλαμβάνει την ηπειρωτική Ευρώπη, μέρος της Βόρειας Αφρικής, μέρος της Δυτικής Ασίας, καθώς και τις θαλάσσιες περιοχές της Μεσογείου, της Βόρειας Θάλασσας, της Νορβηγικής Θάλασσας, τη Βαλτική Θάλασσα, τη Γροιλανδική Θάλασσα, τη Θάλασσα Μπάρεντς και τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό (Σχήμα 1). Η ανάπτυξη και η περιγραφή της ταξινόμησης GWTC πραγματοποιήθηκε από τον Lee (2015), ενώ τα δεδομένα είναι δημόσια διαθέσιμα στον ισότοπο www.personal.kent.edu/~cclee/gwtcdata.html. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ταξινομήσεις τύπων καιρού, στο πλαίσιο της GWTC προσδιορίζονται οι καιρικές συνθήκες οι οποίες είναι σχετικές με τις «κανονικές» για μία δεδομένη εποχή σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι για παράδειγμα, ένας τύπος καιρού Dry Cool (DC) σημαίνει απλώς ότι ο καιρός είναι πιο ξηρός και πιο δροσερός από τον ετήσιο μέσο όρο για αυτή την τοποθεσία (Lee & Sheridan 2018).

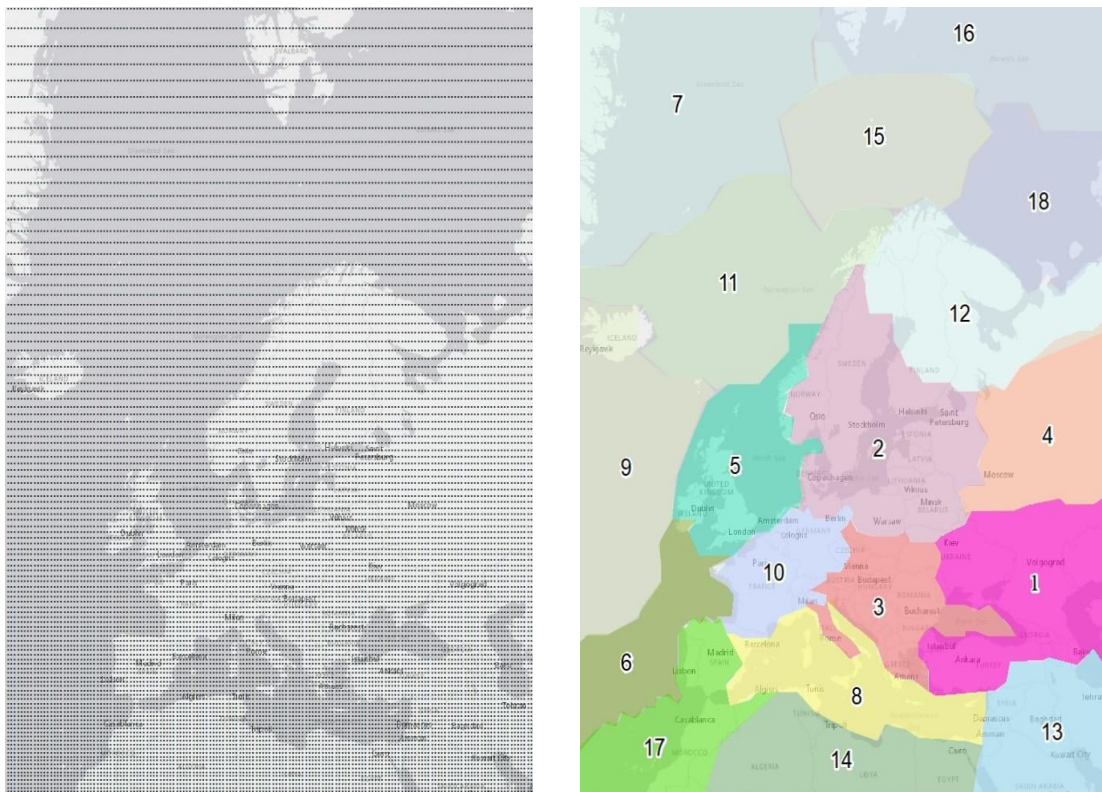
Προκειμένου να συνοψίσουμε χωρικά τα αποτελέσματά μας, προχωρήσαμε σε μία κατανομή της περιοχής μελέτης σε 18 διακριτές περιοχές. Για τον σκοπό αυτόν, η μέση μηνιαία συχνότητα για καθέναν από τους 11 τύπους καιρού και για κάθε έναν από τους 12 μήνες υπολογίστηκε για κάθε σημείο πλέγματος για το 1979-2019. Εν συνεχεία, οι συχνότητες αυτές υποβλήθηκαν σε ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principle Components Analysis-PCA) και σε ανάλυση συστάδων (TwoStep Clustering component), με τη βοήθεια του SPSS Statistical Software (2001). Οι 18 στατιστικά κατανομημένες περιοχές χρησιμοποιήθηκαν ως περιοχές αναφοράς και σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του ArcMap (Σχήμα 1).

Για κάθε περιοχή ξεχωριστά, υπολογίστηκε η ποσοστιαία (%) συχνότητα εμφάνισης κάθε τύπου καιρού για κάθε χρόνο (1979-2019). Για τα ποσοστά συχνοτήτων, στη συνέχεια εφαρμόστηκε ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος Mann-Kendall για την εύρεση τάσεων, καθώς και η μέθοδος Sen για την εκτίμηση των κλίσεων των τάσεων. Στα αποτελέσματα που συζητούνται παρακάτω, όλα τα ποσοστά αναφέρονται σε ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης συχνότητας για κάθε σημείο πλέγματος, για ολόκληρη την περίοδο μελέτης. Τα ποσοστά αυτά υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τις κλήσεις με 40 (περίοδος μελέτης, μείον 1). Η απεικόνιση των ποσοστιαίων μεταβολών για κάθε σημείο πλέγματος σε χάρτες, όπου με μαύρες τελείες παρουσιάζονται τα σημεία με στατιστικά σημαντικές μεταβολές (p -value < 0,05) φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 3). Επιπλέον, πολλαπλασιάζοντας τα παραπάνω ποσοστά με 365, υπολογίσαμε τη μεταβολή (από την αρχή της περιόδου μελέτης ως το τέλος αυτής) των ημερών εμφάνισης ανά έτος για κάθε τύπο καιρού (Σχήμα 2).

Για την απεικόνιση των μη γραμμικών τάσεων, ραβδογράμματα των συχνοτήτων για κάθε τύπου καιρού σχεδιάστηκαν με την εφαρμογή μίας πολυωνυμικής τάσης τρίτης σειράς στα υποκείμενα δεδομένα. Ωστόσο, κανένα αριθμητικό αποτέλεσμα που παρουσιάζεται παρακάτω δεν βασίζεται σε αυτό το πολυώνυμο (Σχήμα 2). Τέλος, δεδομένα μηνιαίων μέσων τιμών θερμοκρασίας αέρα (στα 2m), σημείου δρόσου (στα 2m) και θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων ERA5 reanalysis (Hersbach et al. 2018) του European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), με στόχο τη μελέτη των παραγόντων που οφείλονται στις τάσεις των συχνοτήτων κάθε τύπου καιρού. Οι τάσεις των παραπάνω μετεωρολογικών παραμέτρων αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με αυτές των τύπων καιρού με ανάλυση συσχέτισης, με τη χρήση του συντελεστή Pearson (Pearson-based pattern correlations).

Πίνακας 1. Οι 11 τύποι καιρού, σύμφωνα με την ταξινόμηση GWTC, συντομογραφίες και περιγραφές (σε σχέση με τη γεωγραφική και εποχική κατανομή).

Τύπος Καιρού (WT)	Περιγραφή
HC	Humid and Cool
H	Humid (normal temp)
HW	Humid and Warm
C	Cool (normal humidity)
S	Seasonal
W	Warm (normal humidity)
DC	Dry and Cool
D	Dry (normal temp)
DW	Dry and Warm
CFP	Cold Front Passage
WFP	Warm Front Passage



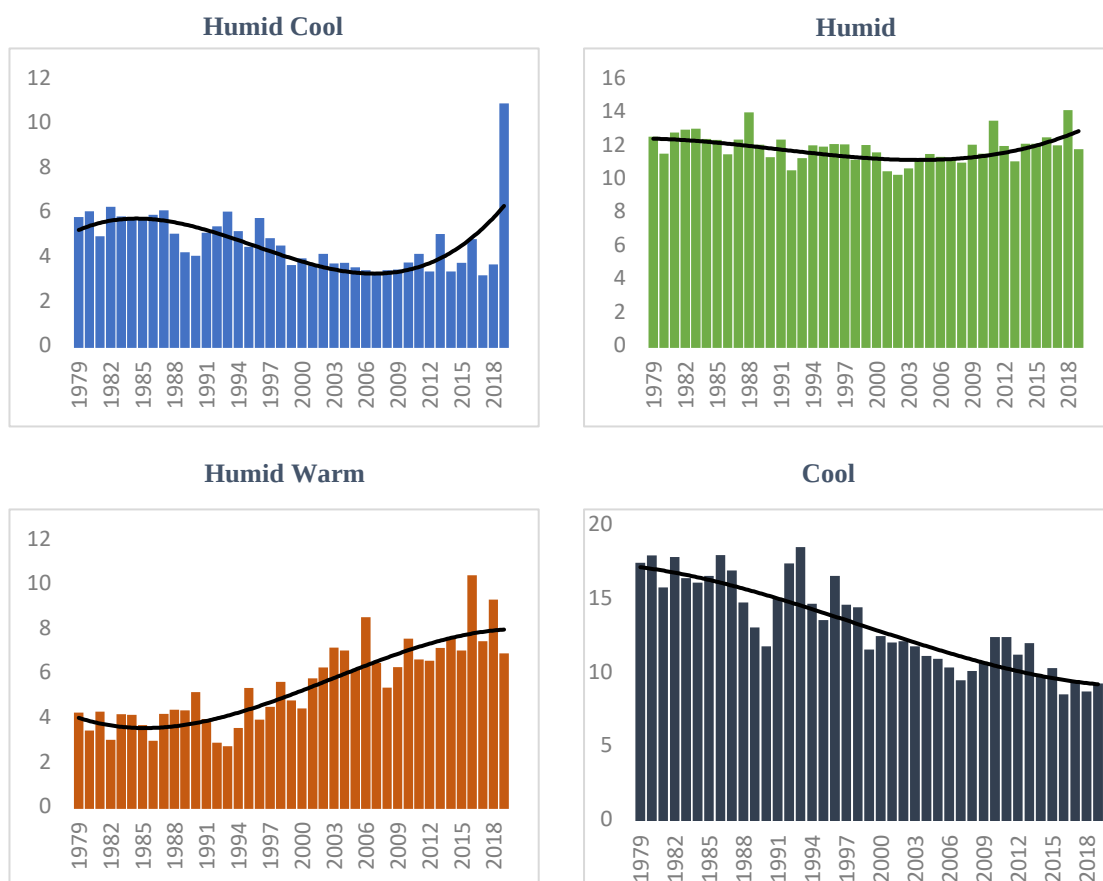
Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης, με τα σημεία πλέγματος στα οποία αντιστοιχεί κάθε τύπος καιρού (αριστερά) και οι 18 περιοχές κατανομής, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση (δεξιά).

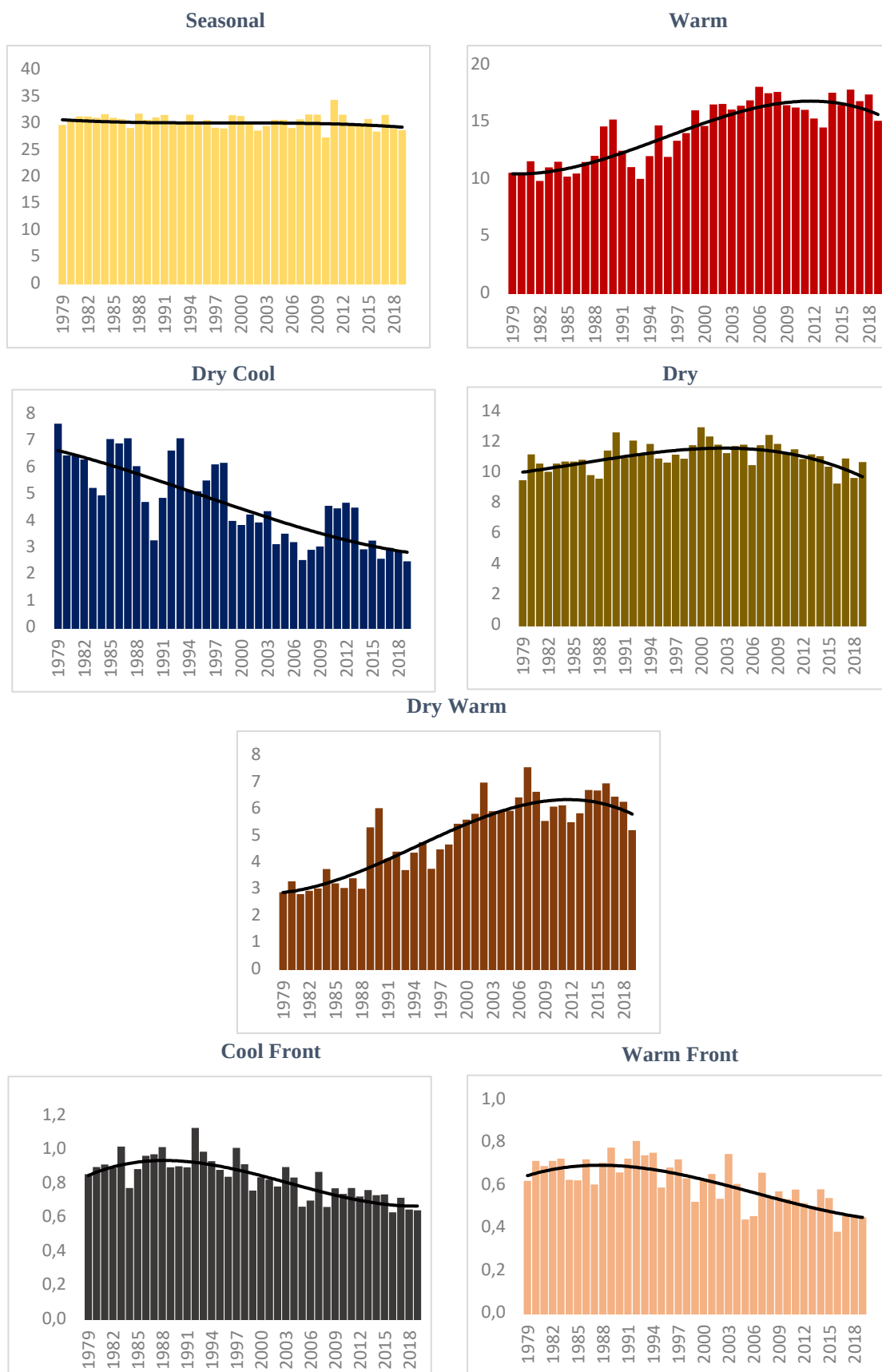
Αποτελέσματα και συζήτηση

Οι ποσοστιαίες μεταβολές των τύπων καιρού (από το 1979 έως το 2019) υπολογίστηκαν για κάθε σημείο πλέγματος της περιοχής μελέτης, όπως και ο αριθμός των εμφανίσεων κάθε τύπου καιρού ανά έτος (ημέρες / έτος). Όπως είδαμε, προκειμένου να οργανωθούν χωρικά και να απλοποιηθούν τα αποτελέσματα, ολόκληρος ο τομέας χωρίστηκε σε 18 περιοχές (Σχήμα 1), με

βάση την ομοιότητα των μέσων μηνιαίων συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται για κάθε περιοχή ξεχωριστά και συζητούνται παρακάτω.

Γενικά, όλοι οι ψυχροί τύποι καιρού [Cool (C), Dry Cool (DC) και Humid Cool (HC)] σημειώνουν μείωση, ενώ όλοι οι θερμοί τύποι [Warm (W), Dry Warm (DW) και Humid Warm (HW)] εμφανίζουν σημαντική αύξηση κατά την περίοδο της μελέτης. Όσον αφορά τη συχνότητα των μετώπων [Cold Front Passage (CFP) και Warm Front Passage (WFP)], υπάρχει μία ελαφρά μείωση κατά μέσο όρο σε ολόκληρο τον τομέα (Πίνακας 2). Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις μεταβολές στις εμφανίσεις, οι τύποι καιρού C και DC παρουσιάζουν τη σημαντικότερη μείωση (9% και 3,8% αντίστοιχα), ενώ οι τύποι καιρού W και HW παρουσιάζουν τη σημαντικότερη αύξηση (7,4 % και 4,9% αντίστοιχα) κατά μέσο όρο. Αυτές οι τάσεις είναι ισοδύναμες με -33 C ημέρες / έτος (από 1979 έως 2019) και -14 Dry Cool ημέρες / έτος, σε αντίθεση με +27 Warm ημέρες / έτος και +18 Humid Warm ημέρες / έτος, κατά μέσο όρο. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της περιόδου των 41 ετών, οι τύποι καιρού HC, S και H μειώθηκαν κατά 2,7% (-10 ημέρες / έτος), 0,8% (-3 ημέρες / έτος) και 0,5% (-2 ημέρες / έτος) κατά μέσο όρο αντίστοιχα, ενώ οι τύποι καιρού DW και D αυξήθηκαν κατά 3,8% (+14 ημέρες / έτος) και 0,3% (1 ημέρα / έτος) αντίστοιχα. Πολλές από τις παραπάνω μεταβολές δεν είναι γραμμικές όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.





Σχήμα 2. Διαγράμματα των ποσοστών (%) εμφανίσεων κάθε τύπου καιρού.

Όσον αφορά τη χωρική κατανομή, οι πιο αξιοσημείωτες μεταβολές σημειώνονται στις περιοχές 7, 11, 15, 16 και 18, που αντιστοιχούν στα τμήματα της Βόρειας Θάλασσας, της Νορβηγικής Θάλασσας, της Θάλασσας της Γροιλανδίας και της Θάλασσας του Μπάρεντς, κυρίως για τους τύπους καιρού HW, W, DW, DC και C. Συγκεκριμένα, στις παραπάνω περιοχές, οι τύποι καιρού HW, W και DW δείχνουν σημαντική αύξηση, με +38, +40, +38, +26 και +27 HW ημέρες / έτος, +28, +42, +36, +38 και +34 W ημέρες / έτος και +15, +20, +22, +29 και 24 DW ημέρες/έτος αντίστοιχα. Στις ίδιες περιοχές, οι τύποι καιρού DC και C εμφανίζουν σημαντική μείωση με -39, -39, -49, -69 (η μεγαλύτερη αλλαγή οποιουδήποτε WT σε οποιαδήποτε περιοχή) και -57 C ημέρες / έτος και -17, -23, -29, -27 και -22 DC ημέρες / έτος αντίστοιχα (Πίνακας 2).

Τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύουν τις ήδη γνωστές παρατηρήσεις σχετικά με το φαινόμενο της Αρκτικής ενίσχυσης (αύξηση της θερμοκρασίας στις πολικές περιοχές η οποία είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με την αύξηση της θερμοκρασίας σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη) (Screen 2014). Οι θαλάσσιες πολικές περιοχές (Νορβηγική Θάλασσα, Θάλασσα Μπάρεντς, Γροιλανδική Θάλασσα) παρουσιάζουν αύξηση θερμοκρασίας 4-5 °C κατά μέσο όρο για την περίοδο μελέτης, σε συνδυασμό με μία ταυτόχρονη σχεδόν αύξηση του σημείου δρόσου, καθώς και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (Σχήμα 4), οδηγώντας πιθανότατα σε αύξηση της μεταφοράς θερμότητας προς τα κατώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας. Η ροή θερμότητας ανατροφοδοτείται, μειώνοντας τον ρυθμό ανάπτυξης θαλάσσιου πάγου και αλλάζοντας την επιφανειακή ανακλαστικότητα (albedo) των περιοχών αυτών. Η διαδικασία αυτή συνεπάγεται αύξηση των διαδικασιών εξάτμισης, καθώς και αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας, που πιθανότητα συμβάλλουν στην αύξηση εμφάνισης των W, HW και DW, καθώς και στη μείωση εμφάνισης των D και DC τύπων.

Πίνακας 2. Ετήσια μεταβολή στον αριθμό εμφανίσεων (ανά έτος) για κάθε WT σε κάθε περιοχή, από το 1979 έως το 2019. Τα πιο σκούρα κόκκινα/μπλε χρώματα υποδηλώνουν σταδιακά πιο θετικές/αρνητικές αλλαγές.

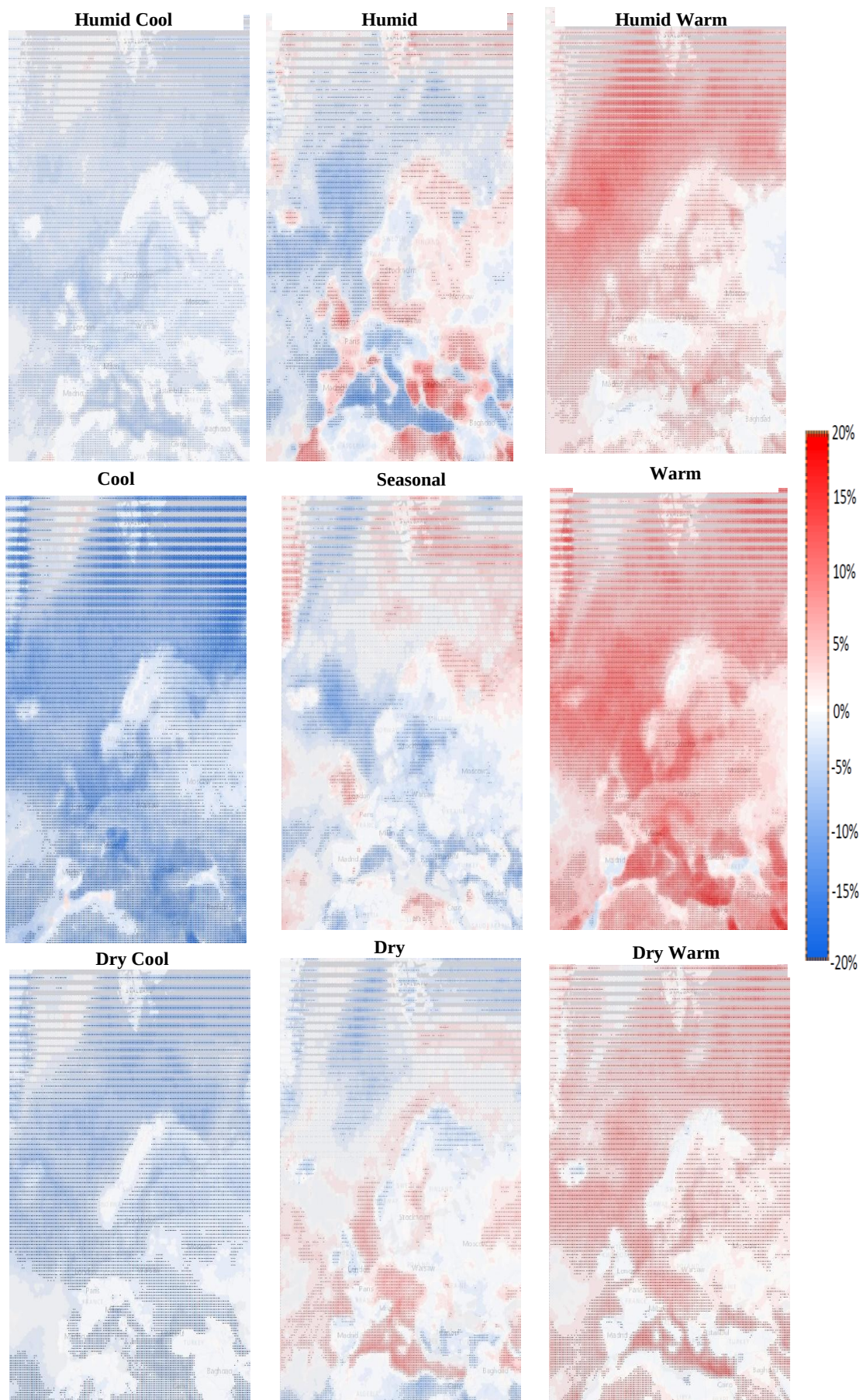
REGIONS	HC	H	HW	C	S	W	DC	D	DW	CFP	WFP
1	-7	10	11	-24	-10	15	-7	-1	7	-3	0
2	-12	5	12	-24	-13	29	-12	2	10	-1	0
3	-9	0	13	-36	-14	32	-11	8	14	-2	0
4	-8	0	1	-14	-5	15	-11	8	10	-1	0
5	-16	-5	20	-38	-6	37	-16	7	17	0	0
6	-11	-12	15	-24	-2	18	-7	10	12	0	0
7	-6	-6	38	-39	-3	28	-17	-14	15	-1	-2
8	-12	-12	13	-32	-6	33	-11	7	16	0	0
9	-13	-12	25	-27	-7	23	-14	6	14	0	0
10	-12	3	10	-32	-3	24	-7	9	10	-1	0
11	-12	-19	40	-39	-16	42	-23	0	20	-1	-2
12	-6	7	10	-22	7	17	-16	-5	9	0	0

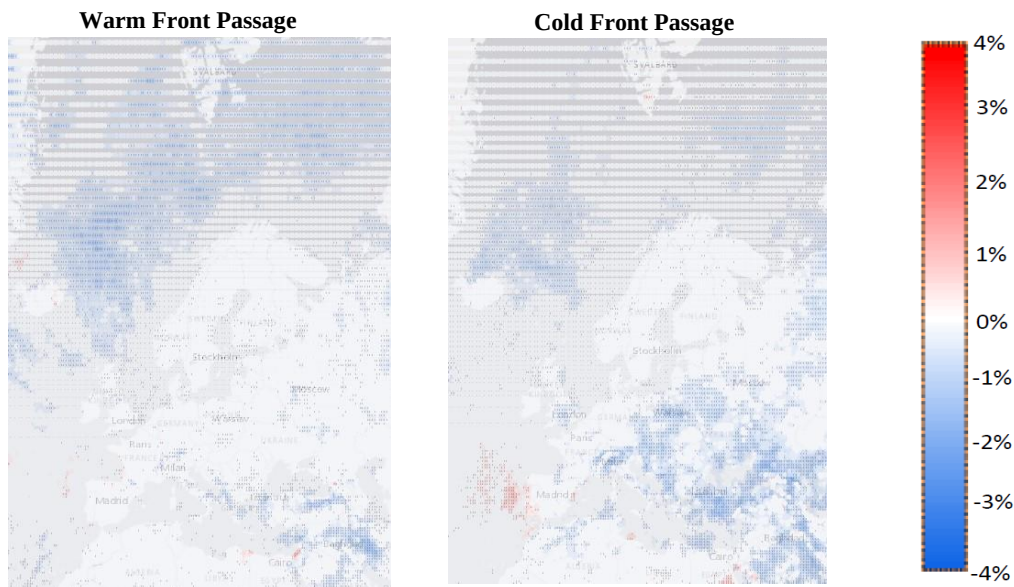
13	-7	1	7	-33	-8	33	-6	-2	9	-2	-1
14	-8	8	8	-26	3	21	-9	-8	7	0	0
15	-14	-10	38	-49	6	36	-29	0	22	0	-2
16	-15	4	27	-69	14	38	-27	-7	29	-1	-2
17	-3	4	6	-17	-2	16	-9	-5	8	0	0
18	-15	-4	27	-57	12	34	-22	1	24	-1	-1
AVG	-10	-2	18	-33	-3	27	-14	1	14	-1	-1

Εκτός από αυτές τις περιοχές, ένας άλλος τομέας αξιοσημείωτων αλλαγών, κυρίως στη συχνότητα τύπων καιρού W και C, είναι ο τομέας που περιλαμβάνει τη Νότια και Κεντρική Ευρώπη (περιοχή 8, 3 και 10) και τη Βόρεια Ευρώπη (περιοχή 5 και 2). Πιο συγκεκριμένα, στη Βόρεια Ευρώπη ο τύπος καιρού W εμφανίζει αύξηση 33 W ημέρες / έτος κατά μέσο όρο, ενώ ο τύπος καιρού C μειώθηκε κατά 31 ημέρες / έτος κατά μέσο όρο. Επιπλέον, στη Νότια και Κεντρική Ευρώπη ο τύπος καιρού W αυξήθηκε κατά μέσο όρο 30 W ημέρες / έτος, σε αντίθεση με τον τύπο καιρού C που έχει μειωθεί κατά 33 C ημέρες / έτος κατά μέσο όρο. Σε αντίθεση με τις πολικές περιοχές, οι παραπάνω τομείς παρουσιάζουν μικρότερη, αλλά εξαιρετικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας (2-3°C κατά μέσο όρο) σε συνδυασμό με ακόμη μικρότερες αυξήσεις του σημείου δρόσου. Ωστόσο, αυτές οι περιοχές περιλαμβάνουν τη συντριπτική πλειονότητα των πιο πυκνοκατοικημένων πόλεων της Ευρώπης (Αθήνα, Παρίσι, Λονδίνο κ.λπ.), καθώς και μεγάλες αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Επομένως, τάσεις όπως αυτές πιθανότατα παρουσιάζουν αρνητικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, ειδικά στις πιο ευάλωτες ομάδες πληθυσμού (παιδιά και γηραιός πληθυσμός).

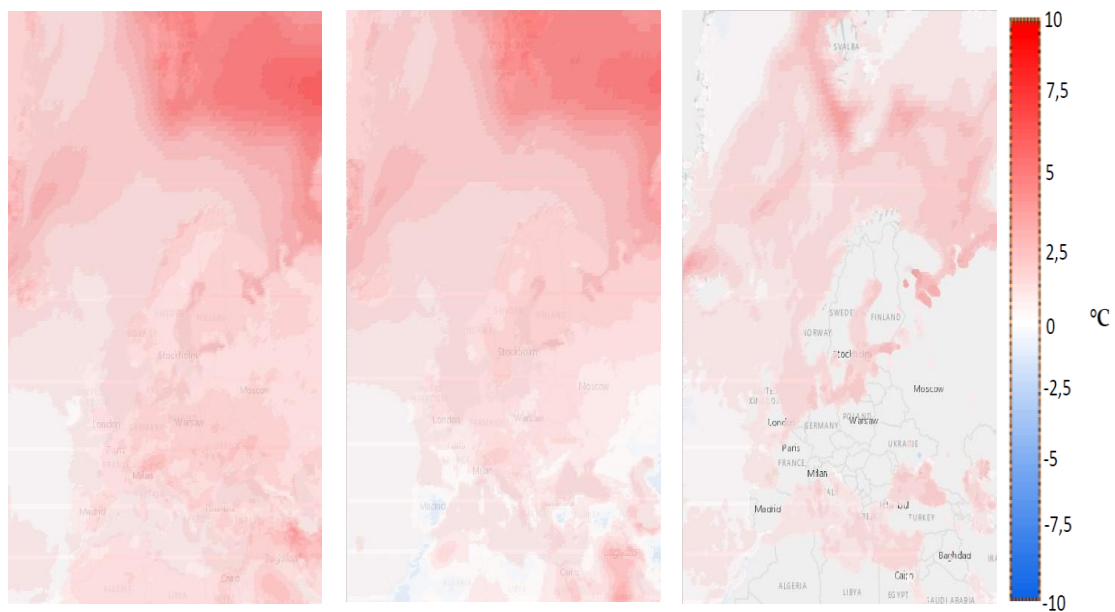
Αντίθετα με τις παραπάνω μεταβολές, οι περιοχές 1, 12 και 14 παρουσιάζουν αυξητική τάση στη συχνότητα των τύπων καιρού H και HW (8 έως 10 ημέρες / έτος κατά μέσο όρο αντίστοιχα), με ταυτόχρονη μειωτική τάση των ξηρότερων τύπου καιρού DC και D (10 έως 5 ημέρες / έτος κατά μέσο όρο αντίστοιχα). Οι παραπάνω τάσεις συνδέονται με μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας (1-2°C κατά μέσο όρο) και του σημείου δρόσου. Το προηγούμενο μοτίβο (αύξηση υγρών - μείωση ξηρών τύπων καιρού) εμφανίζεται ελαφρώς και στην περιοχή 17, με την αξιοσημείωτη διαφορά ότι η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει μικρή μείωση του σημείου δρόσου, με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας.

Όπως αναμενόταν, πολλά από τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με τις γενικές αλλαγές στη θερμοκρασία ή στο σημείο δρόσου κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (π.χ. όπου τα σημεία δρόσου και οι θερμοκρασίες αυξάνονται ταυτόχρονα, παρατηρούμε γενικά αυξήσεις των HW και μειώσεις των DC τύπων καιρού). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συσχέτισης με τη χρήση του συντελεστή Pearson, πολλές συσχετίσεις μεταξύ της συχνότητας WT και των δύο μεταβλητών θερμοκρασίας και σημείου δρόσου παρουσιάζουν ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση (δειγματικός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson $r > |0,5|$). Ωστόσο, υπάρχουν συσχετίσεις που παρουσιάζουν ασθενή έως μέτρια γραμμική συσχέτιση ($r < |0,5|$). Για παράδειγμα, οι μεταβολές των τύπων καιρού WFP και CFP παρουσιάζουν ασθενή συσχέτιση με τις θερμοκρασιακές μεταβολές και τις μεταβολές του σημείου δρόσου (Πίνακας 2).





Σχήμα 3. Η ποσοστιαία μεταβολή στην ετήσια συχνότητα εμφάνισης κάθε WT κατά την περίοδο 1979-2019. Οι λευκές περιοχές δείχνουν περιοχές σχεδόν μηδενικής αλλαγής. Οι μαύρες κουκκίδες δείχνουν τοποθεσίες στατιστικής σημασίας ($p < 0,05$).



Σχήμα 4. Μεταβολές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα (αριστερά), του σημείου δρόσου (μέση) και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας (δεξιά) σε $^{\circ}\text{C}$ κατά την περίοδο 1979-2019.

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες των θαλάσσιων περιοχών (Σχήμα 4), σημαντικές αυξήσεις φαίνονται στις περιοχές της Γροιλανδικής Θάλασσας και της Θάλασσας του Μπάρεντς ($3-4^{\circ}\text{C}$ για την περίοδο 1979-2019). Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες (Rignot et al. 2012), η ταχεία διάδοση θερμών υδάτων στις θαλάσσιες περιοχές γύρω από τη Γροιλανδία αυξάνουν τον ρυθμό τήξης των πάγων, συμβάλλοντας ενδεχομένως στην αύξηση εμφάνισης θερμών τύπων

καιρού, καθώς και στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και στην αύξηση του σημείου δρόσου. Επιπλέον, σημαντικές μεταβολές (αύξηση 2-3°C για την περίοδο 1979-2019) παρατηρούνται στις θαλάσσιες περιοχές γύρω από την Ισλανδία. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού είναι γνωστό ότι αλλάζουν σημαντικά, καθώς η χρονική εξέλιξη των αλλαγών περιγράφεται συνήθως από τον δείκτη Atlantic Multidecadal Variability Index (AMV - μία χρονική σειρά ετήσιων μέσων τιμών SST στον Βόρειο Ατλαντικό). Συνθήκες όπως οι παραπάνω ενδεχομένως να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην κυκλοφορία του ρεύματος του Βόρειου Ατλαντικού. Το υποθαλάσσιο αυτό ρεύμα μεταφέρει θερμά ύδατα από τον Ισημερινό ως τα ανοιχτά της Βόρειας Ευρώπης, μέσα από ένα σύστημα ανακύκλωσης των υδάτων. Αυξήσεις στη θερμοκρασία των υδάτων του Βόρειου Ατλαντικού και των Αρκτικών περιοχών συμβάλλουν στην απορρύθμιση των μηχανισμών κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να «φθίνει» η ανακύκλωση των υδάτων, οδηγώντας σε πιθανή παύση της κυκλοφορίας.

Σε συμφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα, οι Lee & Sheridan (2018), μελετώντας την περιοχή της ηπειρωτικής Βόρειας Αμερικής για την περίοδο 1979-2017 με την ταξινόμηση GWTC, ανίχνευαν σημαντικές αυξήσεις στους θερμούς τύπους καιρού (κυρίως των HW και W στην ευρύτερη περιοχή του Καναδικού Αρκτικού Αρχιπελάγους και του DW στην περιοχή του βόρειου Μεξικού). Επίσης, σημαντικές είναι και οι μειώσεις που ανιχνεύθηκαν στους ψυχρούς τύπου καιρού (D και DC) στις ίδιες περιοχές. Η ταξινόμηση SCC έχει, επίσης, εφαρμοστεί σε αρκετές μελέτες για τη διερεύνηση μεταβολών στη συχνότητα τύπων καιρού, κυρίως στη Βόρεια Αμερική (Sheridan et al. 2012), με παρόμοια αποτελέσματα όπως τα παραπάνω. Όλες αυτές οι αναλύσεις αποκαλύπτουν ότι ανάλογα με την τοποθεσία και τον κάθε τύπου καιρού, υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα στη σχέση μεταξύ της υπερθέρμανσης του περιβάλλοντος και των τάσεων των συγκεκριμένων τύπων καιρού.

Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας την πρόσφατη ταξινόμηση καιρικών συνθηκών επιφάνειας (GWTC), η παρούσα μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση των αλλαγών στις πολυμεταβλητές ατμοσφαιρικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης από το 1979 έως το 2019. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στις περισσότερες περιοχές μελέτης, οι θερμοί τύποι καιρού δείχνουν σημαντική αύξηση στη συχνότητά τους από το 1979, ιδίως οι W, HW και DW τύποι στις πολικές περιοχές και οι W τύποι στην κεντρική Ευρώπη. Ταυτόχρονα, οι περισσότεροι ψυχροί τύποι καιρού παρουσιάζουν σημαντική μείωση στις παραπάνω περιοχές. Σχετικά με τους μεταβατικούς τύπους καιρού, μικρές μεταβολές παρατηρούνται, με αξιοσημείωτες μειώσεις των θερμών μετώπων στις πολικές περιοχές και σε περιοχές της νοτιοανατολικής Ευρώπης, ενώ σημειώνεται αύξηση των ψυχρών μετώπων κυρίως στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που η χρονική περίοδος μελέτης (41 έτη) που εφαρμόστηκε υποδεικνύει σημαντικές τάσεις, το χρονικό διάστημα είναι σχετικά μικρό για την ανάδειξη ενός αδιαμφισβήτητου κλιματικού σήματος.

Σε έρευνες όπου χρησιμοποιούνται μεμονωμένες μετεωρολογικές μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία) για τη μελέτη και τη συσχέτιση τάσεων, αύξηση των επεισοδίων υψηλών θερμοκρασιών συνεπάγεται σχεδόν καθολικά μείωση των επεισοδίων χαμηλών θερμοκρασιών. Ωστόσο, με την εφαρμογή τύπων καιρού, αυτή η διχοτόμηση δεν είναι απαραίτητα παρούσα (π.χ. αύξηση στη συχνότητα εμφανίσεων θερμών και υγρών τύπων καιρού δεν σημαίνει απαραίτητα μείωση ξηρών και ψυχρών τύπων), καθώς κανένας τύπος καιρού δεν μπορεί να θεωρηθεί στην πραγματικότητα ως «αντίθετος» ενός άλλου. Επιπλέον, παρόλο που υπάρχει μία αναμενόμενη συσχέτιση μεταξύ των χωρικών μεταβολών των

διαφόρων τύπων καιρού GWTC (Σχήμα 3) και των μεταβολών της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου (Σχήμα 4), το απόλυτο μέγεθος αυτών των συσχετίσεων ποικίλλει σημαντικά από τύπο σε τύπο, αναδεικνύοντας τη συνεισφορά αυτής της μελέτης.

Αν και δεν μας προκαλούν έκπληξη οι μεταβολές όσον αφορά τη γεωγραφική θέση, εντούτοις, το μέγεθος των αλλαγών στη συχνότητα για τους τύπους καιρού είναι απροσδόκητα μεγάλο. Έτσι, παρόλο που μία μεταβολή 30-40 ημερών (ή ακόμα και παραπάνω) ανά έτος στη συχνότητα ενός συγκεκριμένου τύπου καιρού μπορεί να φαντάζει εξωπραγματική σε σύγκριση με τις διαφορές 2-3 °C που υποδεικνύουν οι περισσότερες κλιματικές έρευνες, η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας για τους ιθύνοντες και το ευρύ κοινό.

Βιβλιογραφία

- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, Vol. 437, pp. 529–533.
- Francis, J.A., Vavrus, S.J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, L06801.
- Gillett, N.P., Stott, P.A. (2009). Attribution of anthropogenic influence on seasonal sea level pressure. *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, No. 23, L23709.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Hondula, D.M., Vanos, J.K., Gosling, S.N. (2014). The SSC: a decade of climate–health research and future directions. *International Journal of Biometeorology*, Vol. 58, pp. 109–120.
- Ionita, M., Lohmann, G., Rimbu, N., Chelcea, S., Dima, M. (2011). Interannual to decadal summer drought variability over 15 Europe and its relationship to global sea surface temperature. *Climate Dynamics*, Vol. 38, pp. 363–377.
- Lee, C.C. (2017). Reanalysing the impacts of atmospheric teleconnections on cold-season weather using multivariate surface weather types and self-organizing maps. *International Journal of Climatology*, Vol. 37, pp. 3714–3730.
- Lee, C.C. (2015). The development of a gridded weather typing classification scheme. *International Journal of Climatology*, Vol. 35, pp. 641–659.
- Lee, C.C., Sheridan, S.C. (2018). Trends in weather type frequencies across North America. *Npj Climate and Atmospheric Science*, Vol. 1, No. 41.
- McVicar, T., Roderick, M. (2010). Winds of change. *Nature Geoscience*, Vol. 3, pp. 747–748.
- Rignot, E., Fenty, I., Menemenlis, D., Xu, Y. (2012). Spreading of warm ocean waters around Greenland as a possible cause for glacier acceleration. *Annals of Glaciology*, Vol. 53, No. 60, pp. 257–266.

- Robine, J.M., Cheung, S.L., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.P., Herrmann, F.R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, Vol. 331, No. 2, pp.171-178.
- Santer, B.D., Mears, C., Wentz, F.J., Taylor, K.E., Gleckler, P.J., Wigley, T.M.L., Barnett, T.P., Boyle, J.S., Brüggemann, W., Gillett, N.P., Klein, S.A., Meehl, G.A., Nozawa, T., Pierce, D.W., Stott, P.A., Washington, W.M., Wehner, M.F. (2007). Identification of human-induced changes in atmospheric moisture content. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 39, pp. 15248-15253.
- Schär, C., Vidale, P., Lüthi, D. et al. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, Vol. 427, pp. 332–336.
- Screen, J.A. (2014). Arctic amplification decreases temperature variance in northern mid to high-latitudes. *Nature Climate Change*, Vol. 4, pp. 577-582.
- Sheridan, S.C. (2002). The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America. *International Journal of Climatology*, Vol. 22, pp. 51–68
- Sheridan, S.C., Lee, C.C., Allen, M.J., Kalkstein, L.S. (2012). Future heat vulnerability in California, Part I: projecting future weather types and heat events. *Climatic Change*, Vol. 115, No. 2, pp. 291–309.
- SPSS Inc. The SPSS Two-Step cluster component: a scalable component to segment your customers more effectively. White paper, technical report, SPSS, Chicago, Illinois, USA. (2001).
- Van Lanen, H.A.J., Wanders, N., Tallaksen, L.M., Van Loon, A.F. (2013). Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 17, pp. 1715–1732.
- Willett K., Gillett N., Jones P., Thorne P. (2007). Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature*, Vol. 449, pp.710-712.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ ΚΤΙΡΙΩΝ

Δικαία Σαραγά

Φυσικός, MSc, PhD

Εργαστήριο Ατμοσφαιρικής Χημείας και Καινοτόμων Τεχνολογιών

I.P.P.E.T.E.A.

E.K.E.Φ.E. Δημόκριτος

E-mail: dsaraga@ipta.demokritos.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε όλους τους τομείς του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και στην υγεία και ευημερία του παγκόσμιου πληθυσμού, είναι πλέον εμφανείς. Η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει πλέον την προσοχή της στην πρόβλεψη του φαινομένου και, σε συνεργασία με τους κυβερνητικούς φορείς, στον σχεδιασμό και την υλοποίηση δράσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τον μετριασμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την προσαρμογή στις πιθανές συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η μελέτη της επίδρασης των πιέσεων από την αλλαγή του κλίματος στο εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων φαίνεται, ίσως, να έχει δευτερεύουσα σημασία, δεδομένου ότι το κτιριακό κέλυφος έχει ως σκοπό να προστατεύει τον άνθρωπο από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στην πραγματικότητα, όμως, αποτελεί ένα πολύ σοβαρό ζήτημα το οποίο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει πολλές άμεσες και έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που διαμένουν ή εργάζονται σε ένα κτίριο, μέσω της υπερθέρμανσης των κτιρίων, της υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, της μόλυνσης με βακτήρια και μικροοργανισμούς και της αυξημένης υγρασίας. Η μεταβολή του κλίματος μπορεί να επιδεινώσει ακόμα περισσότερο τα προβλήματα εξαιρισμού των κτιρίων στο μέλλον, καθώς στην προσπάθεια επίτευξης της βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης, πιθανόν να περιοριστεί περισσότερο η ανανέωση του εσωτερικού αέρα με νωπό. Η αλληλεπίδραση του δομημένου περιβάλλοντος με την ποιότητα της ατμόσφαιρας, άρα και του κλίματος, είναι αμφίδρομη. Ο σχεδιασμός των νέων κτιρίων θα πρέπει να έχει ως στόχο τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (στο κέλυφός τους, στον εσωτερικό τους αέρα, στην υγεία και άνεση των χρηστών τους) αλλά, ταυτόχρονα, και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από την ίδια τη λειτουργία τους στο φυσικό περιβάλλον και το κλίμα.

Λέξεις κλειδιά: *Αέρας εσωτερικών χώρων, κτίρια, κλιματική αλλαγή, θερμική άνεση, υγρασία, αερισμός*

Εισαγωγή

Οι προβλέψεις για τις συνέπειες του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής επιβεβαιώνονται με ραγδαίο ρυθμό. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε όλους τους τομείς του φυσικού

περιβάλλοντος, καθώς και την υγεία και την ευημερία του παγκόσμιου πληθυσμού, είναι πλέον αναπόφευκτη (WMO 2021). Η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει πλέον την προσοχή της στην πρόβλεψη του φαινομένου και, σε συνεργασία με τους κυβερνητικούς φορείς, στον σχεδιασμό και την υλοποίηση δράσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τον μετριασμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την προσαρμογή στις πιθανές συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Παρ' όλα αυτά, συγκριτικά μικρότερη προσοχή έχει δοθεί στην μελέτη της επίδρασης των πιέσεων από την αλλαγή του κλίματος στο εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων και την υγεία και ευημερία των χρηστών τους. Και ενώ, εν πρώτοις, το θέμα αυτό φαίνεται, ίσως, δευτερεύον, δεδομένου ότι το κτιριακό κέλυφος έχει ως σκοπό να προστατεύει τον άνθρωπο από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, στην πραγματικότητα αποτελεί ένα πολύ σοβαρό ζήτημα το οποίο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Ο λόγος είναι ότι ο σύγχρονος άνθρωπος, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες, καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του μέσα στα κτίρια (είτε αυτά είναι η κατοικία του, είτε ο χώρος εργασίας του, είτε οι δημόσιοι εσωτερικοί χώροι κ.ά.) (Harrison et al. 2002) στα οποία θα βιώσει και τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής (Crump 2011, IOM 2011).

Όπως γνωρίζουμε, ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται σε ένα κτίριο από τα ανοίγματα (παράθυρα, πόρτες, χαραμάδες), επηρεάζοντας σημαντικά το εσωτερικό περιβάλλον (ποιότητα αέρα, θερμοκρασία, υγρασία). Η επίδραση αυτή μειώνεται στο ελάχιστο στην περίπτωση των καλά μονωμένων κτιρίων, τα οποία κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια με σκοπό την απομόνωση του εσωτερικού περιβάλλοντος από τις δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες (π.χ. ακραίες θερμοκρασίες, καταιγίδες σκόνης) ή/και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη. Ενώ, όμως, με τον τρόπο αυτόν οι άνθρωποι που βρίσκονται στο κτίριο προστατεύονται από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, ταυτόχρονα εκτίθενται σε ένα άλλο πρόβλημα, αυτό της επιβαρυνμένης ποιότητας του εσωτερικού αέρα (Saraga et al. 2017). Τα απόλυτα μονωμένα σύγχρονα κτίρια τείνουν να έχουν αφενός μειωμένο ή προβληματικό ρυθμό ανανέωσης αέρα και αφετέρου υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων που εκπέμπονται και εγκλωβίζονται σε εσωτερικούς χώρους.

Στο παρόν άρθρο συζητείται η σύνδεση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον εσωτερικό αέρα των κτιρίων και κατ' επέκταση στην υγεία των ανθρώπων που κατοικούν, εργάζονται ή παρευρίσκονται σε αυτά. Πιο συγκεκριμένα, διερευνώνται οι απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα:

- Γιατί θα πρέπει να μας ανησυχεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο εσωτερικό ενός κτιρίου;
- Πώς επηρεάζεται ο εσωτερικός αέρας ενός κτιρίου από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής;
- Ποια είναι τα μέτρα ελέγχου και αντιμετώπισης των δυσμενών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής σε ένα κτίριο;

Απαντώντας στις παραπάνω ερωτήσεις, θα αποσαφηνιστούν οι έμμεσες και άμεσες επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στα κτίρια, το εσωτερικό τους περιβάλλον αλλά και την ανθρώπινη άνεση, ευημερία και υγεία.

Γιατί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ποιότητα του εσωτερικού αέρα κτιρίων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα;

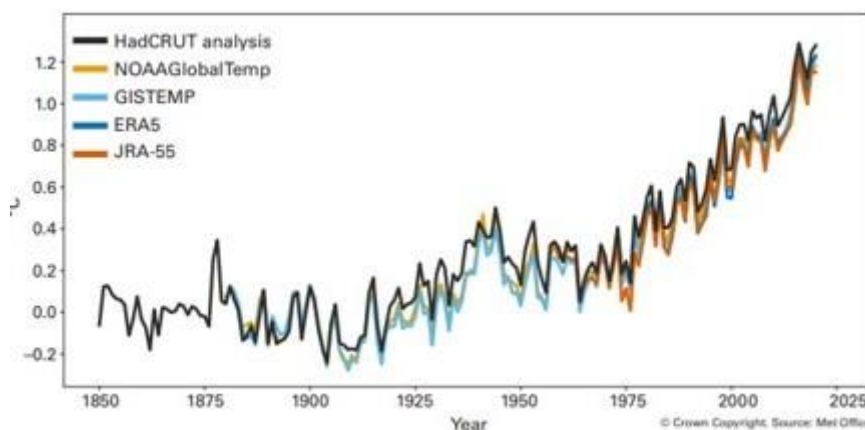
Ο όρος ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος περιλαμβάνει τόσο την ποιότητα εσωτερικού αέρα (χημικοί και βιολογικοί παράγοντες) όσο και τις συνθήκες που δημιουργούνται από τις παραμέτρους της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του θορύβου, του φωτισμού αλλά και της ανανέωσης του αέρα (αερισμός). Η ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος έχει σημαντική επίδραση στην υγεία και άνεση των χρηστών ενός κτιρίου (κατοικία, χώρος εργασίας, σχολείο κ.ά.) άρα και στην ευημερία, την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα αυτών. Οι μη ικανοποιητικές περιβαλλοντικές συνθήκες μέσα σε ένα κτίριο δύναται να έχουν σημαντικές οικονομικές συνέπειες για ένα κράτος (επιδείνωση ασθενειών, μειωμένη παραγωγικότητα κ.ά.) (Fisk 1997). Επομένως, η επίδραση του εξωτερικού περιβάλλοντος στο κτιριακό κέλυφος, τον εσωτερικό αέρα και τον άνθρωπο που ζει σε αυτόν, υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, έχει αρχίσει να απασχολεί σε μεγάλο βαθμό την επιστημονική -και όχι μόνο- κοινότητα. Οι περιορισμένες μέχρι σήμερα μελέτες (IOM 2011, Spengler 2012, Nazaroff 2013, Vardoulakis et al. 2015) στο αντικείμενο, καθώς και η πολυπλοκότητα της προσέγγισης (διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ανά περιοχή, ηλικία, χρήση και κατάσταση κτιρίων κ.ά.) καθιστούν την έρευνα για το θέμα μία πρόκληση για τους αρμόδιους επιστημονικούς και πολιτικούς φορείς.

Από την υπερθέρμανση του πλανήτη στην υπερθέρμανση των κτιρίων και την θερμική άνεση στο εσωτερικό τους

Καθώς η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη σημειώνει αυξητική τάση (Εικόνα 1), με τα κύματα καύσωνα να γίνονται συχνότερα τις τελευταίες δεκαετίες, το αστικό περιβάλλον δεν έχει μείνει ανεπηρέαστο. Στα αστικά κέντρα, το φαινόμενο της θερμικής νησίδας συνεισφέρει στην αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας και κατ' επέκταση της θερμοκρασίας των κτιρίων που βρίσκονται σε αυτά. Και παρόλο που οι μέχρι τώρα επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες ενδέχεται να προκαλέσουν σοβαρές επιπλοκές στην υγεία, μέχρι και αιφνίδιο θάνατο, τα στοιχεία στα οποία βασίζονται αφορούν το εξωτερικό κυρίως περιβάλλον. Η διερεύνηση της σχέσης της θνησιμότητας με τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, ανεξαρτήτως της εξωτερικής θερμοκρασίας, είναι πολύ περιορισμένη στη βιβλιογραφία (Vadodaria et al. 2014, DCLG 2012, Anderson et al. 2013) και για τον λόγο αυτόν είναι δύσκολο να οριστεί αυστηρά τιμή-όριο για τη θερμοκρασία που θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία στο εσωτερικό ενός κτιρίου. Ωστόσο, η σχέση εσωτερικής θερμοκρασίας και κινδύνου για την υγεία επηρεάζεται από παράγοντες, όπως η τοποθεσία του κτιρίου (π.χ. κλίμα περιοχής), το ίδιο το κτίριο (π.χ. ηλικία, χρήση, υλικά κατασκευής, είδος μόνωσης) αλλά και η συμπεριφορά των χρηστών του (π.χ. χρήση κλιματισμού, άνοιγμα παραθύρων, ένδυση).

Όπως προαναφέρθηκε, οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας έχουν αποδεδειγμένα συνδεθεί με σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ειδικά αυτή των ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων (ηλικιωμένοι, παιδιά, ασθενείς κ.ά.). Περισσότερο ευάλωτοι στις ακραίες τιμές θερμοκρασίας είναι, επίσης, οι άνθρωποι που ζουν στα αστικά κέντρα, καθώς καλούνται να τις αντιμετωπίσουν, σχεδόν αποκλειστικά, σε εσωτερικούς χώρους. Τα συστήματα κλιματισμού αφενός παρέχουν καλύτερες συνθήκες διαβίωσης ή εργασίας από την άποψη της θερμικής άνεσης, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες έχουν συνδεθεί με την εμφάνιση ή επιδείνωση προβλημάτων του αναπνευστικού συστήματος, αλλεργίες κ.ά. Επιπλέον, η παράμετρος του κόστους της ενεργειακής κατανάλωσης αφενός θέτει περιορισμούς για τη χρήση τους, ειδικά

σε υποβαθμισμένες οικονομικά περιοχές ή σε περιπτώσεις νοικοκυριών με χαμηλό εισόδημα, αφετέρου δύναται να συμβάλει σε επιπλέον εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Για τους λόγους αυτούς, αναζητούνται νέοι τρόποι ελέγχου της χρήσης κλιματισμού, όπως π.χ. η κατασκευή παθητικών κτιρίων.



Εικόνα 1. Διακύμανση της μέσης παγκόσμιας ετήσιας θερμοκρασίας από το 1850 έως το 2020. Στοιχεία από 5 διαφορετικές βάσεις δεδομένων θερμοκρασίας (Πηγή: WMO 2021).

Σε κάθε περίπτωση, η σχέση θερμικής άνεσης μέσα σε ένα κτίριο - ενεργειακής εξοικονόμησης - ανθρώπινης υγείας θα πρέπει να διατηρείται σε απόλυτη ισορροπία, όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα κλιματισμού. Ανεξαρτήτως της προσέγγισης που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση ασφαλών εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι συνθήκες αυτές διατηρούνται ακόμα και όταν πιθανές αστοχίες στα συστήματα δόμησης ή διακοπές ρεύματος απενεργοποιούν τον μηχανικό αερισμό - κάτι που μπορεί να συμβεί πιο συχνά στις περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών.

Ποιότητα αέρα εσωτερικών χώρων

Η ποιότητα του εσωτερικού αέρα ενός κτιρίου επηρεάζεται από χημικούς, φυσικούς και βιολογικούς παράγοντες που βρίσκονται εσωτερικά και εξωτερικά του κτιρίου και σχετίζεται με την εμφάνιση βραχυπρόθεσμων ή μακροπρόθεσμων προβλημάτων υγείας, καθώς και με μεταβολές στην άνεση και ευημερία των χρηστών του κτιρίου. Η συγκέντρωση ενός ρύπου στον εσωτερικό αέρα ενός κτιρίου επηρεάζεται από το είδος του ρύπου και τα χαρακτηριστικά της πηγής του (π.χ. ρυθμός εκπομπής, τοποθεσία πηγής, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και αντιδραστικότητα ρύπου), τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (π.χ. ρυθμός αερισμού, μόνωση από το εξωτερικό περιβάλλον, σχέδιο, προσανατολισμός) αλλά και την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. συχνότητα ανοίγματος παραθύρων, χρήση καθαριστικών προϊόντων, κάπνισμα, μαγείρεμα κ.ά.).

Οι κυριότεροι ρύποι που συναντώνται στον αέρα εσωτερικών χώρων είναι:

- Τα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter, PM), τα οποία είτε προέρχονται από πηγές μέσα σε ένα κτίριο, όπως το κάπνισμα και οι καύσεις, το μαγείρεμα και η επαναιώρηση της σκόνης, είτε εισέρχονται στο κτιριακό κέλυφος προερχόμενα από εξωτερικές πηγές, όπως οι εξατμίσεις των οχημάτων, οι εκπομπές από βιομηχανίες ή από μεταφορά σκόνης από δομικές εργασίες ή φυσικές πηγές (έδαφος, βλάστηση,

θάλασσα κ.ά.). Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να παραχθούν και δευτερογενώς, από φωτοχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα ή στον εσωτερικό αέρα. Χαρακτηριστική περίπτωση δευτερογενούς σχηματισμού αποτελεί εκείνη της παραγωγής λεπτών και υπέρλεπτων (fine, ultrafine) κυρίως σωματιδίων από την αντίδραση του όζοντος με τα τερπένια (π.χ. λιμονένιο, α-πινένιο) που εκλύονται από καθαριστικά και καλλυντικά προϊόντα που περιέχουν αρώματα.

- Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds, VOCs), όπως είναι το βενζόλιο, το τολουόλιο, τα ξυλόλια και η φορμαλδεΐδη, και προέρχονται από εκπομπές των δομικών υλικών και υλικών διακόσμησης του κτιρίου, των βερνικιών και χρωμάτων, της κόλλας, των καθαριστικών προϊόντων αλλά και από το κάπνισμα και άλλες καύσεις, καθώς και πηγές από το εξωτερικό περιβάλλον (κίνηση οχημάτων, βιομηχανία κ.ά.). Ένα χαρακτηριστικό των VOCs είναι η αύξηση της πτητικότητάς τους με τη θερμοκρασία π.χ. κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Campagnolo et al. 2017), γεγονός που επιτείνει την ανάγκη περιορισμού των εκπομπών τους υπό ακραίες συνθήκες.
- Οξείδια του αζώτου (NO , NO_2), τα οποία έχουν κυρίως εξωτερικές του κτιρίου πηγές (εκπομπές από οχήματα, καύσεις), αλλά συνδέονται και με εκπομπές από εστίες υγραερίου, το κάπνισμα και άλλες καύσεις στο εσωτερικό.
- Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το οποίο συνδέεται με εκπομπές από καύσεις (π.χ. τζάκια, εστίες υγραερίου, σόμπες), καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το οποίο παράγεται από την αναπνοή του ανθρώπου και χαρακτηρίζεται περισσότερο ως δείκτης για την ανανέωση του εσωτερικού αέρα παρά ως ρύπος.
- Όζον (O_3), το οποίο έχει κυρίως εξωτερική προέλευση και σε μικρότερο ποσοστό εσωτερική (έχει συνδεθεί με εκπομπές από φωτοτυπικά, εκτυπωτικά μηχανήματα και ηλεκτρονικό εξοπλισμό). Το όζον παράγεται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα, ειδικά σε συνθήκες έντονης ηλιοφάνειας και υψηλής θερμοκρασίας και εισέρχεται στο εσωτερικό των κτιρίων μέσω των ανοιγμάτων, συμμετέχοντας σε μία σειρά από πολύπλοκες αντιδράσεις στον εσωτερικό αέρα.

Πώς όμως οι μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες μίας περιοχής μπορούν να επηρεάσουν τον αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου που βρίσκεται σε αυτή; Όπως προαναφέρθηκε, ο εσωτερικός αέρας μπορεί να επηρεαστεί σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού αέρα, ως αποτέλεσμα των φυσικοχημικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα ή της μεταφοράς αερίων μαζών στην ευρύτερη περιοχή. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που, στην προσπάθεια της απομόνωσης του κτιριακού κελύφους από τον εξωτερικό αέρα ή/και την εξοικονόμηση ενέργειας για τον κλιματισμό του (π.χ. ακραίες τιμές θερμοκρασίας, έντονα επεισόδια μεταφοράς σκόνης), επιτυγχάνεται είτε σχεδόν ανύπαρκτος φυσικός αερισμός των κτιρίων (π.χ. μη ανοιγόμενα παράθυρα) είτε χαμηλός και μη επαρκής ρυθμός ανανέωσης του εσωτερικού αέρα με νωπό, ακόμα και με τη χρήση συστημάτων μηχανικού εξαερισμού. Κατά συνέπεια, τα μέτρα για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μπορούν, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να οδηγήσουν σε υψηλότερες τιμές ρύπων που εγκλωβίζονται στο εσωτερικό του κτιρίου και παραμένουν υψηλές, δεδομένου ότι επικρατούν συστηματικά χαμηλοί ρυθμοί εξαερισμού.

Τα μέτρα αντιμετώπισης της υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα θα πρέπει να εστιάζουν περισσότερο στην απομάκρυνση ή περιορισμό των πηγών ρύπανσης, παρά στην «αραίωση» των ρύπων αυξάνοντας τον ρυθμό ανανέωσης του εσωτερικού αέρα με νωπό. Παρ’

όλα αυτά, κάτι τέτοιο δεν είναι πάντοτε εφικτό. Εκτός από την άμεση απομάκρυνση των πηγών (π.χ. κατάργηση χρήσης συσκευών ανοιχτής καύσης, απαγόρευση καπνίσματος), η αντικατάσταση ορισμένων προϊόντων και υλικών που χρησιμοποιούνται σε ένα κτίριο (π.χ. καθαριστικά, επίπλωση, διακόσμησης) με υλικά που χαρακτηρίζονται από μειωμένες εκπομπές οργανικών πτητικών ουσιών αποτελεί έναν τρόπο περιορισμού των συγκεντρώσεων. Αδιαμφισβήτητα, η ανανέωση του εσωτερικού αέρα με νωπό αποτελεί σημαντική παράμετρο στη βελτίωση του προβλήματος, ειδικά σε πολύ καλά μονωμένα κτίρια. Η σωστή σχεδίαση, χρήση και συντήρηση ενός συστήματος εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC) ενός κτιρίου μπορεί να απομακρύνει τον εσωτερικό επιβαρυνόμενο αέρα από το κτίριο και να αποτρέψει την είσοδο ρυπασμένου εξωτερικού αέρα.

Υγρασία και μικροοργανισμοί

Οι ακραίες καιρικές συνθήκες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσουν σε βλάβες στις κτιριακές εγκαταστάσεις π.χ. έπειτα από μία ξαφνική πλημμύρα και διείσδυση νερού στους εσωτερικούς χώρους. Από την εισβολή του νερού, δημιουργούνται προβλήματα υγρασίας καθώς και ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων πάνω σε ευπαθή δομικά υλικά (Rea et al. 2003, Fisk et al. 2007). Ακραίες θερμοκρασίες και υγρασία μπορούν, επίσης, να ενισχύσουν την εκπομπή πτητικών ουσιών (off-gassing) από ορισμένα υλικά (δόμησης ή εξοπλισμού του κτιρίου). Και, ενώ μία καλά σχεδιασμένη και σωστή λειτουργία συστήματος κλιματισμού και εξαερισμού μπορεί να βελτιώσει τις συνθήκες υγρασίας, τα κακώς σχεδιασμένα ή συντηρημένα συστήματα μπορεί να εισάγουν επιπρόσθετη υγρασία στον χώρο, δημιουργώντας συμπτώκνωση στις εσωτερικές επιφάνειες και επιτείνοντας το πρόβλημα.

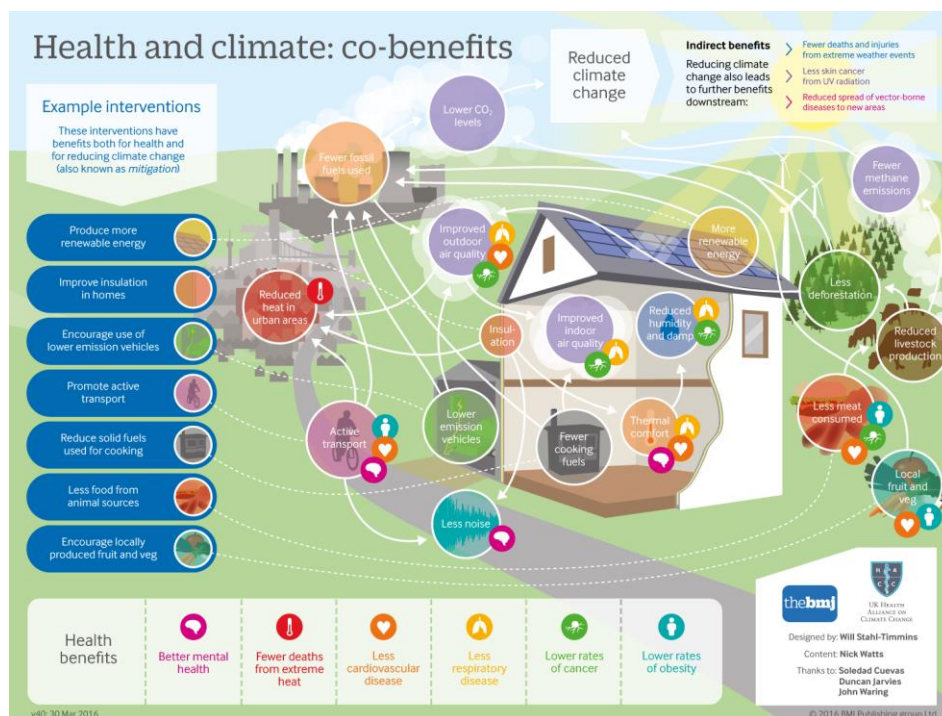
Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η διαμονή ή εργασία σε ένα κτίριο με αυξημένη υγρασία (υγροποιημένες επιφάνειες, ίχνη μούχλας κ.ά.) και η επαφή με βακτήρια και μικροοργανισμούς μπορεί να συσχετιστεί με την έναρξη ή επιδείνωση ορισμένων παθήσεων όπως αναπνευστικών λοιμώξεων, δερματικών εξανθημάτων, γαστρεντερικών επιπλοκών κ.ά. Επιπλέον, τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη και αντιμετώπιση της μούχλας και άλλων μικροοργανισμών που δημιουργούνται λόγω της υγρασίας είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη έκθεση.

Τα μέτρα προστασίας ενός κτιρίου από την αυξημένη υγρασία και τις συνέπειες της εστιάζουν στην επιλογή των σωστών υλικών δόμησης (ειδικότερα στα νέα, σύγχρονα κτίρια) καθώς και στον επαρκή αερισμό των εσωτερικών χώρων (Vardoulakis et al. 2015, Taylor et al. 2013). Οι κλιματολογικές συνθήκες της γύρω περιοχής, τα υπάρχοντα υλικά, η ενεργειακή εξοικονόμηση και ο τρόπος ζωής είναι μερικοί από τους παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν την θωράκιση ενός κτιρίου έναντι της υγρασίας από ακραίες ή μη καιρικές συνθήκες (Εικόνα 2).

Επίλογος και συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει πολλές άμεσες και έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που διαμένουν ή εργάζονται σε ένα κτίριο, μέσω της υπερθέρμανσης των κτιρίων, της υποβάθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα, της μόλυνσης με βακτήρια και μικροοργανισμούς και της αυξημένης υγρασίας. Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι ο μη επαρκής εξαερισμός ενός κτιρίου (κατοικία, σχολείο, γραφείο, νοσοκομείο κ.ά.) σχετίζεται με την εμφάνιση προβλημάτων υγείας των χρηστών του. Η μεταβολή στο κλίμα μπορεί να

επιδεινώνει ακόμα περισσότερο τα προβλήματα εξαερισμού των κτιρίων στο μέλλον, καθώς στην προσπάθεια επίτευξης της βέλτιστης ενεργειακής απόδοσης, πιθανόν να περιοριστεί περισσότερο η ανανέωση του εσωτερικού αέρα με νωπό. Συνδυαστικά μέτρα μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον τομέα σχεδιασμού και κατασκευής των κτιρίων, με βελτιωμένο σχεδιασμό συστημάτων εξαερισμού, παθητικής ψύξης και ενεργειακής απόδοσης, μπορούν να οδηγήσουν σε οφέλη για την ευημερία και υγεία του πληθυσμού.



Εικόνα 2. Αλληλεπίδραση κτιρίου-περιβάλλοντος/κλίματος (Πηγή: The bmj, Climate change, <https://www.bmj.com/campaign/climate-change>).

Η αλληλεπίδραση του δομημένου περιβάλλοντος με την ποιότητα της ατμόσφαιρας, άρα και του κλίματος, είναι αμφίδρομη (Εικόνα 2). Ο σχεδιασμός των νέων κτιρίων θα πρέπει να έχει ως στόχο την αποφυγή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (στο κέλυφός τους, στον εσωτερικό τους αέρα, στην υγεία και άνεση των χρηστών τους) αλλά ταυτόχρονα, και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από την ίδια τη λειτουργία τους στο κλίμα (π.χ. χρήση ορυκτών καυσίμων). Νέες τεχνολογίες με στόχο τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε νέα ή υπάρχοντα κτίρια, σχεδίαση παθητικών κτιρίων, χρήση προηγμένων υλικών κ.ά. μπορούν να εναρμονιστούν με διττό στόχο: τη μείωση της επιβάρυνσης της λειτουργίας του ίδιου του κτιρίου στο περιβάλλον αλλά και τη θωράκισή του έναντι των συνεπειών από την αλλαγή του κλίματος.

Βιβλιογραφία

- Anderson, M., Carmichael, C., Murray, V., Dengel, A., Swainson, M. (2013). Defining indoor heat thresholds for health in the UK. *Perspectives in Public Health*, Vol. 133, No. 3, pp. 158–164.
- Campagnolo, D., Saraga, D., Cattaneo, A., Spinazze, A., Mandin, C., Mabilia, R., Perreca, E., Sakellaris, I., Nuno Canha, N., Mihucz, V.G. Szigeti, T., Ventura, G., Madureira, J., de

- Oliveira Fernandes, E., Yvonnede Kluizenaar, Y., Cornelissen, E., Otto Hänninen, O., Wolkoff, P.C.P., M.Cavallo, D.M., Bartzis, J. (2017). VOCs and aldehydes source identification in European office buildings – The OFFICAIR study. *Building and Environment*, Vol. 115, pp. 18-24
- Crump, D. (2011). *Climate Change - Health Impacts due to Changes in the Indoor Environment; Research Needs*. Cranfield University, Institute of Environment and Health.
- Crump, D., Brown, V., Rowley, J., Squire, R. (2004). Reducing ingress of organic vapours into homes situated on contaminated land. *Environmental Technology*, Vol. 25, pp. 443–450.
- Crump, D., Dengel, A., Swainson, M. (2009). *Indoor Air Quality in Highly Energy Efficient Homes - A Review*. IHS BRE Press, NHBC Foundation.
- DCLG. *Investigation into overheating in homes: literature review* (2012).
- Dimitroulopoulou, C. (2012). Ventilation in European dwellings: A review. *Building and Environment*, Vol. 47, pp. 109–125.
- Fisk, W.J., Lei-Gomez, Q., Mendell, M.J. (2007). Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air*, Vol. 17, No. 4, pp. 284–296.
- Harrison, R.M., Thornton, C.A., Lawrence, R.G., Mark, D., Kinnersley, R.P., Ayres, J.G. (2002). Personal exposure monitoring of particulate matter, nitrogen dioxide, and carbon monoxide, including susceptible groups. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 59, No. 10, pp. 671–679.
- Institute of Medicine (2011). *Climate Change, the Indoor Environment, and Health*. Washington, DC: The National Academies Press.
- IOM (2011). *Climate Change, the Indoor Environment, and Health*. Medicine, I. O. The National Academies Press, Washington DC.
- Nazaroff, W.W. (2013). Exploring the consequences of climate change for indoor air quality. *Environmental Research Letters*, 8, 20.
- Rea, W.J., Didriksen, N., Simon, T.R., Pan, Y., Fenyves, E.J., Griffiths, B. (2003). Effects of toxic exposure to molds and mycotoxins in building-related illnesses. *Archives of Environmental Health*, Vol. 58, No. 7, pp. 399–405.
- Spengler, J.D. (2012). Climate change, indoor environments, and health. *Indoor Air*, Vol. 22, No. 2, pp. 89–95.
- Saraga, D., Maggos, T., Sadoun, E., Eleni Fthenou, E., Hala Hassan' H., Tsiouri, V., Karavoltzos, S., Sakellari' A., Vasilakos, C., Kakosimos, K. (2017). Chemical Characterization of indoor and outdoor Particulate Matter (PM_{2.5}, PM₁₀) in Doha, Qatar. *Aerosol & Air Quality Research*, Vol. 17, No. 5, pp. 1156- 1168.
- Taylor, J., Davies, M., Canales, M., Lai, K.M. (2013). The persistence of flood-borne pathogens on building surfaces under drying conditions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 216, No. 1, pp. 91–99.
- Vadodaria, K., Loveday, D.L., Haines, V. (2014). Measured winter and spring-time indoor temperatures in UK homes over the period 1969–2010: a review and synthesis. *Energy Policy*, Vol. 64, pp. 252–262.
- Vardoulakis, S., Dimitroulopoulou, C., Thornes, J., Ka-Man, L., Jonathon Taylor, J., Myers, I., Heaviside, C., Mavrogianni, A., Shrubsole, C., Chalabi, Z., Davies, M., Wilkinson, P. (2015). Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. *Environment International*, Vol. 85, pp. 299-313.

WMO, World Meteorological Organization, State of the Global Climate 2020, April 2021.

ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ

Πηνελόπη Σταυροπούλου
MSc Πολιτικός Μηχανικός
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
E-mail: pstavrop@gmail.com

Αναστασία Πούπκου
Ερευνήτρια Γ'
Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας
Ακαδημία Αθηνών
E-mail: apoupkou@academyofathens.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετώνται λύσεις μείωσης των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τις θαλάσσιες μεταφορές, δεδομένης της επίδρασής τους στην ποιότητα της ατμόσφαιρας και στην κλιματική αλλαγή, αλλά και της πρόβλεψης για σημαντική αύξησή τους, εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα μετριασμού. Ειδικότερα, εξετάζονται τρία σενάρια λειτουργίας για δύο διαφορετικού τύπου πλοία (φορτηγό και κρουαζιερόπλοιο), με διαφορετικές διαδρομές (εντός και εκτός Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών). Το ένα σενάριο σχετίζεται με τις τρέχουσες πρακτικές (βασικό), ενώ τα άλλα δύο λαμβάνουν αντίστοιχα υπόψη τους την χρήση τεχνολογιών αντιρρύπανσης (πλυντρίδες και καταλύτες) και των φιλικότερων προς το περιβάλλον καυσίμων (LNG). Η συγκριτική αξιολόγηση αναδεικνύει τη χρήση του LNG ως περισσότερο αποτελεσματικής μεθόδου στη μείωση των εκπομπών του ισοδύναμου CO₂, κατά -12% για το φορτηγό πλοίο και -9% για το κρουαζιερόπλοιο σε σχέση με το βασικό σενάριο. Οι αντίστοιχες μειώσεις των εκπομπών SO_x, NO_x και PM είναι πολύ υψηλές (ποσοστά -93% και μεγαλύτερα). Ωστόσο, η αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης που προκαλείται από τη ναυσιπλοΐα και η εύρεση των βέλτιστων λύσεων μετριασμού είναι ένα περίπλοκο θέμα που περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες που, εκτός από τεχνολογικοί και οργανωτικοί, είναι και οικονομικοί. Η οικονομοτεχνική διάσταση εξετάζεται, επίσης, στην τρέχουσα εργασία.

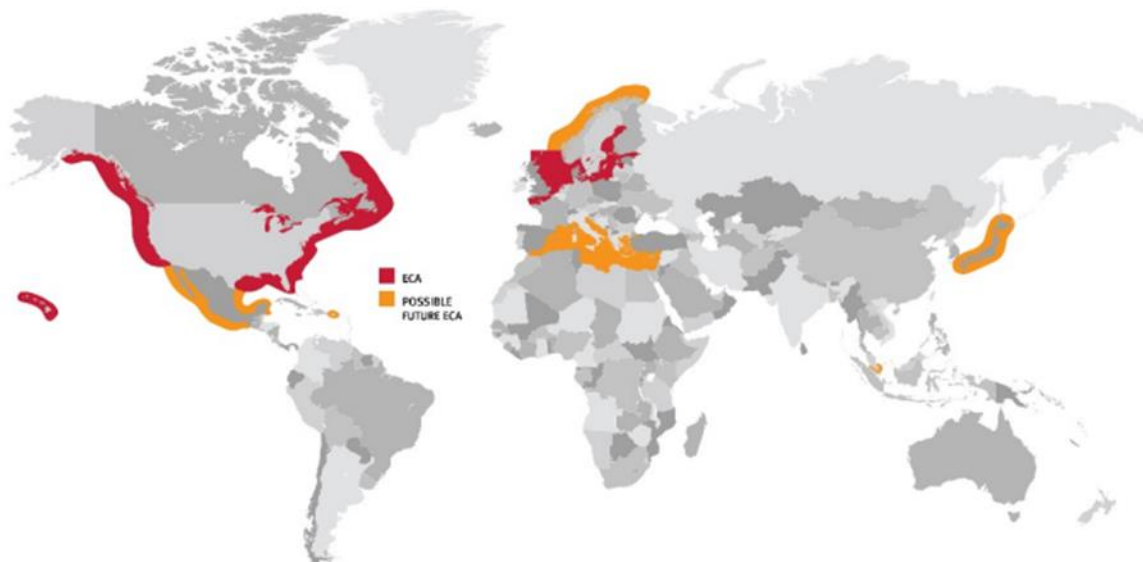
Λέξεις κλειδιά: Εκπομπές ρύπων πλοίων, μέθοδοι μείωσης εκπομπών ρύπων, Scrubbers, LNG

Εισαγωγή

Η ναυτιλία αποτελεί έναν από τους κυριότερους κλάδους στον τομέα των παγκόσμιων μεταφορών, με καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη τόσο του εμπορίου όσο και της οικονομίας. Οι θαλάσσιες μεταφορές διακινούν πάνω από το 80% του όγκου του παγκόσμιου εμπορίου (UNCTAD 2015). Τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται ραγδαία εξέλιξη, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ατμοσφαιρικούς ρύπους που εκπέμπονται από τα πλοία

(Boulougouris & Chrysinas 2015). Τα καυσαέρια από την καύση των ναυτιλιακών καυσίμων περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), άκανστους υδρογονάνθρακες, οξείδια του θείου (SO_x), οξείδια του αζώτου (NO_x) και αιωρούμενα σωματίδια (PM). Οι θαλάσσιες μεταφορές εκπέμπουν περίπου 940 εκατομμύρια τόνους CO_2 ετησίως και είναι υπεύθυνες για το 2,5% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (IMO, 2015). Σχεδόν το 70% των αερίων ρύπων των πλοίων εκπέμπονται σε ακτίνα μικρότερη των 400 km από τις ακτές, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται σημαντικά η ποιότητα του αέρα στα λιμάνια και στις παράκτιες περιοχές (Corbett et al. 2007, Kontos et al. 2017).

Στην οδηγία-πλαίσιο για τη θαλάσσια στρατηγική 2008/56/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, οι εκπομπές από τα πλοία αναφέρονται ρητά στον κατάλογο των πιέσεων και των επιπτώσεων που πρέπει να μειωθούν ή να ελαχιστοποιηθούν, προκειμένου να διατηρηθεί ή να επιτευχθεί καλύτερη οικολογική ισορροπία (Blasco et al. 2014). Ωστόσο, η εκτίμηση των επιπτώσεων τους και οι λύσεις για τη μείωση των εκπομπών αποτελεί πρόκληση, λόγω της εξάρτησης των εκπομπών από τους τύπους των κινητήρων και των φορτίων, από τα καύσιμα και τα διαφορετικά προφίλ λειτουργίας των πλοίων (π.χ. στο αγκυροβόλιο, κατά τη διάρκεια των ελιγμών και της κανονικής πλεύσης) (Rouprkou et al. 2014, Contini et al. 2015). Επίσης, η κλιματική επίδραση των εκπομπών πλοίων είναι περίπλοκη, με αντίθετες συνεισφορές. Οι εκπομπές CO_2 και μαύρου άνθρακα προκαλούν θέρμανση και τα NO_x αυξάνουν τα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου και του όζοντος, μειώνοντας τα επίπεδα του μεθανίου (CH_4) (Merico et al. 2017). Τα μέτρα μείωσης των εκπομπών SO_2 τείνουν να ενισχύσουν το φαινόμενο θέρμανσης (Fuglestedt et al. 2009), ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η μείωση συνοδεύεται από μεταβολές εκπομπών άλλων ρύπων, έτσι ώστε η παγκόσμια επίδραση στο κλίμα να παραμένει ασαφής (Merico et al. 2017).



Εικόνα 1. Υφιστάμενες και πιθανά μελλοντικές EEAs (Πηγή: <https://ft-maritime.com/>).

Τόσο σε διεθνές όσο και σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο έχουν θεσπιστεί κανονισμοί, όρια εκπομπών ρύπων και διατάξεις που υιοθετούνται από όλο και περισσότερα κράτη και ναυτιλιακές εταιρείες. Η εφαρμογή τους απαιτεί χρόνο και κόστος, μακροπρόθεσμα, όμως, θα αποφέρει σημαντικά οφέλη τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία (UNCTAD

2019). Η Διεθνής Σύμβαση για την Πρόληψη και Αντιμετώπιση της Ρύπανσης από τα πλοία (MARPOL) από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό υιοθετεί τις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) (Εικόνα 1):

- Βόρεια Αμερική που περιλαμβάνει τις περισσότερες ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά
- Καραϊβική, συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων
- Βόρεια θάλασσα
- Βαλτική θάλασσα.

Σύμφωνα με την MARPOL, σε όλες τις ECAs ισχύουν αυστηρότερα όρια για τις εκπομπές SO_x, ενώ μόνο στη Βόρεια Αμερική και την Καραϊβική ισχύουν αυστηρότερα όρια και για τις εκπομπές NO_x. Στο μέλλον αναμένεται να περιληφθούν και άλλες περιοχές στις ECAs (Εικόνα 1).

Η μείωση των ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία μπορεί να επιτευχθεί με:

- Μείωση της ποσότητας των καυσίμων που καταναλώνονται για τη λειτουργία του πλοίου, αν ληφθούν σχεδιαστικά και λειτουργικά μέτρα:
 - Σχεδιαστικές τροποποιήσεις στο σκάφος (σχήμα, υλικά κατασκευής, σχεδιασμός έλικα)
 - Τροποποιήσεις στη λειτουργία του πλοίου (ταχύτητα πλεύσης, χρόνοι αγκυροβολίας και ελλιμενισμού, καιρικές συνθήκες ταξιδιού).
- Αντικατάσταση των πετρελαϊκών καυσίμων για τη λειτουργία του πλοίου από άλλα καύσιμα περισσότερο φιλικά για το περιβάλλον:
 - Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)
 - Υγροποιημένο Υδρογόνο (LH₂)
 - Υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG)
 - Βιοκαύσιμα
 - Κυψέλες Καυσίμων.
- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική ή ηλιακή.
- Χρήση τεχνολογιών καθαρισμού καυσαερίων όπως:
- Πλυντρίδες (Scrubbers) που απομακρύνουν ρύπους (SO_x, PM, NO_x) μέσω διαλυτοποίησης ή απορρόφησης σε υγρό ή στερεό μέσο
- Καταλύτες για την εκλεκτική καταλυτική αναγωγή (SCR) των NO_x, τα οποία μετατρέπονται σε αβλαβές άζωτο και νερό, με προσθήκη στο αέριο ρεύμα ενός αναγωγικού αερίου ή υγρού.

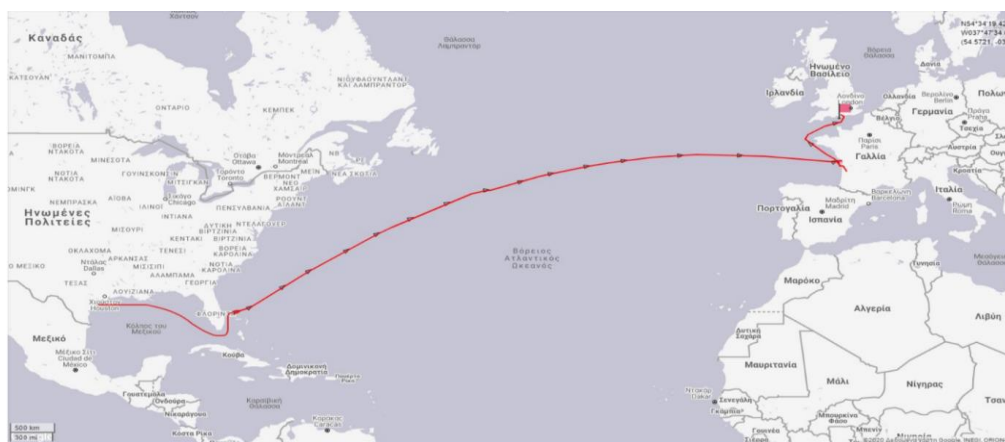
Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση λύσεων για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία, οπότε εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια λειτουργίας δύο διαφορετικών τύπων πλοίου. Σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται η ενέργεια που καταναλώνει το πλοίο και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπει (SO_x, PM, NO_x, CO₂, CH₄), ενώ ακολουθεί

συγκριτική αξιολόγηση των σεναρίων λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές ρύπων και οικονομοτεχνικά στοιχεία.

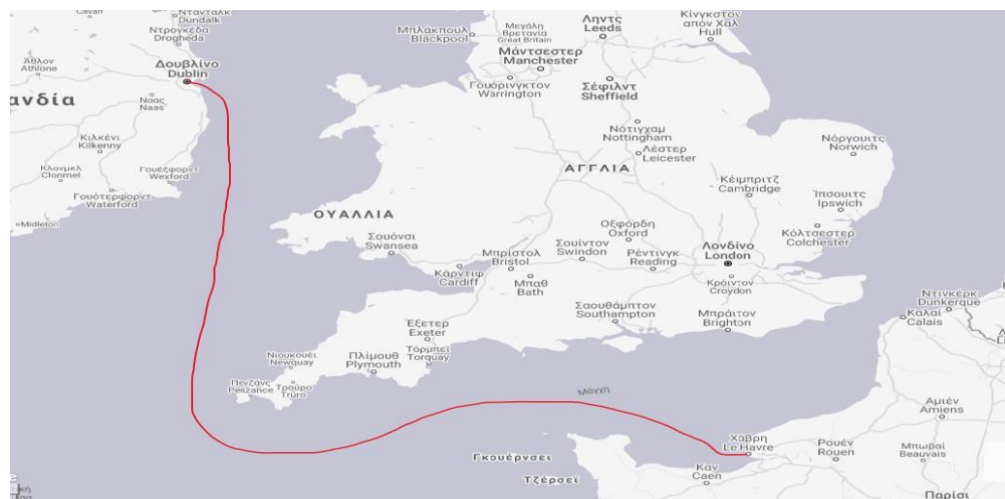
Μεθοδολογία

Οι δύο τύποι πλοίων που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη είναι οι παρακάτω:

- Φορτηγό πλοίο που εκτελεί διαδρομή από το λιμάνι Ingleside στο Texas των ΗΠΑ στο λιμάνι Southampton στο Ηνωμένο Βασίλειο, με ενδιάμεσους σταθμούς τα λιμάνια La Rochelle και Bordeaux στη Γαλλία (Εικόνα 2),
- Κρουαζιερόπλοιο που ταξιδεύει από το λιμάνι Le Havre στη Γαλλία στο λιμάνι του Dublin στην Ιρλανδία (Εικόνα 3).



Εικόνα 2. Διαδρομή φορτηγού πλοίου (Πηγή: <https://marinetraffic.com/>).



Εικόνα 3. Διαδρομή κρουαζιερόπλοιου (Πηγή: <https://marinetraffic.com/>).

Για κάθε τύπο πλοίου εξετάζονται τρία σενάρια λειτουργίας από τα οποία το πρώτο είναι το βασικό, ενώ τα δύο επόμενα εξετάζονται ως προς τη μείωση των εκπομπών ρύπων που μπορεί να προκαλούν:

- 1^ο Σενάριο HFO–MGO (Βασικό): Κίνηση του πλοίου με χρήση μαζούτ πλοίων (Heavy Fuel Oil, HFO) για τη λειτουργία της κύριας μηχανής και πετρελαϊκού καυσίμου Marine Gas Oil (MGO) για τη λειτουργία της βοηθητικής μηχανής σε περιοχές εκτός ECAs και κίνηση του πλοίου με χρήση MGO εντός ECAs
- 2^ο Σενάριο HFO-Scrubbers-SCR: Κίνηση του πλοίου με χρήση καυσίμου HFO για τη λειτουργία της κύριας και της βοηθητικής μηχανής, με παράλληλη χρήση Scrubbers για την απομάκρυνση των SOx και PM και συστήματος SCR για την απομάκρυνση των NOx
- 3^ο Σενάριο LNG: Κίνηση του πλοίου με χρήση καυσίμου LNG για όλες τις λειτουργίες του.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων και των οικονομοτεχνικών στοιχείων, πρέπει να είναι γνωστά τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των καυσίμων (Πίνακας 1), οι συντελεστές εκπομπής ρύπων και το κόστος ανά καύσιμο (Πίνακες 2 και 3) και το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται σε κάθε περίπτωση (Πίνακας 4).

Πίνακας 1. Ειδική κατανάλωση καυσίμων¹.

Καύσιμο	Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου (g/kWh)
HFO	184,68
MGO	168,21
LNG	148,15

¹The Engineering Toolbox (<https://www.engineeringtoolbox.com/>).

Πίνακας 2. Συντελεστές εκπομπής ατμοσφαιρικών ρύπων για κάθε καύσιμο¹.

Καύσιμο	Εκπομπές Ατμοσφαιρικών Ρύπων (kg/kg)				
	CO ₂	CH ₄	SO _x	NO _x	PM
HFO	5,86	0,00011	0,03498	0,17111	0,00780
MGO	6,23	0,00012	0,00273	0,17597	0,00190
LNG	5,56	0,04050	0,00004	0,01580	0,00036
HFO-Scrubbers-SCR	5,86	0,00011	0,00035	0,03422	0,00156

¹Gilbert et al., 2018.

Πίνακας 3. Τιμές καυσίμων (Ιανουάριος 2020)^{1,2}.

Καύσιμο	Τιμή Καυσίμου (€/mt)	Τιμή Καυσίμου (€/MWh)
HFO	348,08	32,14
MGO	651,11	54,76
LNG	220,45	16,33

¹Ship and Bunker (www.shipandbunker.com/prices).

²U.S. Energy Information Administration (www.eia.gov/dnav/ng/hist/n9133us3m.htm).

Για να αξιολογηθούν οικονομοτεχνικά τα σενάρια λειτουργίας των πλοίων, υπολογίζεται για κάθε ένα από αυτά η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) των χρηματοοικονομικών ροών. Στις χρηματοοικονομικές εισροές περιλαμβάνονται η εξοικονόμηση δαπάνης από το κόστος των καυσίμων και το κοινωνικοοικονομικό όφελος, λόγω της μείωσης των εκπομπών ρύπων που επιτυγχάνεται. Το κόστος της επένδυσης σε εξοπλισμό λαμβάνεται ως εκροή. Η ΚΠΑ προκύπτει από τη σχέση:

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^N \frac{Ταμειακές\ ροές}{(1+r)^t} - Αρχική\ επένδυση$$

όπου t είναι η χρονική περίοδος, N η εξεταζόμενη διάρκεια λειτουργίας (20 έτη), r το προεξοφλητικό επιτόκιο (θεωρείται σταθερό κατά τη διάρκεια της εικοσαετίας και ίσο με 5%).

Για τον υπολογισμό του κοινωνικοοικονομικού οφέλους που προκύπτει από τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών των ρύπων, λαμβάνονται υπόψη τιμές για κάθε ρύπο ανά θαλάσσια περιοχή από την έκθεση EC (2017).

Πίνακας 4. Κόστος αγοράς και εγκατάστασης εξοπλισμού των σεναρίων λειτουργίας των πλοίων¹.

Σενάριο	Κόστος Επένδυσης (€/kW)							
	Κινητήρας Αερίου		Σύστημα παροχής αερίου καυσίμου + Δεξαμενή		Scrubbers - Σύστημα διαχείρισης λυμάτων		Σύστημα SCR	
	Αγορά	Εγκ/ση	Αγορά	Εγκ/ση	Αγορά	Εγκ/ση	Αγορά	Εγκ/ση
HFO-MGO	-	-	-	-	-	-	-	-
HFO-Scrubbers-SCR	-	-	-	-	150	225	45	9
LNG	350	50	245	50	-	-	-	-

¹EC, 2017.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Φορτηγό πλοίο

Από τα στοιχεία λειτουργίας/διαδρομής του φορτηγού πλοίου και από τα χαρακτηριστικά των κινητήρων του (γνωστή ισχύς κύριας και βοηθητικής μηχανής), προκύπτει ότι οι απαιτήσεις του πλοίου σε ενέργεια για ένα πλήρες δρομολόγιο είναι 9.336.000 kWh (ή 84.024.000 kWh/έτος) (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Λειτουργία φορτηγού πλοίου και κατανάλωση ενέργειας για πλήρες δρομολόγιο.

Λειτουργία πλοίου	Απόσταση (NM)	Χρόνος (h)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
Κίνηση εκτός ECAs	7.565	-	-
Κίνηση εντός ECAs	3.100	-	-
Κίνηση εκτός ECAs με υψηλή ταχύτητα	-	608	6.444.800
Κίνηση εκτός ECAs με χαμηλή ταχύτητα	-	21	134.400
Κίνηση εντός ECAs με υψηλή ταχύτητα	-	188	1.992.800
Κίνηση εντός ECAs με χαμηλή ταχύτητα	-	92	588.800
Αναμονή	-	2	800
Φορτοεκφορτώσεις	-	26	62.400
Ελιγμοί	-	10	112.000
Σύνολο	10.665	947	9.336.000

Σύμφωνα με το πρώτο (βασικό) σενάριο λειτουργίας, βάσει των καταναλώσεων ενέργειας και της ειδικής κατανάλωσης των καυσίμων, προκύπτει ότι καταναλώνονται από το πλοίο ανά έτος

4.003,92 tn MGO (π.χ. κίνηση εντός ECAs, σε αναμονή ή κατά τη φορτοεκφόρτωση) και 11.121,58 tn HFO (κίνηση εκτός ECAs).

Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο λειτουργίας, οπότε γίνεται χρήση συστημάτων Scrubbers και SCR για την απομάκρυνση των SOx, PM και NOx, ενώ το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμο HFO για τη λειτουργία κύριας και βοηθητικής μηχανής καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού του, το πλοίο καταναλώνει 15.517,53 tn HFO ανά έτος.

Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο λειτουργίας, γίνεται αποκλειστική χρήση LNG ως καυσίμου και η ποσότητα LNG που καταναλώνεται είναι 12.448,17 tn LNG ανά έτος.

Από τις καταναλώσεις καυσίμων κάθε σεναρίου και με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2, υπολογίζονται οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων για κάθε σενάριο λειτουργίας του φορτηγού πλοίου.

Βάσει των τιμών των ρύπων ανά θαλάσσια περιοχή διέλευσης του πλοίου (EC 2017) και καθώς το πλοίο εκτελεί το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του στον Ατλαντικό Ωκεανό, εκτιμάται ότι το κοινωνικοοικονομικό όφελος από τη μείωση των εκπομπών ρύπων για το δεύτερο και τρίτο σενάριο σε σχέση με το πρώτο είναι περίπου 6.736 κ€/έτος και 8.523 κ€/έτος αντιστοίχως (Πίνακας 6). Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται, επίσης, τα κόστη για κάθε σενάριο λειτουργίας του πλοίου (κόστος επένδυσης και κόστος των καυσίμων που καταναλώνονται). Από τον Πίνακα 6 προκύπτει ότι, αν συμπεριλάβουμε το κοινωνικοοικονομικό όφελος από τη μείωση των εκπομπών ρύπων για το δεύτερο και τρίτο σενάριο, τότε για τα σενάρια αυτά προκύπτει θετική ΚΠΑ στο βάθος της εξεταζόμενης περιόδου των 20 ετών.

Πίνακας 6. Στοιχεία οικονομοτεχνικής αξιολόγησης των σεναρίων λειτουργίας του φορτηγού πλοίου.

Οικονομοτεχνικά Στοιχεία	Σενάριο HFO-MGO	Σενάριο HFO- Scrubbers- SCR	Σενάριο LNG
Κόστος Επένδυσης (κ€)	-	7.722,00	12.510,00
Κόστος Καυσίμου HFO (κ€/έτος)	3.871,20	5.401,34	-
Κόστος Καυσίμου MGO (κ€/έτος)	2.606,99	-	-
Κόστος Καυσίμου LNG (κ€/έτος)	-	-	2.744,20
Όφελος λόγω μείωσης εκπομπών ρύπων (κ€/έτος)	-	6.735,60	8.523,44
ΚΠΑ (κ€)	-	89.638,41	140.244,73

Κρουαζιερόπλοιο

Βάσει των στοιχείων λειτουργίας/διαδρομής του κρουαζιερόπλοιοι και των γνωστών χαρακτηριστικών των κινητήρων του, προκύπτει πως η ενέργεια που καταναλώνει σε ένα πλήρες δρομολόγιο είναι 8.564.220 kWh (ή 308.311.920 kWh/έτος) (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Λειτουργία κρουαζιερόπλοιοι και κατανάλωση ενέργειας για πλήρες δρομολόγιο.

Λειτουργία πλοίου	Απόσταση (NM)	Χρόνος (h)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh)
Κίνηση εκτός ECAs	600	-	-
Κίνηση εντός ECAs	510	-	-
Κίνηση εκτός ECAs με υψηλή ταχύτητα		96	4.233.600
Κίνηση εκτός ECAs με χαμηλή ταχύτητα		6	158.760
Κίνηση εντός ECAs με υψηλή ταχύτητα		80	3.528.000
Κίνηση εντός ECAs με χαμηλή ταχύτητα		8	211.680
Αναμονή	-	22	32.340
Φορτοεκφορτώσεις	-	24	211.680
Ελιγμοί	-	4	188.160
Σύνολο	1.110	240	8.564.220

Σύμφωνα με το πρώτο (βασικό) σενάριο λειτουργίας, βάσει των καταναλώσεων ενέργειας και της ειδικής κατανάλωσης των καυσίμων, προκύπτει ότι καταναλώνονται από το πλοίο ανά έτος

24.123,53 tn MGO (π.χ. κίνηση εντός ECAs, σε αναμονή ή κατά τη φορτοεκφόρτωση) και 30.453,50 tn HFO (κίνηση εκτός ECAs).

Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο λειτουργίας, γίνεται χρήση συστημάτων Scrubbers και SCR για την απομάκρυνση των SO_x, PM και NO_x, ενώ το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμο HFO για τη λειτουργία κύριας μηχανής και βοηθητικής μηχανής καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού. Το πλοίο καταναλώνει 56.939,05 tn HFO ανά έτος.

Σύμφωνα με το τρίτο σενάριο λειτουργίας, γίνεται αποκλειστική χρήση καυσίμου LNG. Η LNG ποσότητα που καταναλώνεται είναι 45.676,41 tn LNG ανά έτος.

Από τις καταναλώσεις καυσίμων κάθε σεναρίου και με βάση τους συντελεστές του Πίνακα 2, υπολογίζονται οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων για κάθε σενάριο λειτουργίας του κρουαζιερόπλοιου.

Βάσει των τιμών των ρύπων ανά θαλάσσια περιοχή από την οποία διέρχεται το κρουαζιερόπλοιο (EC 2017), εκτιμάται ότι το κοινωνικοοικονομικό όφελος από τη μείωση των εκπομπών ρύπων για το δεύτερο και τρίτο σενάριο σε σχέση με το πρώτο είναι περίπου 57.696 κ€/έτος και 70.008 κ€/έτος αντιστοίχως (Πίνακας 8). Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται, επίσης, τα κόστη για κάθε σενάριο λειτουργίας του πλοίου (κόστος επένδυσης και κόστος των καυσίμων που καταναλώνονται). Όπως και στην περίπτωση του φορτηγού πλοίου, έτσι και για το κρουαζιερόπλοιο διαφαίνεται ότι, αν λάβουμε υπόψη το κοινωνικοοικονομικό όφελος από τη μείωση των εκπομπών ρύπων για το δεύτερο και τρίτο σενάριο, τότε για τα σενάρια αυτά προκύπτει θετική ΚΠΑ σε περίοδο 20 ετών (Πίνακας 8).

Πίνακας 8. Στοιχεία οικονομοτεχνικής αξιολόγησης των σεναρίων λειτουργίας του κρουαζιερόπλοιου.

Οικονομοτεχνικά Στοιχεία	Σενάριο HFO-MGO	Σενάριο HFO Scrubbers SCR	Σενάριο LNG
Κόστος Επένδυσης (κ€)	-	31.531,50	51.082,50
Κόστος Καυσίμου HFO (κ€/ έτος)	10.600,25	19.819,34	-
Κόστος Καυσίμου MGO (κ€/ έτος)	15.707,07	-	-
Κόστος Καυσίμου LNG (κ€/ έτος)	-	-	10.069,36
Όφελος λόγω μείωσης εκπομπών ρύπων (κ€/ έτος)	-	57.695,98	70.007,89
ΚΠΑ (κ€)	-	768.342,56	1.023.731,50

Συμπεράσματα

Η χρησιμοποίηση συστημάτων αντιρρύπανσης Scrubbers και SCR, τόσο στην περίπτωση του φορτηγού πλοίου όσο και στην περίπτωση του κρουαζιερόπλοιου, συνεπάγεται πολύ μικρή αύξηση των εκπομπών CO₂ (+1% και +1,5% αντίστοιχα), ενώ οι εκπομπές CH₄ παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες. Οι εκπομπές SO_x και NO_x μειώνονται και για τις δύο περιπτώσεις πλοίων σε πολύ μεγάλο ποσοστό (-80% έως -99% περίπου). Οι εκπομπές των PM παρουσιάζουν σημαντική μείωση κατά -75% σε σχέση με το βασικό σενάριο στην περίπτωση του φορτηγού πλοίου που κινείται κυρίως σε εκτός ECAs περιοχές καταναλώνοντας συνολικά μεγαλύτερες ποσότητες καύσιμου HFO σε σχέση με το MGO. Για την περίπτωση του κρουαζιερόπλοιου, η αντίστοιχη μείωση των PM εκπομπών είναι -70% περίπου.

Στην περίπτωση που τα καύσιμα κίνησης του βασικού σεναρίου για τα υπό μελέτη πλοία αντικατασταθούν από LNG, η μείωση των εκπομπών CO₂ υπολογίζεται σε -23% και για το κρουαζιερόπλοιο και για το φορτηγό πλοίο. Αντιθέτως, οι εκπομπές CH₄ γίνονται 300 φορές μεγαλύτερες. Εξετάζοντας τις συνολικές ισοδύναμες εκπομπές CO₂, αυτές μεταβάλλονται κατά -9% τόσο για το φορτηγό πλοίο όσο και για το κρουαζιερόπλοιο σε σχέση με το βασικό σενάριο και παρουσιάζονται μειωμένες, σε αντίθεση με την περίπτωση χρήσης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας του δεύτερου σεναρίου. Επίσης, οι εκπομπές των SO_x, NO_x και PM μειώνονται σημαντικά σε σχέση με το βασικό σενάριο σε ποσοστά μεταξύ -93% έως -99,9% και πιο αποτελεσματικά συγκριτικά με το δεύτερο σενάριο.

Ο υπολογισμός της Καθαρής Παρούσας Αξίας ανέδειξε οικονομικό όφελος σε βάθος δύο δεκαετιών και στις δύο περιπτώσεις πλοίων, τόσο για το σενάριο χρήσης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας όσο και για εκείνο χρήσης εναλλακτικού καυσίμου σε σχέση με το βασικό.

Για την τελική επιλογή της καλύτερης δυνατής λύσης μείωσης των ατμοσφαιρικών εκπομπών ρύπων θα πρέπει να συνυπολογιστούν και άλλοι παράγοντες. Ενδεικτικά, στην περίπτωση εγκατάστασης συστήματος Scrubbers θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαχείριση των αποβλήτων που παράγουν τα συστήματα αυτά. Στην περίπτωση χρήσης LNG ως καυσίμου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η διαθεσιμότητα δικτύου τροφοδοσίας με LNG, η δυνατότητα αποθήκευσής του (απαιτεί πολύ χώρο και ειδικού τύπου δεξαμενές), αλλά και η διαθεσιμότητα του αρχικού κεφαλαίου για τη μετατροπή σε πλοίο καύσης LNG.

Σε κάθε περίπτωση, η όποια προσπάθεια μείωσης των ρύπων που εκπέμπονται από τα πλοία απαιτεί σημαντικό κόστος, αλλά και χρόνο, για την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού και συνοδεύεται από μεγάλο ρίσκο, τόσο λόγω της αβεβαιότητας των τιμών των ναυτιλιακών καυσίμων, όσο και λόγω της μικρής γενικά εμπειρίας στην εφαρμογή των νέων διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών περιορισμού των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων.

Βιβλιογραφία

- Boulougouris, K.E., Chrysinas E.L. (2015). Lecture Notes on LNG Fueled Vessels Design Training, OTMW-N Module 1. University of Strathclyde (Glasgow), The Motorways of the Sea Digital Multichannel Platform project.
- Blasco, J., Durán-Grados, V., Hampel, M., Moreno-Gutiérrez, J. (2014). Towards an integrated environmental risk assessment of emissions from ships' propulsion systems. *Environment International*, Vol. 66, pp. 44–47.
- Contini, D., Donateo, A., Gambaro, A., Argiriou, A., Melas, D., Cesari, D., Poupkou, A., Karagiannidis, A., Tsakis, A., Merico, E., Cesari, R., Dinoi, A. (2015). Impact of ship traffic to PM_{2.5} and particle number concentrations in three port-cities of the Adriatic/Ionian area. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*. Vol. 9, No. 4, pp. 454-459.
- Corbett, J.J., Winebrake J.J., Green H.E., Kasibhatla P., Eyring V., Lauer A. (2007). Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment. *Environmental Science & Technology*, Vol. 41, pp. 8512–8518.
- EC 2017. Study on the Completion of an EU Framework on LNG-fueled Ships and its Relevant Fuel Provision Infrastructure. Analysis of the LNG market development in the EU. European Commission.
- Fuglestad, J., Berntsen, T., Eyring, V., Isaksen, I., Lee, D.S., Sausen, R. (2009). Shipping emissions: from cooling to warming of climates- and reducing impacts on health. *Environmental Science & Technology*, Vol. 43, pp. 9057–9062.
- Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K., Murphy A. (2018). Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, pp. 855-866.
- IMO, 2015. Third IMO GHG Study 2014 - Executive Summary and Final Report. International Maritime Organization, 2015.
- Kontos, S., Liora, N., Poupkou, A., Giannaros, C., Garane, K., Melas, D. (2017). Air quality impact of cruise and passenger ship emissions in the port of Thessaloniki. In: Karacostas, T. et al. (Eds), "Perspectives on atmospheric sciences", Springer International Publishing, Springer Atmospheric Sciences, pp. 1129-1134.
- Merico, E., Gambaro, A., Argiriou, A., Alebic-Juretic, A., Barbaro, E., Cesari, D., Chasapidis, L., Dimopoulos, S., Dinoi, A., Donateo, A., Giannaros, C., Gregoris, E., Karagiannidis,

- A., Konstandopoulos, A.G., Ivošević, T., Liora, N., Melas, D., Mifka, B., Orlic, I., Poupkou, A., Sarovic, K., Tsakis, A., Giua, R., Pastore, T., Nocioni, A., Contini, D. (2017). Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches. *Transportation Research Part D*, 50, pp. 431–445.
- Poupkou, A., Liora, N., Karagiannidis, A., Giannaros, T., Giannaros, C., Melas, D., Argiriou, A. (2014). Maritime sector emissions contribution to the particulate matter pollution in a Mediterranean city-port: A modeling approach. *Air Pollution Modeling and Its Application XXIII*, Eds: Douw Steyn, Rohit Mathur, Springer International Publishing Switzerland 2014, Springer Proceeding in Complexity, pp. 307-310.
- UNCTAD, 2015. Review of Maritime Transport 2015. Executive Summary and Final Report UNCTAD/RMT/2015 by the UNCTAD Secretariat, United Nations Conference on Trade and Development, Geneva.
- UNCTAD, 2019. Review of Maritime Transport 2019. United Nations Conference on Trade and Development, United Nations Publications.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Εμμανουήλ Τζιώλας

Διδάκτωρ Αγροτικής Οικονομίας
Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝ.ΑΛ.Ε)
ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ
E-mail: tziolasm@inale.gr

Γεώργιος Φυτιάνος

Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Περιβαλλοντικής Επιστήμης
Perrotis College, American Farm School
E-mail: gfytia@afs.edu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν άρθρο έχει ως στόχο την περιγραφή μίας μεθοδολογίας για την εκτίμηση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος από τη διαχείριση αστικών λυμάτων, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις διεργασίες που περιλαμβάνονται από τη μεταφορά και την επεξεργασία έως την τελική απόθεση των υποπροϊόντων. Ειδικότερα, στόχος του άρθρου είναι η περιγραφή ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG), με συνδυασμό της υπάρχουσας γνώσης και εφαρμογή υπολογιστικών μαθηματικών μοντέλων. Σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία, στο πλαίσιο αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, το συνολικό σύστημα διαχείρισης λυμάτων θα χωριστεί σε μικρότερα υποσυστήματα που θα αντιστοιχούν στη μεταφορά, την επεξεργασία αλλά και τη διάθεση των τελικών προϊόντων, ώστε να διαπιστωθεί ποιο υποσύστημα έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η πλατφόρμα που θα προβλέπει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μελετώντας το κάθε υποσύστημα χωριστά, αλλά και το ενιαίο συνολικό σύστημα, είναι ένα σημαντικό εργαλείο κατοχύρωσης της εκάστοτε δραστηριότητας. Με γνώμονα την υπάρχουσα γνώση, τις μετρήσεις πεδίου και την εφαρμογή ενός πλαισίου Αποτίμησης του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) θα αναπτυχθεί ένα πρωτόκολλο πιστοποίησης στα πρότυπα του ISO. Στόχος είναι η αποτίμηση επιπτώσεων που δεν ήταν δυνατή η καταγραφή τους μέχρι σήμερα και η κατοχύρωση του εκάστοτε χρήστη (ΔΕΥΑ ή ιδιώτη), ο οποίος θα αποκτά έτσι γνώση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε ενέργειάς του και θα μπορεί να επιλέγει κατάλληλα μέτρα για τη μείωσή του.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντικό αποτύπωμα, αστικά λύματα, GHG, eco-labeling, Life Cycle Assessment

Εισαγωγή

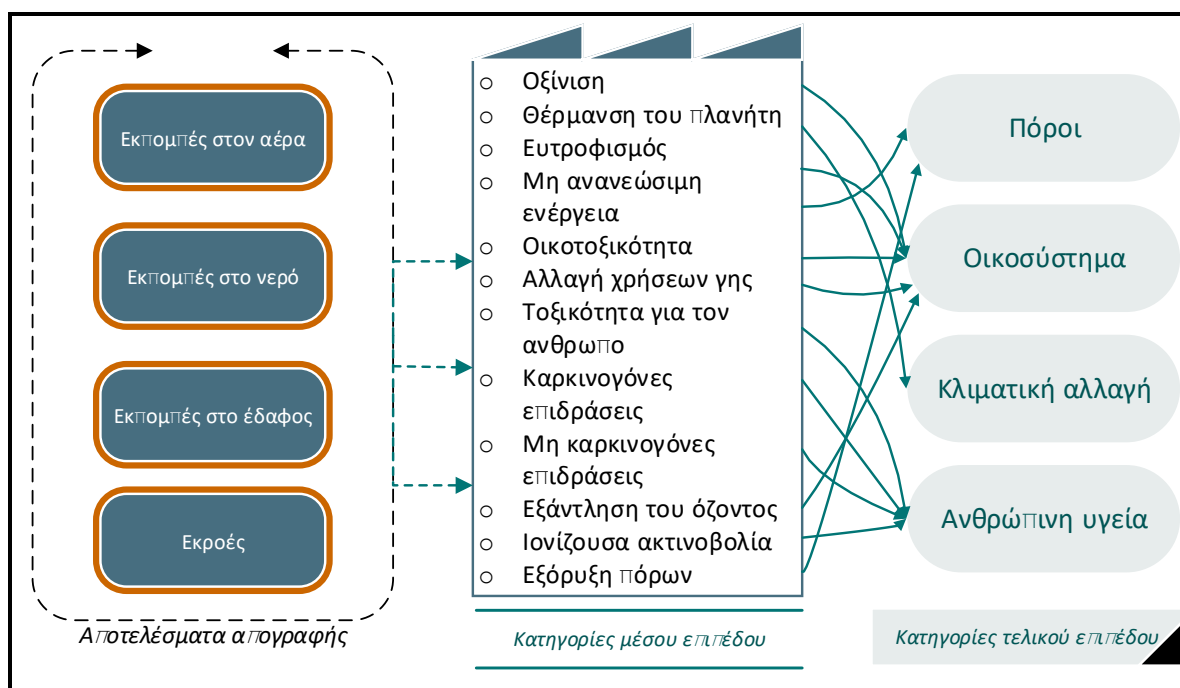
Στα συστήματα διαχείρισης λυμάτων παράγονται αέρια του θερμοκηπίου άμεσα, κυρίως CO₂, CH₄ (όταν επικρατούν ανοξικές συνθήκες) και N₂O, τόσο στους αγωγούς μεταφοράς των λυμάτων όσο και στη μετέπειτα διαχείρισή τους, αλλά και έμμεσα (μέσω της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται για τη μεταφορά και επεξεργασία τους). Μέχρι σήμερα, είναι περιορισμένες οι δημοσιευμένες μελέτες με αντικείμενο την αξιολόγηση των αερίων εκπομπών και τον υπολογισμό του ενεργειακού αποτυπώματος σε συστήματα διαχείρισης αστικών λυμάτων, όπου να περιλαμβάνεται και η μελέτη του συνόλου των επιμέρους συστημάτων. Τα συστήματα διαχείρισης λυμάτων παρουσιάζουν σημαντική πολυπλοκότητα, διότι περιλαμβάνουν το δίκτυο των αγωγών της αποχέτευσης, την εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας, αλλά και τον τελικό αποδέκτη των προϊόντων όπου διατίθενται οι επεξεργασμένες εκροές αλλά και η παραγόμενη ιλύς. Η σημαντική πολυπλοκότητα του προβλήματος σχετίζεται με τους παρακάτω παράγοντες και κυρίως με τα λειτουργικά - σχεδιαστικά χαρακτηριστικά:

- Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε αγωγούς αποχέτευσης εξαρτώνται άμεσα από την παροχή και τη σύσταση των αποβλήτων, αλλά και από την πιθανή κατάσταση των αγωγών. Για παράδειγμα, η διάβρωση των δικτύων από ατμούς υδρόθειου (H₂S) επηρεάζει την κατάσταση των αγωγών και συνεισφέρει στη δημιουργία και εκπομπή GHG.
- Οι εκπομπές GHG σχετίζονται άμεσα με το είδος της εγκατάστασης (εκτατικά, εντατικά συστήματα, αιωρούμενης ή προσκολλημένης βιομάζας, συμβατικού ή παρατεταμένου αερισμού) αλλά και τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας (φορτίσεις, ανακυκλοφορία ιλύος, θερμοκρασία).
- Οι συνολικές εκπομπές GHG επηρεάζονται άμεσα από τον τρόπο διάθεσης των παραπροϊόντων (π.χ. περίσσεια ιλύος) αλλά και από τη σύσταση των παραπροϊόντων. Διαφορετικές εκπομπές GHG προκύπτουν, όταν τα παραπροϊόντα διατίθενται σε έναν αποδέκτη και άλλες, όταν χρησιμοποιούνται για λίπανση και άρδευση αγροτικών εκτάσεων κ.λπ.

Είναι φανερό ότι κάθε μία από τις διεργασίες παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, καθιστώντας την αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος δύσκολη υπόθεση που εξαρτάται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Εντούτοις, για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύνολο των διεργασιών αυτών, προκειμένου να αποτιμηθεί η συνεισφορά τους στην περιβαλλοντική επιβάρυνση και στην παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου.

Η αποτίμηση και αξιολόγηση του προβλήματος, μέσα από έναν συνδυασμό δράσεων που περιλαμβάνουν την καταγραφή των εκπομπών στο πεδίο, την πειραματική τεκμηρίωση των εκπομπών από διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας αλλά και τον συνδυασμό υπολογιστικών μοντέλων, συνδυάζεται με την εφαρμογή της Αποτίμησης Κύκλου Ζωής. Συνεπώς, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη συνολική καταγραφή των εκπομπών GHG, από την έκλυσή τους μέχρι τον τελικό αποδέκτη, θα συμβάλουν στην ανάπτυξη μίας βάσης δεδομένων που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση εκπομπών GHG από μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων (ή των επιμέρους τμημάτων τους) που μπορεί να είναι εγκαταστημένες σε άλλες γεωγραφικές περιοχές και με διαφορετική δυναμικότητα.

Η LCA είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που διερευνά τον κύκλο ζωής μίας δραστηριότητας ή μίας διαδικασίας, απομονώνοντάς την και χωρίς να μετατοπίζει πιθανά προβλήματα σε άλλες περιοχές, περιβάλλοντα ή προϊόντα. Η LCA είναι το κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων και έχει εφαρμοστεί σε παγκόσμιο επίπεδο (Corominas et al. 2013). Η μέθοδος της LCA έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα με επιτυχία για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μονάδων επεξεργασίας λυμάτων (Bravo & Ferrer 2011, Gallego et al. 2008), ενώ η οπτική αυτών των προσεγγίσεων αφορά κατά κύριο λόγο το λειτουργικό στάδιο των μονάδων. Οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές απεικονίζονται με τη μορφή ενδιάμεσων δεικτών (mid-point indicators) οι οποίοι συνιστούν τους δείκτες τελικού σημείου (end-point indicators) και σχετίζονται άμεσα με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη - Global Warming Potential, GWP), τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (καρκινογόνες επιδράσεις, τοξικότητα για τον άνθρωπο κ.ά.) και τις επιπτώσεις στο οικοσύστημα (οξίνιση, ευτροφισμό, οικοτοξικότητα). Άλλες σχετικές μελέτες λαμβάνουν υπόψη τη φάση κατασκευής μίας εγκατάστασης επεξεργασίας, η οποία είναι υπεύθυνη για το 20% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Ortiz et al. 2007). Επίσης, σημαντικός αριθμός μελετών ασχολείται με τα υλικά κατασκευής (Kim et al. 2012). Ενδεικτικά, έχει αναφερθεί ότι σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που αφορούν μικρούς πληθυσμούς (<20.000 κατοίκων), οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εμφανίζουν υψηλότερες τιμές στην κατηγορία του ευτροφισμού και της οικοτοξικότητας και λιγότερο στο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (Gallego et al. 2008, Lassaux et al. 2007). Παρόμοια, ήταν και τα αποτελέσματα σε μεγαλύτερες μονάδες επεξεργασίας, με τις τρεις κατηγορίες επιπτώσεων να διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο (GWP: $5,45 \times 10^8$ kg CO₂-eq. – Εδαφική οικοτοξικότητα: $8,04 \times 10^5$ kg 1,4-DCB-eq. – Ευτροφισμός: $2,00 \times 10^7$ kg PO₄-eq. για μία μονάδα με δυναμικότητα επεξεργασίας 105 m³ αποβλήτων ημερησίως σε διάστημα 50 ετών) (Li et al. 2013).



Σχήμα 1. Παράγοντες για την αποτίμηση των επιπτώσεων σε ένα σύστημα διαχείρισης λυμάτων (μέσου και τελικού επιπέδου).

Μέθοδοι και υλικά

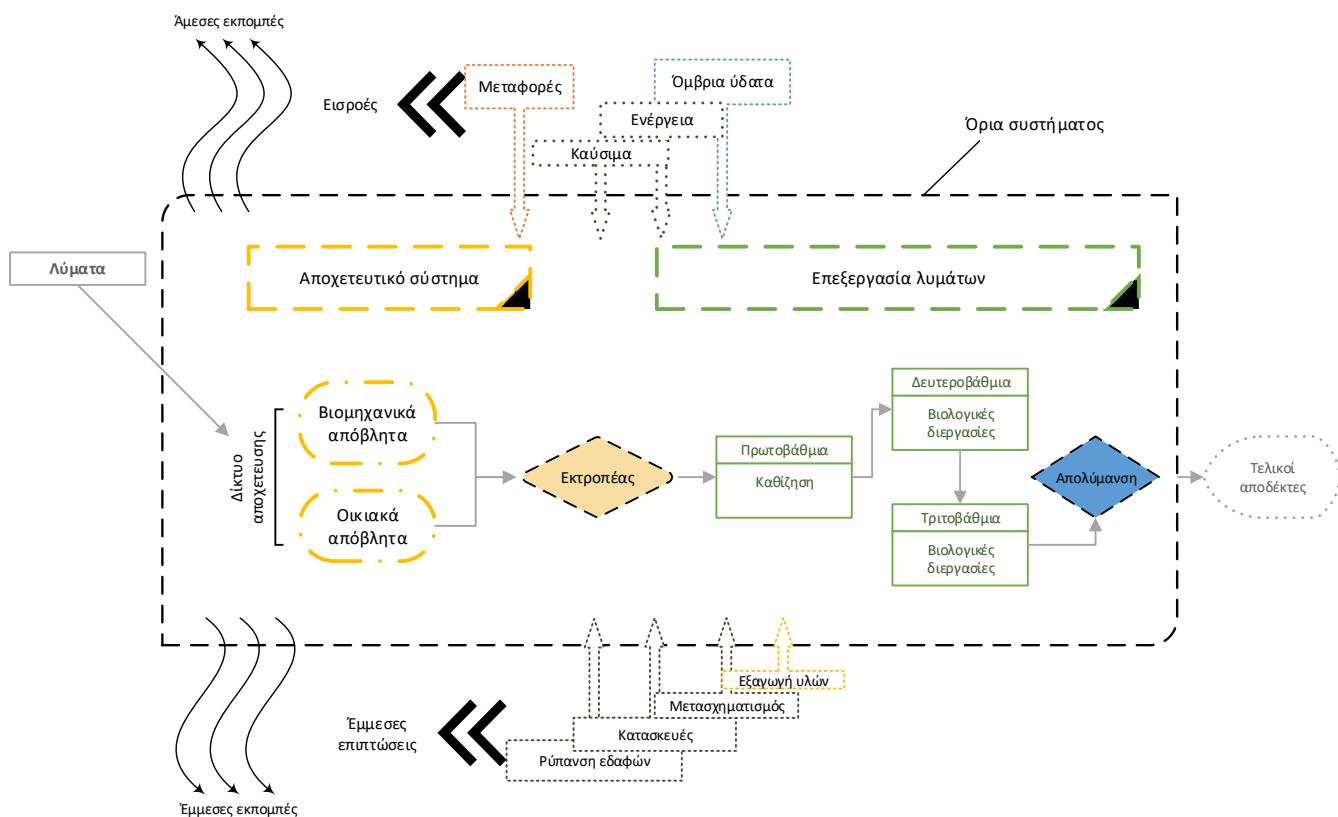
Η μεθοδολογία για την αποτίμηση των επιπτώσεων παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχήμα 1. Η υλοποίηση μίας τέτοιας μελέτης απαιτεί τη συνεργασία διαφορετικών φορέων και περιλαμβάνει μία σειρά από διαδοχικά βήματα που διαχωρίζονται σε πολλαπλά και αρθρωτά. Για την υλοποίηση του έργου θα πρέπει να εφαρμοστούν τρία επίπεδα ανάπτυξης, σύμφωνα και με το Σχήμα 2:

- Προσδιορισμός αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από υφιστάμενα συστήματα διαχείρισης λυμάτων, με μετρήσεις πεδίου αλλά και με εφαρμογή πειραματικών διατάξεων, προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές για διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων.
- Εφαρμογή υπολογιστικών αλγορίθμων που θα συνδέουν τη λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης με τις αναμενόμενες εκπομπές. Η εγκυρότητα των αλγορίθμων θα επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις πεδίου, ενώ η αντίστοιχη πρόβλεψη για διαφορετικά συστήματα θα είναι δυνατή με την αξιοποίηση των δεδομένων από τις πειραματικές διατάξεις.
- Ενοποίηση των υπολογιστικών αλγορίθμων με ένα σύστημα LCA, ώστε να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος διαχείρισης λυμάτων.

Σε τελικό στάδιο, η επίδραση των διαφορετικών συντελεστών στις περιβαλλοντικές παραμέτρους θα μπορεί να εκτιμηθεί με ανάλυση της ευαισθησίας, ώστε να προκύπτουν υποθετικά σενάρια λειτουργίας του συστήματος και τα όρια μέσα στα οποία μπορούν να εξασφαλίζονται οι ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, στη μεθοδολογία περιλαμβάνονται οι ακόλουθες αναλυτικές δράσεις.

Προσδιορισμός παραμέτρων και διαδικασιών για την αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Στην πρώτη φάση, θα πρέπει να γίνει πλήρης καταγραφή και αποτύπωση των σταδίων που συνιστούν ένα σύστημα διαχείρισης αστικών λυμάτων. Επιπλέον, θα πρέπει να καταγραφούν παράμετροι που θα αφορούν τόσο τα αέρια του θερμοκηπίου όσο και τις παραμέτρους λειτουργίας κάθε συστήματος (λειτουργία αντλιών στα αντλιοστάσια μεταφοράς των λυμάτων και κατανάλωση ενέργειας), τις λειτουργικές παραμέτρους σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (παροχή και σύσταση αποβλήτων, σχεδιαστικά χαρακτηριστικά δεξαμενών και εξοπλισμού, ενεργειακή κατανάλωση κ.λπ.), αλλά και τις παραμέτρους σχεδιασμού των συστημάτων τελικής διαχείρισης (έκταση για τη διάθεση της περίσσειας ιλύος στην αγροτική γη, παροχή και ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής που χρησιμοποιείται για άρδευση, είδος καλλιεργειών, σύσταση εδάφους κ.λπ.). Επιπλέον, θα πρέπει να προσδιοριστούν τα πρωτόκολλα που θα εφαρμοστούν για τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων, αλλά και να καθοριστούν οι ανάγκες σε πειραματικές διατάξεις, προκειμένου να αποτιμηθούν οι περιβαλλοντικές εκπομπές σε διαφορετικού τύπου συστήματα επεξεργασίας. Στο στάδιο αυτό, απαιτείται η συνεργασία όλων των ενδιαφερόμενων μερών (stakeholders), προκειμένου να προκύψουν τα πρωτόκολλα των μετρήσεων, αλλά και ένα εγχειρίδιο με τις βασικές παραμέτρους που θα μετρούνται για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.



Σχήμα 2. Όρια συστήματος διαχείρισης λυμάτων για την ανάπτυξη της LCA.

Αποτίμηση των αερίων του θερμοκηπίου στο συνολικό σύστημα διαχείρισης των λυμάτων

Στο στάδιο αυτό, θα πρέπει να εγκατασταθούν συστήματα καταμέτρησης των GHGs στα διαφορετικά υποσυστήματα που απαρτίζουν το σύστημα διαχείρισης λυμάτων. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις στο δίκτυο συλλογής και μεταφοράς, στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων αλλά και στον τελικό αποδέκτη των παραπροϊόντων. Η καταμέτρηση επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί από εξειδικευμένο προσωπικό (εταιρεία πιστοποιήσεων ή προσωπικό ερευνητικών ιδρυμάτων) για την αποφυγή σημαντικών αποκλίσεων, ενώ το χρονικό διάστημα μετρήσεων αφορά τουλάχιστον 1 έτος, με έμφαση στα παρακάτω σημεία:

- **Αποχετευτικά δίκτυα:** μέτρηση εκπομπών από φρεάτια συλλογής λυμάτων και από αντλιοστάσια. Ειδικότερα, στα αντλιοστάσια θα καταγραφούν οι αέριες εκπομπές που εκλύονται από τα ίδια τα λύματα αλλά και από τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- **Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων:** μέτρηση εκπομπών από τις διαφορετικές διεργασίες, με έμφαση στα έργα εισόδου, όπου γίνεται η υποδοχή των λυμάτων, στις εγκαταστάσεις αερισμού αλλά και στα συστήματα επεξεργασίας της ιλύος και κυρίως σε αυτά που συνδέονται με την παραγωγή και χρήση βιοαερίου.
- **Τελικός αποδέκτης:** έμφαση στην καταμέτρηση των αερίων εκπομπών κατά τη διάθεση της επεξεργασμένης εκροής, είτε σε έναν τελικό αποδέκτη είτε κατά την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση, με προσδιορισμό των εκπομπών στον χώρο άρδευσης. Παράλληλα, καταγράφονται οι εκπομπές κατά τη διάθεση της

περίσσειας ιλύος σε αγροτικές καλλιέργειες, με συλλογή πληροφοριών που αφορούν στο είδος της καλλιέργειας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους κ.λπ.

Σε κάθε υποσύστημα πρέπει να γίνει προσπάθεια καταγραφής των ρύπων για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1 έτους, ώστε να προσδιοριστούν τυχόν διακυμάνσεις που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του υποσυστήματος, καθώς και με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Παράλληλα, με τις μετρήσεις συλλέγονται στοιχεία που αφορούν στα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε υποσυστήματος όπως:

- Στα δίκτυα αγωγών: ποσοστό πλήρωσης, κατάσταση αγωγών σε συνδυασμό με παλαιότητα και υλικό κατασκευής, ταχύτητα υγρού, σύσταση υγρού, λειτουργία και παλαιότητα αντλιών κ.λπ.
- Στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων: παροχή/σύσταση αποβλήτων, χρόνος παραμονής λυμάτων και οργανισμών, ενεργειακή κατανάλωση αεριστήρων, παραγωγή ιλύος και σύσταση περίσσειας, απόδοση αναερόβιων χωνευτών κ.λπ.
- Στον τελικό αποδέκτη: ρυθμός φόρτισης αρδευόμενων εκτάσεων ή διάθεσης εκροών, σύσταση παραπροϊόντων, είδος αποδέκτη κ.λπ.

Ιδιαίτερη προσπάθεια πρέπει να καταβληθεί από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς, ώστε οι απαιτούμενες μετρήσεις να γίνουν σε διαφορετικά συστήματα διαχείρισης λυμάτων, με σκοπό να αναδειχθούν οι ιδιαιτερότητες κάθε συστήματος. Ως παράδειγμα αναφέρεται η καταμέτρηση των εκπομπών στο σύστημα διαχείρισης της πόλης της Θεσσαλονίκης, σε συνεργασία με την ΕΥΑΘ ΑΕ.

Θα πρέπει να εγκατασταθούν διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας σε εργαστηριακές διατάξεις που θα λειτουργούν σε συνθήκες παρόμοιες με τις πραγματικές, προκειμένου να αποτιμηθούν οι περιβαλλοντικές εκπομπές από διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση, ώστε οι μονάδες αυτές να αντιστοιχούν σε ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα, πέραν των συμβατικών, όπως βιοαντιδραστήρες μεμβρανών, αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας εναλλασσόμενων φάσεων, βιόφιλτρα κ.ά. Αντίστοιχα, υφιστάμενα συστήματα για την επεξεργασία της ιλύος με αναερόβια χώνευση θα πρέπει να τροποποιηθούν, με σκοπό να μελετηθούν οι περιβαλλοντικές εκπομπές από συστήματα αναερόβιων αντιδραστήρων. Ο σκοπός αυτής της φάσης είναι η εκτίμηση των αερίων εκπομπών από διαφορετικού τύπου εγκαταστάσεις επεξεργασίας, δίνοντας έμφαση στις διεργασίες εκείνες που αναμένεται να έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά. Παράλληλα, το στάδιο αυτό έχει τον εξής διπλό στόχο:

- Σύγκριση των μετρήσεων πεδίου από πραγματικές μονάδες με τα αποτελέσματα από τις εργαστηριακές μονάδες.
- Προσδιορισμός των διακυμάνσεων, ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας της κάθε μονάδας, και ταυτοποίηση των παραμέτρων εκείνων που επηρεάζουν σημαντικά τις εκπομπές.

Ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων λειτουργίας των συστημάτων διαχείρισης λυμάτων

Στην επομένη φάση, θα πρέπει να αναπτυχθούν υπολογιστικά μοντέλα που θα συνδέουν την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των διατάξεων. Για τον σκοπό αυτόν, υφιστάμενα εμπορικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων αλλά και για τον έλεγχο της λειτουργίας τους μπορούν να αποτελέσουν ιδανικές επιλογές. Έμφαση δίνεται στην εφαρμογή

ελεύθερων λογισμικών που ήδη εφαρμόζονται σε παγκόσμια κλίμακα, προκειμένου να ενισχυθεί το δυναμικό εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Το επιλεγμένο λογισμικό ίσως χρειαστεί να τροποποιηθεί, ώστε στα ισοζύγια μάζας κάθε διάταξης να συμπεριληφθούν οι αναμενόμενες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες παραμέτρους λειτουργίας, π.χ. παρουσία αυτοτροφικής και ετεροτροφικής βιομάζας, αντιδράσεις σχηματισμού μεθανίου από υδρογονοτροφικούς ή οξικοτροφικούς αναερόβιους οργανισμούς κ.λπ.

Η εγκυρότητα του μοντέλου θα πρέπει να ελεγχθεί σε συνάρτηση με τα δεδομένα πεδίου που θα ληφθούν από τις μετρήσεις πεδίου. Παράλληλα, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που θα προκύψουν από τις εργαστηριακές διατάξεις, θα διερευνηθεί η εφαρμογή του λογισμικού και σε άλλες διεργασίες. Στο τελικό στάδιο αυτής της φάσης, θα πρέπει να γίνει ανάλυση ευαισθησίας, προκειμένου να καταγραφούν οι αντίστοιχες εκπομπές με μεταβολή των παραμέτρων λειτουργίας, όπως σύσταση αποβλήτων, περιβαλλοντικές παράμετροι (θερμοκρασία, υγρασία) κ.ά. και να αξιολογηθεί η αβεβαιότητα στον ποσοτικό προσδιορισμό του δυνητικού σφάλματος που περιέχεται στις πληροφορίες που υπολογίζονται μέσω των μοντέλων.

Συνδυασμός υπολογιστικών μοντέλων με σύστημα Αποτίμησης Κύκλου Ζωής.

Στο στάδιο αυτό, ένα υφιστάμενο μοντέλο LCA από οποιουδήποτε λογισμικό πακέτο (π.χ. SimaPro, OpenLCA κ.ά.) θα συνδεθεί με τα υπολογιστικά μοντέλα, ώστε να δημιουργηθεί μία πλατφόρμα που θα επιτρέπει την αποτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από συστήματα διαχείρισης λυμάτων. Ο κύριος φορέας για την εφαρμογή της LCA πρέπει να έχει γνώσεις αποτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και του σχετικού πρωτοκόλλου ISO:

- ISO 14040: (2006) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- ISO 14044: (2006) Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines

Το σύστημα αποτελείται από δύο υποσυστήματα για την ολοκληρωμένη αποτίμηση των επιπτώσεων σε ολόκληρο το εύρος του κύκλου ζωής των λυμάτων. Πρόκειται για μία μελέτη από την αρχή έως το τέλος της ζωής (cradle to grave), με τα δύο υποσυστήματα να χωρίζονται σε αποχετευτικό σύστημα και σύστημα επεξεργασίας λυμάτων που περιλαμβάνει και την τελική διάθεση. Οι εισροές που θα ληφθούν υπόψιν αφορούν τις άμεσες και τις έμμεσες εκπομπές του συστήματος, ενώ η επεξεργασία λυμάτων αποτελεί ένα πιο δαιδαλώδες υποσύστημα, με διαφορετικές κατευθύνσεις που πρέπει, όμως, να μελετηθούν ξεχωριστά.

Αρχικά, τα λύματα έρχονται σε ένα παντοροϊκό ή χωριστικό δίκτυο από διάφορες πηγές και εν συνεχεία διοχετεύονται στον αγωγό μεταφοράς που τα οδηγεί στην εκάστοτε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Στη μονάδα επιτελείται μία σειρά διεργασιών, ώστε να δοθεί το αποδεκτό προϊόν στους τελικούς αποδέκτες. Είναι κατανοητό ότι οι εισροές και εκροές του συστήματος είναι ποικίλες και αφορούν το στάδιο της κατασκευής, τη μεταφορά υλικών και λυμάτων, τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια, τη διαχείριση των λυμάτων, τα υπολείμματα που τις πάσης φύσεως πιθανές επιπτώσεις που αφορούν τη ρύπανση των εδαφών, την υποβάθμιση της υγείας κ.λπ. Στο πλαίσιο αυτό, το ολοκληρωμένο σύστημα που θα δημιουργηθεί θα λάβει υπόψιν όλα τα παραπάνω, ενώ θα εμπλουτιστεί και με δεδομένα από τις πειραματικές μονάδες. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου μπορεί να περιλαμβάνουν και τη δημιουργία πλατφόρμας που θα μπορεί να χρησιμοποιείται

επαναλαμβανόμενα. Τα στοιχεία μιας τέτοιας πλατφόρμας δίνουν πληροφορίες για τα παρακάτω:

- Προσδιορισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από ένα συνολικό σύστημα διαχείρισης λυμάτων σε ισοδύναμες εκπομπές CO₂.
- Ανάλυση των βασικών διατάξεων και διεργασιών κάθε υποσυστήματος που έχουν κύρια συνεισφορά στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.
- Προσδιορισμός των διακυμάνσεων των εκπομπών και της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας, αλλά και εκτίμηση της επίδρασης λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων π.χ. αύξηση της θερμοκρασίας λόγω κλιματικής αλλαγής.
- Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μελλοντικά σενάρια για τη λειτουργία του συστήματος σε μεγάλους χρόνους, λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη απόδοση των συστημάτων λόγω γήρανσης των υλικών κ.λπ.
- Συνδυασμός της πλατφόρμας με μία βάση δεδομένων που θα περιέχει κατάλληλα μέτρα, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με βάση τον έλεγχο των διαδικασιών.
- Δημιουργία βάσης δεδομένων με δυνατότητα εφαρμογής για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, τη δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας, τον τρόπο μεταφοράς των αποβλήτων κ.ά.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Το πλαίσιο αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διαχείριση αστικών λυμάτων θα αυξήσει το επίπεδο γνώσης στην ερμηνεία ορισμένων χημικών / φυσικών / βιολογικών φαινομένων που δεν έχουν πλήρως κωδικοποιηθεί μέχρι στιγμής και λαμβάνουν χώρα σε πολλαπλά τμήματα των ολοκληρωμένων αστικών αποστραγγιστικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, με την εφαρμογή της εν λόγω δομής θα διερευνηθούν οι μηχανισμοί σχηματισμού των GHGs για κάθε υποσύστημα, ο λόγος ενέργειας / εκπομπών και ο αντίκτυπος των υποσυστημάτων στο ενιαίο σύστημα. Μέσα από αυτά τα αποτελέσματα, αναμένεται η απόκτηση ενεργειακά αποδοτικότερων συστημάτων.

Μέσω της διεξαγωγής των κατάλληλων εργαστηριακών πειραμάτων και μαθηματικών μοντέλων, αναμένεται να αποκτηθεί η κατάλληλη επιστημονική γνώση γύρω από τους τρόπους μείωσης των εκπομπών GHGs στα διάφορα υποσυστήματα. Η βάση δεδομένων που θα δημιουργηθεί θα βοηθήσει στην κατανόηση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπροσθέτως, από το μεθοδολογικό πλαίσιο θα αναπτυχθούν πρωτοκόλλα για τις μετρήσεις των GHGs στα διάφορα υποσυστήματα και την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης. Με αυτόν τον τρόπο, θα είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση των εκπομπών και η αντικειμενική σύγκριση των μετρήσεων. Μέσα από τα μοντέλα που βασίζονται σε LCA αλλά και από τις μετρήσεις, είναι δυνατόν να αναπτυχθεί ένα δυναμικό μοντέλο για τον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών, των εκπομπών GHGs και το κόστος λειτουργίας.

Η δημιουργία ενός συστήματος υποστήριξης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τον τομέα της επεξεργασίας λυμάτων αναμένεται να συμβάλει καθοριστικά στην επίτευξη μίας σειράς πολύ σημαντικών στόχων:

- Επιχειρηματικοί στόχοι, καθώς οι εταιρείες συμβούλων θα αποκτήσουν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για να παρέχουν αποτελεσματικές συμβουλευτικές υπηρεσίες στους πελάτες τους. Με αυτόν τον τρόπο, θα αυξήσουν την ανταγωνιστικότητά τους και θα είναι καινοτόμες στη συμβουλευτική.
- Μακροπρόθεσμα, οι επιχειρήσεις που θα συμμετέχουν πιλοτικά και θα αποκτήσουν το λογότυπο αποτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα αυξήσουν τη διαπραγματευτική τους δύναμη, ώστε να είναι σε θέση να προβάλλουν το κοινωνικό τους πρόσωπο, σε ένα ήδη αρκετά ανταγωνιστικό περιβάλλον, ενώ θα μπορούν να επιτύχουν χαμηλότερο κόστος μέσω των στοχευμένων εκτροπών που θα προκύπτουν από την εφαρμογή του πρωτοκόλλου.

Μέσω του συγκεκριμένου πλαισίου, οι εμπλεκόμενοι φορείς (π.χ. ερευνητικά ιδρύματα, επιχειρήσεις συμβουλευτικής, δημοτικές επιχειρήσεις ύδρευσης) θα συμβάλουν στη δημιουργία νέας γνώσης σε δύο επίπεδα. Το πρώτο είναι η παροχή τεχνογνωσίας στις εταιρείες, για βελτιστοποίηση της χρήσης των εισροών των πελατών τους μέσω της LCA. Τα μοντέλα χρήσης εισροών που θα προκύψουν θα είναι σε θέση να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων που θα τα υιοθετήσουν, βελτιώνοντας τελικά τα οικονομικά τους αποτελέσματα. Το δεύτερο είναι η παροχή πολύτιμης τεχνογνωσίας, μετά τη διαμόρφωση της πλατφόρμας, σχετικά με τη σχεδίαση του στρατηγικού μάρκετινγκ που θα υιοθετηθεί από τις εταιρείες για την κατάκτηση νέων μεριδίων αγοράς, με ασφαλή τρόπο, περιορίζοντας σημαντικά το ρίσκο που συνοδεύει παρόμοιες επενδυτικές προσπάθειες.

Η επιτυχής εκτέλεση ενός τέτοιου σχεδίου θα δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για τη λειτουργία συνολικού δικτύου διαχείρισης λυμάτων, με το ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η αξιοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι πιθανή με αποδέκτες επιχειρήσεις επεξεργασίας λυμάτων, ιδιωτικές ή δημόσιου χαρακτήρα, τόσο στον Ελλαδικό χώρο όσο και στο εξωτερικό. Η πλατφόρμα θα χρησιμοποιείται ως βοήθημα για την καταγραφή, τη διαχείριση και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, των εκπομπών GHGs και του κόστους λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας.

Οι άμεσες οικονομικές επιπτώσεις για τους εμπλεκόμενους φορείς σχετίζονται με την απόκτηση σημαντικών εργαλείων ελέγχου και πιστοποίησης μίας σύνθετης αποτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, σύμφωνα με τις αρχές του ISO 14040-14044. Μακροπρόθεσμα, κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου πλαισίου, όχι μόνο σε συστήματα διαχείρισης αστικών λυμάτων αλλά σε κάθε σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων (βιομηχανικών), θα δίνεται η δυνατότητα σε μία επιχείρηση να μειώσει το ρίσκο που συνοδεύει την παραγωγική διαδικασία,. Η στόχευση αυτή θα αναπτύξει τη δυναμική μείωσης του κόστους παραγωγής του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, προσφέροντας ένα καινοτόμο εργαλείο στην αγορά.

Συμπεράσματα

Το πλαίσιο της προτεινόμενης μελέτης περιλαμβάνει την αποτίμηση ολόκληρου του συστήματος διαχείρισης των λυμάτων, από τη στιγμή της εισόδου των λυμάτων στο δίκτυο μεταφοράς έως την τελική διαχείριση των παραπροϊόντων. Κατά την αποτίμηση των επιπτώσεων, οι διαδικασίες περιγράφονται ως υποσυστήματα (το δίκτυο συλλογής και μεταφοράς με όλες τις συνδεδεμένες διεργασίες, π.χ. την άντληση, την εγκατάσταση επεξεργασίας και την τελική διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση).

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή της μεθοδολογίας αφορά τη σύγκριση διαφορετικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων σε διαφορετικές ή και στην ίδια περιοχή, με στόχο την εύρεση της μονάδας με τις ελάχιστες επιπτώσεις. Η καινοτομία του προτεινόμενου πλαισίου αφορά στην ολιστική προσέγγιση ενός συστήματος διαχείρισης αποβλήτων, ώστε να περιλαμβάνονται όλα τα στάδια που συνιστούν το σύστημα και όχι μόνο η εγκατάσταση επεξεργασίας, δεδομένου ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση προέρχεται και από τη μεταφορά των λυμάτων εντός των δικτύων αλλά και από τον τελικό τρόπο διαχείρισης των επεξεργασμένων παραπροϊόντων, έναν παράγοντα που, μολονότι είναι σημαντικός, δεν λαμβάνεται υπόψη σε αντίστοιχες εργασίες. Επιπλέον, η προτεινόμενη προσέγγιση, που περιλαμβάνει τον συνδυασμό υπολογιστικών μοντέλων σχεδιασμού ενός συστήματος διαχείρισης λυμάτων με παραμετροποίηση των συντελεστών μέσω πειραματικών αποτελεσμάτων και ενοποίηση σε ένα σύστημα LCA, αποτελεί μία μοντέρνα προσέγγιση που θα επιτρέπει την εκτίμηση των επιπτώσεων μακροπρόθεσμα, λαμβάνοντας υπόψη μεταβολές στα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά, σε λειτουργικές παραμέτρους αλλά και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, π.χ. επιδράσεις στη σύσταση ή στην παροχή, αλλαγές θερμοκρασίας λόγω κλιματικών επιδράσεων κ.λπ.

Τέλος, το προτεινόμενο πλαίσιο εστιάζει στην αποτίμηση των επιπτώσεων από τη συντήρηση τέτοιων συστημάτων, γεγονός που αποτελεί νεωτεριστική μεθοδολογία, αφού θα συνδυάζεται η λειτουργία υπό κυμαινόμενες συνθήκες και τα απαιτούμενα έργα συντήρησης με τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Με άλλα λόγια, θα υπάρχει η δυνατότητα να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις σε έργα συντήρησης ανάλογα, όχι μόνο με την αναγκαιότητά τους για λόγους οικονομικοτεχνικούς αλλά και σε συνδυασμό με τις αναμενόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Για τον σκοπό αυτόν, πρέπει να μελετηθούν διαφορετικά συστήματα διαχείρισης λυμάτων σε εθνικό επίπεδο και να γίνει μία αποτύπωση των στοιχείων τους, αλλά και της περιβαλλοντικής τους αποδοτικότητας (με γνώμονα πάντα τους συσχετισμούς που θα δημιουργηθούν μεταξύ τους). Η εμπορική αξία ενός λογισμικού αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα αστικά λύματα με ιδιαίτερο λογότυπο (eco-labelling) θα έχει ως στόχο την κατοχύρωση της εκάστοτε δραστηριότητας, με γνώση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ενώ, παράλληλα, θα δίνεται η δυνατότητα δρομολόγησης των απαιτούμενων εργασιών για τη μείωση των επιπτώσεων.

Βιβλιογραφία

- Bravo, L., Ferrer, I. (2011). Life cycle assessment of an intensive sewage treatment plant in Barcelona (Spain) with focus on energy aspects. *Water Science and Technology*, Vol. 64, No. 2, pp. 440–447.
- Corominas, L., Foley, J., Guest, J. S., Hospido, A., Larsen, H. F., Morera, S., & Shaw, A. (2013). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research*, Vol. 47, No. 15, pp. 5480-5492.
- Gallego, A., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2008). Environmental performance of wastewater treatment plants for small populations. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 52, No. 6, pp. 931-940.
- Kim, D., Yi, S., & Lee, W. (2012). Life cycle assessment of sewer system : comparison of pipe materials. *Proceeding of the 2012 World Congress on Advances in Civil*,

Environmental, and Materials Research (ACEN' 12). Seoul, Korea, August 26-30, 2012, pp. 2963-2975.

Lassaux, S., Renzoni, R., & Germain, A. (2007). Life cycle assessment of water from the pumping station to the wastewater treatment plant. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 12, pp. 118–126.

Li, Y., Luo, X., Huang, X., Wang, D., & Zhang, W. (2013). Life Cycle Assessment of a municipal waste water treatment plant: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 57, pp. 221-227.

Ortiz, M., Raluy, R. G., & Serra, L. (2007). Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. *Desalination*, Vol. 204, No. 1-3, pp. 121-131.

ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

Κυριακή Ψιστάκη

Υποψήφια Διδάκτορας

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: kpsistak@fmenr.duth.gr

Αναστασία Πασχαλίδου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων

Σχολή Επιστημών Γεωπονίας και Δασολογίας

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

E-mail: apascha@fmenr.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα του 21^{ου} αιώνα, το οποίο επηρεάζει δυσμενώς όλες τις πτυχές της ανθρώπινης ζωής και των λοιπών οικοσυστημάτων. Οι ενδείξεις για την αλλαγή του κλίματος που ήδη συντελείται και οι συνακόλουθες επιπτώσεις της καθιστούν απαραίτητη τη μελέτη και πρόγνωση του μελλοντικού κλίματος. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), κινούμενη προς αυτή την κατεύθυνση, δημοσιεύει ανά διαστήματα σενάρια που περιγράφουν την πιθανή μελλοντική εξέλιξη των κλιματικών παραμέτρων και βάσει αυτών συντάσσει τις εκθέσεις που αναλύουν όλες τις πτυχές της κλιματικής αλλαγής, με σκοπό την ανάπτυξη πολιτικών μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεών της. Η έκτη έκθεση αναφοράς της IPCC πρόκειται να δημοσιευθεί ολοκληρωμένη εντός του 2022 και θα περιέχει τα νέα κλιματικά σενάρια που θα αποτελέσουν τη βάση για την πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών του κλίματος σε χρονικό ορίζοντα έως το 2300.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, μελλοντικά σενάρια, CMIP6, AR6

Εισαγωγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή των μέσων κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου κ.ά.) που συντελείται σε μεγάλη χρονική κλίμακα και προκαλείται από φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες. Κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της Γης, το κλίμα υπέστη πολλές και σημαντικές μεταβολές, περνώντας από παγετώδεις σε μεσοπαγετώδεις περιόδους περίπου κάθε 250×10^6 έτη (Πασχαλίδου 2021). Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η συμβολή του ανθρώπου στην εξέλιξη της κλιματικής μεταβλητότητας, κυρίως μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων, υπήρξε καθοριστική και αύξησε σημαντικά τον ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται το κλίμα.

Σύμφωνα με τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC), η κλιματική αλλαγή μπορεί να ταυτιστεί με τη διακύμανση που συντελείται αποκλειστικά λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (Πασχαλίδου 2021). Στις μέρες μας, η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά ζητήματα, που, όπως έχει αποδειχθεί, επιφέρει πληθώρα άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής του ανθρώπου και στα λοιπά οικοσυστήματα.

Ένα από τα πιο αξιόλογα και έγκυρα μαθηματικά εργαλεία για τη μελέτη του κλίματος, την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής αλλά και την πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών είναι τα κλιματικά μοντέλα, τα οποία, στηριζόμενα στις βασικές αρχές της φυσικής, της χημείας και της μηχανικής των ρευστών, προσομοιώνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των συνιστωσών του κλιματικού συστήματος (της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της κρυόσφαιρας, της λιθόσφαιρας και της βιόσφαιρας) σε συγκεκριμένη χωρική κλίμακα και σε διακριτά χρονικά βήματα. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες κλιματικών μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τον σκοπό της εκάστοτε έρευνας. Για την πρόβλεψη των μελλοντικών διακυμάνσεων του κλίματος συνήθως χρησιμοποιούνται τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models - GCMs), τα οποία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- τα ατμοσφαιρικά μοντέλα, που προσομοιώνουν διεργασίες στην ατμόσφαιρα,
- τα ωκεάνια, που προσομοιώνουν διεργασίες στους ωκεανούς και
- τα συζευγμένα, που συνδυάζουν τις δύο προηγούμενες κατηγορίες (Πασχαλίδου 2021).

Η χρήση των κλιματικών μοντέλων για την εκτίμηση της μελλοντικής μεταβολής του κλίματος προϋποθέτει να είναι διαθέσιμα ορισμένα δεδομένα εισόδου για τη μελλοντική διακύμανση των παραγόντων που επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται από τα κλιματικά σενάρια, που περιγράφουν μία πιθανή μελλοντική κατάσταση του κλίματος εξαιτίας των επιπτώσεων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (IPCC 2014b). Κλιματικά σενάρια δημοσιεύει ανά διαστήματα η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος, κάνοντας εφικτή τη σύγκριση των κλιματικών προσομοιώσεων που διεξάγονται από διάφορες ερευνητικές ομάδες ανά τον κόσμο. Τα σενάρια αυτά μπορούν να φανούν εξαιρετικά χρήσιμα για τη χάραξη πολιτικών μετριασμού των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη των κλιματικών σεναρίων

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή είναι το επιστημονικό διακυβερνητικό όργανο που ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (United Nations Environment Programme - UNEP). Πρωταρχικός στόχος της IPCC είναι η μελέτη όλων των πτυχών της κλιματικής αλλαγής, η αξιολόγηση των επιπτώσεών της και η εισήγηση πολιτικών για τον μετριασμό των πιθανών κινδύνων, μέσα από την παρακολούθηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις πιο πρόσφατες εξελίξεις σε επιστημονικές, τεχνολογικές, κοινωνικές και οικονομικές παραμέτρους που μπορεί να επηρεάσουν το κλίμα (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης 2015).

Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας, αναπτύχθηκε η πρώτη γενιά σεναρίων, η οποία απαρτιζόταν από τέσσερα διαφορετικά πρότυπα για την εξέλιξη των εκπομπών των σημαντικότερων θερμοκηπικών αερίων έως το 2100. Τα σενάρια αυτά, με τη γενική ονομασία SA90, αποτέλεσαν τη βάση για την πρώτη έκθεση αναφοράς της IPCC που δημοσιεύθηκε το 1990 (IPCC 1990).

Το 1992, στη δεύτερη έκθεση αναφοράς της IPCC, δημοσιεύθηκαν έξι νέα σενάρια, τα IS92. Το καθένα από αυτά, έχοντας ως βάση καθορισμένες τιμές για το μέγεθος του πληθυσμού και για παραμέτρους που σχετίζονταν με την οικονομική ανάπτυξη και τη χρήση των πηγών ενέργειας, περιέγραφε την εξέλιξη της πορείας των μελλοντικών εκπομπών θερμοκηπικών αερίων έως το 2100, απουσία υιοθέτησης νέων πολιτικών για το κλίμα (Pepper et al. 1992). Τα IS92 θεωρήθηκαν πρωτοποριακά για την εποχή, αλλά γρήγορα τόσο οι επιστημονικές εξελίξεις στις περιβαλλοντικές επιστήμες όσο και η υιοθέτηση νέων πολιτικών ελέγχου των εκπομπών κατέστησαν αναγκαία την αντικατάστασή τους.

Στη συνέχεια, η IPCC δημοσίευσε την τρίτη γενιά σεναρίων με την ονομασία SRES (Standardized Reference Emission Scenarios) που συμπεριελήφθησαν στην ειδική επανέκδοση τη τρίτης έκθεσης αναφοράς και στην τέταρτη έκθεση αναφοράς. Τα SRES αποτελούνταν από έξι ομάδες (συνολικά 40) σεναρίων, κατηγοριοποιημένες σε τέσσερις οικογένειες (A1, A2, B1, B2). Κάθε ομάδα περιέγραφε μία διαφορετική εξέλιξη για τις εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων και των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα έως το 2100, που βασιζόταν σε διαφορετικές υποθέσεις για την τεχνολογική, κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη και την εξέλιξη του παγκόσμιου πληθυσμού (Nakicenovic et al. 2000).

Το 2014, στην πέμπτη έκθεση αναφοράς (AR5) της IPCC, εισήχθησαν τα σενάρια RCPs (Representative Concentration Pathways), που αντικατέστησαν τα παλαιότερα. Όπως προκύπτει και από το όνομά τους, καθένα από αυτά τα σενάρια αποτελεί μία χαρακτηριστική (representative) διαδρομή (pathway), που περιγράφει τη μελλοντική εξέλιξη στη χρήση γης, στις εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων και άλλων ρύπων και στις επιπτώσεις που τα παραπάνω φέρουν, ώστε σε συνδυασμό με την πορεία μίας σειράς κοινωνικών, τεχνολογικών, οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων να επιτυγχάνεται μία συγκεκριμένη τιμή διαταραχής του ενεργειακού ισοζυγίου (Radiative Forcing - RF) έως το 2100 σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Αναπτύχθηκαν τέσσερα RCPs:

- το RCP8.5, όπου οι εκπομπές του CO₂ αυξάνονται συνεχώς και το RF φτάνει τα 8.5 W/m² έως το 2100,
- το RCP2.6, όπου αρχικά αυξάνεται το RF, αλλά από τα μέσα του 21^{ου} αιώνα αρχίζει να ελαττώνεται λόγω της λήψης σημαντικών μέτρων μείωσης των ανθρωπογενών εκπομπών και τελικά το 2100 αγγίζει τα 2.6 W/m²,
- δύο σενάρια μετριασμού και σταθεροποίησης, τα RCP6.0 και RCP4.5, όπου μέχρι το 2100 η τιμή του RF φτάνει τα 6 W/m² και 4.5 W/m² αντίστοιχα (van Vuuren et al. 2011).

Σε δεύτερη φάση, ο χρονικός ορίζοντας των RCPs διευρύνθηκε και αναπτύχθηκαν οι προεκτάσεις των αρχικών σεναρίων (Extended Concentration Pathways – ECPs), παρέχοντας προβλέψεις έως το 2300.

Στην 43^η σύνοδό της IPCC στο Ναϊρόμπι, το 2016, αποφασίστηκε το περιεχόμενο της έκτης έκθεσης αναφοράς (AR6), η οποία αναμένεται να δημοσιευθεί ολοκληρωμένη εντός του

2022. Για τις ανάγκες αυτής της έκθεσης, σχεδιάστηκε και είναι υπό ανάπτυξη η νεότερη και πιο προηγμένη γενιά σεναρίων.

Πίνακας 1. Βασικά χαρακτηριστικά των SSP (Ο'Neill et al., 2015).

Όνομα	Περιγραφή
SSP1	Το βιώσιμο σενάριο – Ακολουθώντας τον «πράσινο» δρόμο (Μικρές προκλήσεις για μετριασμό και προσαρμογή)
	Είναι ένα σενάριο ευημερίας που επιτυγχάνεται μέσα από αειφόρο και βιώσιμη πορεία. Η οικονομία και η τεχνολογία αναπτύσσονται, οι ανισότητες μειώνονται σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο και οι επενδύσεις στην υγεία και στην παιδεία αυξάνονται.
SSP2	Το ενδιάμεσο σενάριο (Μέτριες προκλήσεις για μετριασμό και προσαρμογή)
	Μία ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ SSP1 και SSP3. Η τεχνολογία και η οικονομία, ακολουθώντας τα πρότυπα του παρελθόντος, αναπτύσσονται με πολύ διαφορετικό ρυθμό σε κάθε χώρα. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται με μικρό ρυθμό. Οι οικονομικές ανισότητες καθιστούν ευάλωτη την κοινωνία στις αλλαγές του κλίματος.
SSP3	Ανταγωνισμός μεταξύ των χωρών - Το δύσκολο σενάριο (Υψηλές προκλήσεις για μετριασμό και προσαρμογή)
	Ένα σενάριο χαμηλής οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης, με μικρές επενδύσεις στην παιδεία. Η αύξηση του πληθυσμού είναι μεγάλη στις αναπτυσσόμενες χώρες και μικρή στις ανεπτυγμένες χώρες. Υπάρχουν έντονες ανισότητες και διενέξεις μεταξύ των διάφορων περιοχών που οδηγούν σε ανταγωνισμούς και συγκρούσεις που δυσχεραίνουν την ανάπτυξη και την ικανότητα προσαρμογής.
SSP4	Το σενάριο της ανισότητας (Χαμηλές προκλήσεις για μετριασμό, υψηλές προκλήσεις στην προσαρμογή)
	Μεγάλες ανισότητες, οι οποίες εντείνονται με τον χρόνο, στην οικονομία, την εκπαίδευση και την τεχνολογία, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, με τις φτωχότερες περιοχές να υστερούν. Η κοινωνική συνοχή υποβαθμίζεται και οι συγκρούσεις γίνονται όλο και πιο συχνές. Η υιοθέτηση περιβαλλοντικών πολιτικών συμβαίνει σε τοπικό επίπεδο, για ζητήματα που αφορούν μεσαίου και υψηλού εισοδήματος χώρες.
SSP5	Το σενάριο των ορυκτών καυσίμων (Υψηλές προκλήσεις για μετριασμό, χαμηλές για προσαρμογή)
	Είναι και αυτό ένα σενάριο ευημερίας, όπου καταγράφεται γρήγορη οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη, ισότιμα σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι επενδύσεις στην υγεία και στην παιδεία είναι σημαντικές. Ο πληθυσμός φτάνει μία μέγιστη τιμή και έπειτα μειώνεται. Η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται, αλλά καλύπτεται σχεδόν εξολοκλήρου με ορυκτά καύσιμα.

Περιγραφή των νέων κλιματικών σεναρίων

Υπό την αιγίδα της IPCC λειτουργεί το πρόγραμμα Coupled Model Intercomparison Project Phase (CMIP) το οποίο παρέχει το πλαίσιο για τη διενέργεια συντονισμένων προσομοιώσεων και πειραμάτων για τη μελέτη της ιστορικής πορείας και της μελλοντικής αλλαγής του κλίματος από διάφορους ερευνητικούς φορείς παγκοσμίως. Το CMIP βρίσκεται στην έκτη φάση του (CMIP6) και τα αποτελέσματά του θα χρησιμοποιηθούν από την IPCC για την ολοκλήρωση της AR6.

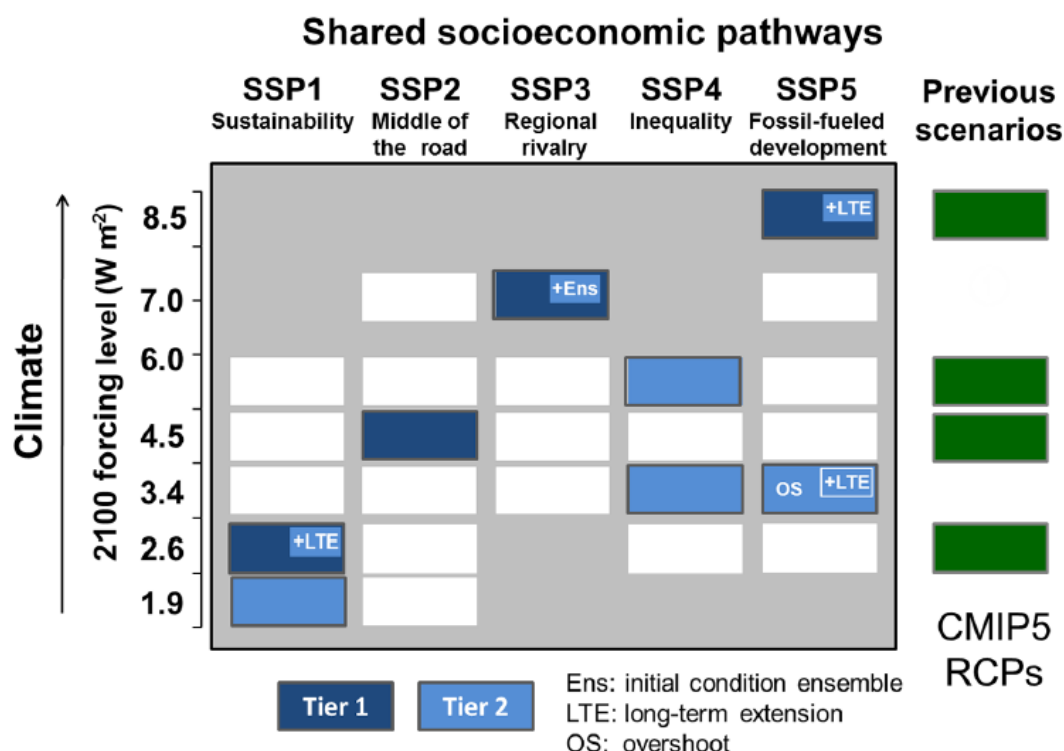
Ένα από τα κυριότερα έργα του προγράμματος CMIP6 είναι το Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP), που πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της νέα γενιάς σεναρίων που θα αποτελέσουν τη βάση για τις προβλέψεις του μελλοντικού κλίματος. Κύριος στόχος του ScenarioMIP είναι τα νέα σενάρια να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο για τη διεπιστημονική μελέτη της κλιματικής αλλαγής, παρέχοντας πληροφορίες που θα συνδέουν την προβλεπόμενη απόκριση του κλιματικού συστήματος στις ενδεχόμενες αλλαγές με τις επιπτώσεις που θα μπορούσαν να φέρουν στην έκθεση, την ευπάθεια και την προσαρμογή του πληθυσμού (O'Neill et al. 2016).

Κατά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης των σεναρίων, ακολουθήθηκε η διαδικασία της «παράλληλης προσέγγισης» (Moss et al. 2010), όπου από τη μία μεριά αναπτύχθηκαν νέες προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή και το Radiative Forcing με βάση τα προηγούμενης γενιάς σενάρια (RCPs) και από την άλλη αναπτύχθηκαν 5 νέα σενάρια για την εξέλιξη διαφόρων κοινωνικών παραμέτρων, τα λεγόμενα Societal Development Pathways (SSPs).

Τα SSPs περιλαμβάνουν μία σειρά υποθέσεων για την πορεία διάφορων κοινωνικών παραμέτρων, όπως η διακύμανση του μεγέθους του παγκόσμιου πληθυσμού, η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη, η λειτουργία του εκπαιδευτικού συστήματος και του συστήματος υγείας κ.ά. (Πίνακας 1) (O'Neill et al. 2015). Στη συνέχεια, έχοντας ως βάση τα SSPs, νέας γενιάς, Ολοκληρωμένα Μοντέλα Αξιολόγησης (Integrated Assessment models - IAMs) διενεργούν προγνώσεις για την πορεία της ενεργειακής ζήτησης και κατανάλωσης, τις αλλαγές στη χρήση γης και των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων και άλλων ρύπων (Bauer et al. 2017, Popp et al. 2016, Riahi et al. 2017). Έτσι, προκύπτουν σενάρια που περιγράφουν συνολικά τη μελλοντική πορεία κοινωνικών παραμέτρων και παραγόντων ρύθμισης του ενεργειακού ισοζυγίου, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και απουσία εφαρμογής νέων πολιτικών μετριασμού. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, ολοκληρώνοντας το στάδιο της «παράλληλης προσέγγισης», δημιουργείται ένας πίνακας που συνδυάζει τα ολοκληρωμένα σενάρια SSP με τα σενάρια διαταραχής του ενεργειακού ισοζυγίου RCP. Έτσι, προκύπτουν οι προσομοιώσεις του ScenarioMIP.

Στο τελικό στάδιο της «ενοποίησης» (integration phase), τα αποτελέσματα των RCPs συνδυάζονται με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά που προέκυψαν από την επεξεργασία των SSPs από τα IAMs, λαμβάνοντας υπόψη πολλές φορές και πολιτικές μετριασμού. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτουν διαδρομές που περιγράφουν συνολικά την εξέλιξη των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων και άλλων ρύπων, της αλλαγής στη χρήση γης και των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, οδηγώντας σε συγκεκριμένη τιμή του Radiative Forcing έως το 2100 (ή και αργότερα). (Kriegler et al. 2014, O'Neill et al. 2016). Τα σενάρια αυτά έχουν τη γενική ονομασία SSPx-y, όπου το x αντιπροσωπεύει τη διαδρομή που επιλέχθηκε για τις κοινωνικές εξελίξεις (SSP) και το y την τελική τιμή του Radiative Forcing (IPCC 2021). Από όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, ο πειραματικός

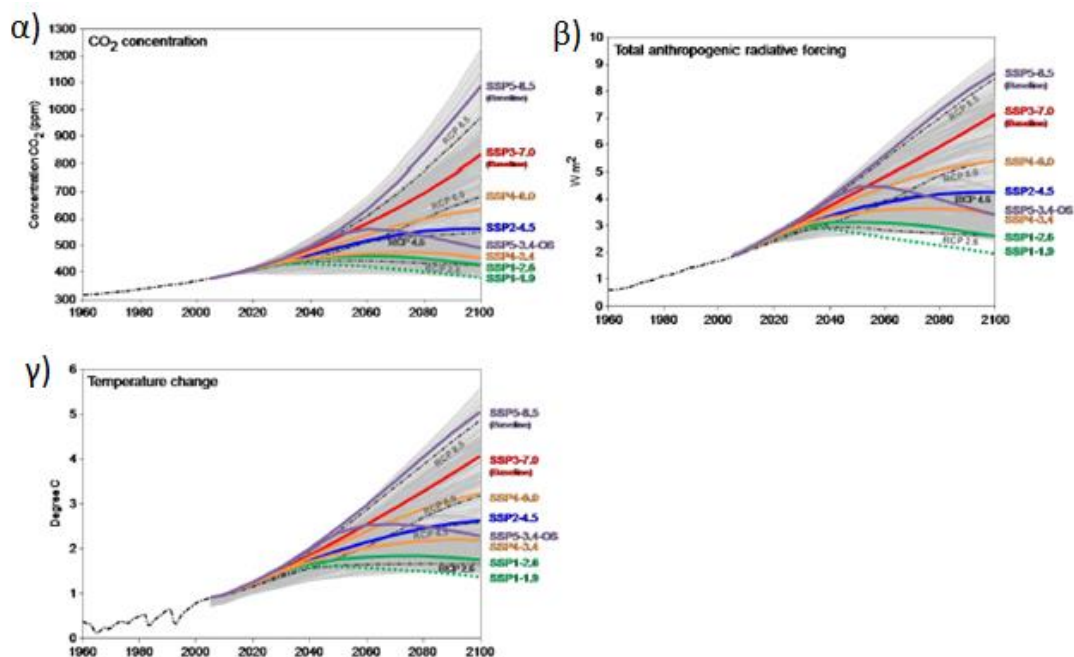
σχεδιασμός του ScenarioMIP περιλαμβάνει ως βάση οκτώ διαφορετικά σενάρια, κατηγοριοποιημένα σε δύο επίπεδα (Εικόνα 1) (O'Neill et al. 2016).



Εικόνα 1. Πίνακας SSP-RCP. Κάθε κελί αναπαριστά έναν συνδυασμό μεταξύ SSP και RCP σεναρίων που οδηγεί σε συγκεκριμένη τιμή του RF. Με σκούρο μπλε χρώμα φαίνονται τα σενάρια που απαρτίζουν το επίπεδο 1, ενώ με γαλάζιο αυτά του επιπέδου 2 (Πηγή: O'Neill et al. 2016).

Στο πρώτο επίπεδο (Tier 1) εντάσσονται τα σενάρια SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5, που αναπτύχθηκαν έχοντας ως βάση τα παλαιότερης γενιάς σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα και ένα νέο σενάριο, το SSP3-7.0:

- SSP1-2.6: Το σενάριο αυτό προϋποθέτει αειφόρο ανάπτυξη και μικρή κοινωνική ευπάθεια. Η θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί λιγότερο από 2 °C έως το 2100 και το RF να φτάσει τα 2.6 W/m² (Εικόνα 2).
- SSP2-4.5: Είναι ένα σενάριο μετριασμού τόσο για την ευπάθεια του πληθυσμού όσο και για την αύξηση του RF έως το 2100 (RF = 4.5 W/m²).
- SSP3-7.0: Το σενάριο αυτό καλύπτει το κενό μεταξύ RF = 6 W/m² και RF = 8 W/m² που υπήρχε στα προηγούμενης γενιάς σενάρια. Προβλέπει μεγάλη κοινωνική ευπάθεια σε συνδυασμό με σχετικά υψηλή τιμή του RF (RF = 7 W/m²), ως αποτέλεσμα σημαντικής αλλαγής στη χρήση γης και υψηλών εκπομπών CO₂ και άλλων θερμοκηπικών αερίων (Εικόνα 2).
- SSP5-8.5: Είναι το σενάριο με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις θερμοκηπικών αερίων λόγω της συνεχώς αυξανόμενης χρήσης ορυκτών καυσίμων που οδηγεί στις υψηλότερες τιμές του RF έως το 2100 (RF=8.5 W/m²) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. α) Συγκέντρωση CO₂, β) Ανθρωπογενές RF, γ) Μεταβολή στη μέση πλανητική θερμοκρασία στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, σύμφωνα με τα SSPx-y και τα RCPs. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με προκαταρκτικές προσομοιώσεις μέσω ενός απλού μοντέλου (MAGICC, version 6.8.01 BETA), στα πλαίσια σχεδιασμού του ScenarioMIP. Η γκρίζα περιοχή παριστάνει το εύρος των σεναρίων στη βάση δεδομένων της AR5 (Πηγή: O'Neill et al. 2016).

Το δεύτερο επίπεδο (Tier 2) αποτελείται από ορισμένα επιπλέον σεναρία για τον 21^ο αιώνα (SSP1-1.9, SSP4-3.4, SSP4-6.0, SSP5-3.4OS), το SSP3-7.0 εμπλουτισμένο με περισσότερα σύνολα αρχικών συνθηκών (-Ens) και από τις επεκτάσεις (-Ext) των σεναρίων SSP1-2.6, SSP5-8.5 και SSP5-3.4OS που διευρύνουν τον χρονικό ορίζοντα των προβλέψεων έως το 2300.

- **SSP1-1.9:** Είναι το σενάριο που σχεδιάστηκε, ώστε η αύξηση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας έως το 2100 να μην ξεπεράσει τον 1.5 °C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, όπως προβλέπεται από τη Συμφωνία του Παρισιού (Εικόνα 2).
- **SSP4-3.4:** Αυτό το σενάριο καλύπτει το κενό στις χαμηλές τιμές της διαταραχής του ενεργειακού ισοζυγίου που υπήρχε στα RCPs και επιτρέπει τη σύγκριση του κόστους για την υιοθέτηση πολιτικών μετριασμού με το αντίστοιχο κόστος για την επίτευξη τιμών RF = 2.6 W/m² ή RF = 4.5 W/m².
- **SSP4-6.0:** Είναι η επικαιροποιημένη μορφή του σεναρίου RCP2.6, το οποίο προβλέπει έντονη αλλαγή στη χρήση γης και υψηλές εκπομπές αερολυμάτων, καταλήγοντας σε RF = 6 W/m² έως το 2100.
- **SSP5-3.4-OS:** Το σενάριο αυτό αρχικά ακολουθεί το ακραίο σενάριο SSP5-8.5 μέχρι το 2040 και έπειτα υποθέτει υιοθέτηση πολύ αυστηρών μέτρων μετριασμού, με στόχο

την ελαχιστοποίηση των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων έως το 2070 για την επίτευξη χαμηλού RF ($RF = 3.5 \text{ W/m}^2$) έως το 2100 (Εικόνα 2).

- **SSP3-7.0-Ens:** Στο σενάριο SSP3-7.0 εισήχθησαν εννέα επιπλέον σύνολα διαφορετικών αρχικών συνθηκών (initial condition ensembles), ώστε να διερευνηθεί η εσωτερική μεταβλητότητα των μοντέλων και να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζονται τα τελικά αποτελέσματα.
- **SSP5-8.5-Ext:** Είναι η επέκταση του SSP5-8.5. Οι εκπομπές CO_2 αρχίζουν να μειώνονται γραμμικά με τον χρόνο από το 2200, με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων του έως το 2300 και κατ' επέκταση του RF (Εικόνα 3).
- **SSP1-2.6-Ext:** Αποτελεί επέκταση του αειφόρου σεναρίου SSP1-2.6. Η συγκέντρωση του CO_2 παραμένει σχεδόν σταθερή έπειτα από το 2100 και το RF σταθεροποιείται περίπου στα 2 W/m^2 μετά το 2200 (Εικόνα 3).
- **SSP5-3.4-OS-Ext:** Είναι η επέκταση του SSP5-3.4-OS, όπου η συγκέντρωση του CO_2 συνεχίζει να είναι πολύ χαμηλή μετά το 2100 και το RF καταλήγει το 2300 με μία τιμή αντίστοιχη με αυτή του σεναρίου SSP1-2.6-Ext (Εικόνα 3).

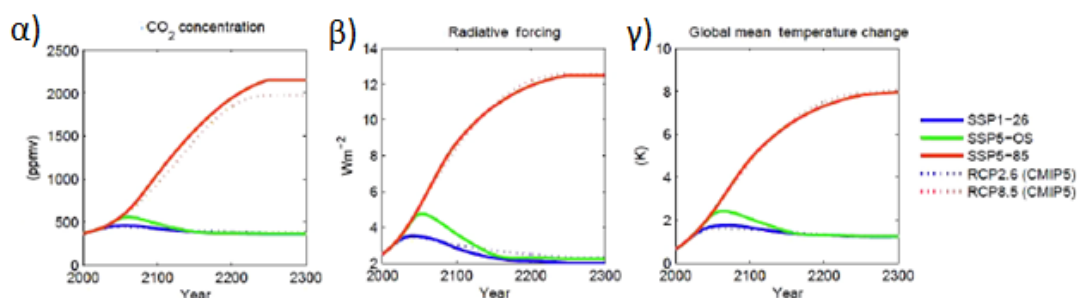
Πίνακας 2. Βασικά χαρακτηριστικά των SSPx-y.

Όνομα Σεναρίου	Μεταβολή Ενεργειακού Ισοζυγίου	RF έως το 2100 (W/m^2)	SSP
<i>Επίπεδο 1</i>			
SSP5-8.5	Υψηλή	8.5	5
SSP3-7.0	Υψηλή	7.0	3
SSP2-4.5	Μέτρια	4.5	2
SSP1-2.6	Χαμηλή	2.6	1
<i>Επίπεδο 2</i>			
SSP4-6.0	Μέτρια	6.0	4
SSP4-3.4	Χαμηλή	3.4	4
SSP5-3.4-OS	Υπέρβαση	3.4	5
SSP1-1.9	Χαμηλή	1.9	1
<i>Συνολικά</i>			
SSP3-7.0	9 σύνολα με διαφορετικές αρχικές συνθήκες	7.0	3
<i>Προεκτάσεις</i>			
SSP5-8.5-Ext	Μακροπρόθεσμη προέκταση	8.5	5
SSP5-3.4-OS-Ext	Μακροπρόθεσμη προέκταση	3.4	5
SSP1-2.6-Ext	Μακροπρόθεσμη προέκταση	2.6	1

Τα πρώτα αποτελέσματα των νέων σεναρίων

Οι προβλέψεις για την απόκριση του κλίματος που αναπτύσσονται στα πλαίσια του CMIP6 και πρόκειται να συμπεριληφθούν στην AR6 διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες της AR5, καθώς βασίζονται στα νέα σενάρια που υιοθετούν διαφορετική εξέλιξη της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων και της αλλαγής χρήσης γης. Επιπλέον, οι νέες προβλέψεις διεξάγονται με εξελιγμένα κλιματικά μοντέλα και έχουν ως σημείο εκκίνησης μεταγενέστερη χρονολογία (2015) (O'Neill et al. 2016).

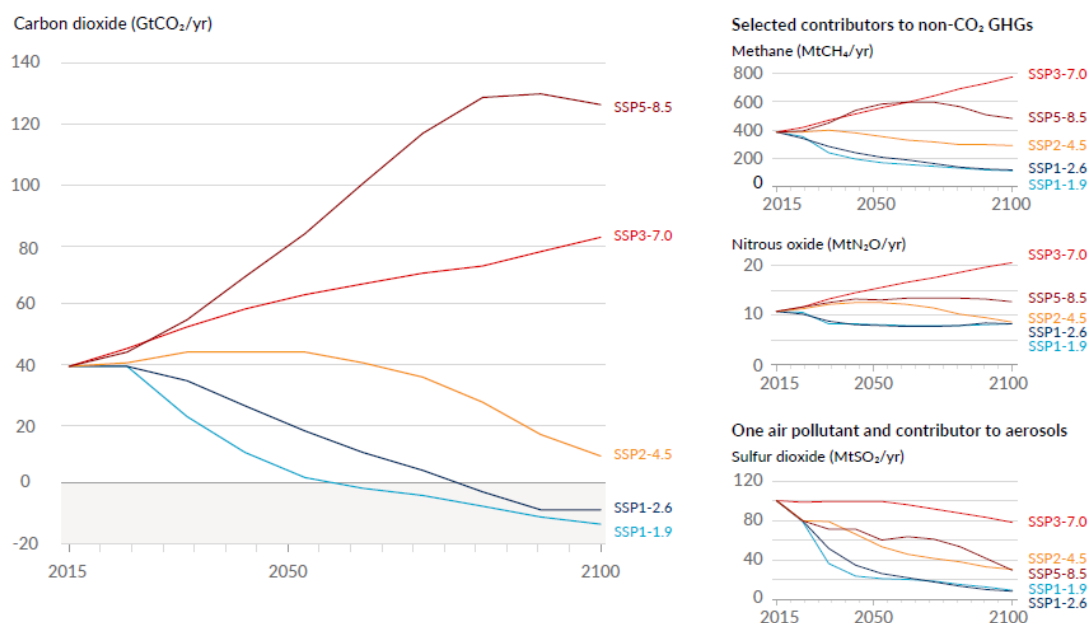
Συνολικά, στα πλαίσια του CMIP6 συμμετέχουν 53 ερευνητικές ομάδες από όλον τον κόσμο, με προσομοιώσεις από 134 μοντέλα. Έως τη στιγμή συγγραφής αυτού του κεφαλαίου, έχουν ολοκληρωθεί οι προσομοιώσεις από περισσότερα από 50 μοντέλα και αφορούν κατά πλειοψηφία τα σενάρια του πρώτου επιπέδου.



Εικόνα 3. α) Συγκέντρωση CO₂, β) Ανθρωπογενές RF, γ) Μεταβολή στη μέση πλανητική θερμοκρασία έως το 2300, σύμφωνα με τα SSPx-y και τα RCPs. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με προκαταρκτικές προσομοιώσεις μέσω ενός απλού μοντέλου (MAGICC, version 6.8.01 BETA), στα πλαίσια σχεδιασμού του ScenarioMIP (O'Neill et al. 2016).

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα αποτελέσματα που περιλαμβάνονται στη νέα έκθεση αναφοράς της πρώτης ομάδας εργασίας (Working Group I) της IPCC με τίτλο «Climate Change 2021: The Physical Science», η οποία δημοσιεύθηκε τον Αύγουστο του 2021. Η έκθεση αυτή συγκεντρώνει τα πιο επικαιροποιημένα στοιχεία για την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με τα σενάρια SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 και SSP5-8.5 και αποτελεί τον έναν από τους τρεις πυλώνες για την ολοκλήρωση της AR6.

Στην Εικόνα 4 απεικονίζεται για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια η εξέλιξη των εκπομπών των σημαντικότερων θερμοκηπικών αερίων (CO₂, CH₄, N₂O) και του SO₂, που αποτελεί ατμοσφαιρικό ρύπο και πρόδρομη ένωση για τον σχηματισμό αερολυμάτων από ανθρωπογενείς πηγές. Σύμφωνα με το σενάριο SSP3-7.0, οι εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων αναμένεται να αυξηθούν σχεδόν γραμμικά μέχρι το τέλος του αιώνα, αγγίζοντας τις υψηλότερες τιμές CH₄ και N₂O σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια. Σύμφωνα με το πιο δυσοίωνα σενάριο, SSP5-8.5, οι εκπομπές του CO₂ πρόκειται να αυξηθούν σημαντικά μέχρι το 2080 και έπειτα να ακολουθήσουν μία ελαφρά πτωτική πορεία. Αντίστοιχη πορεία προβλέπεται και για τις εκπομπές του CH₄, ενώ του N₂O αναμένεται να παραμείνουν σχεδόν σταθερές. Σύμφωνα με το σενάριο SSP1-1.9, οι εκπομπές του CO₂ και του CH₄ έχουν αντίστοιχα έντονη και ελαφρά πτωτική τάση, ενώ του N₂O φαίνεται να διατηρούνται σταθερές μετά το 2030. Για τις εκπομπές του SO₂ προβλέπεται καθοδική πορεία από όλα τα σενάρια μέχρι το τέλος του αιώνα, όπου αποκτούν την ελάχιστη τιμή τους στα σενάρια SSP1-1.9 και SSP1-2.6.



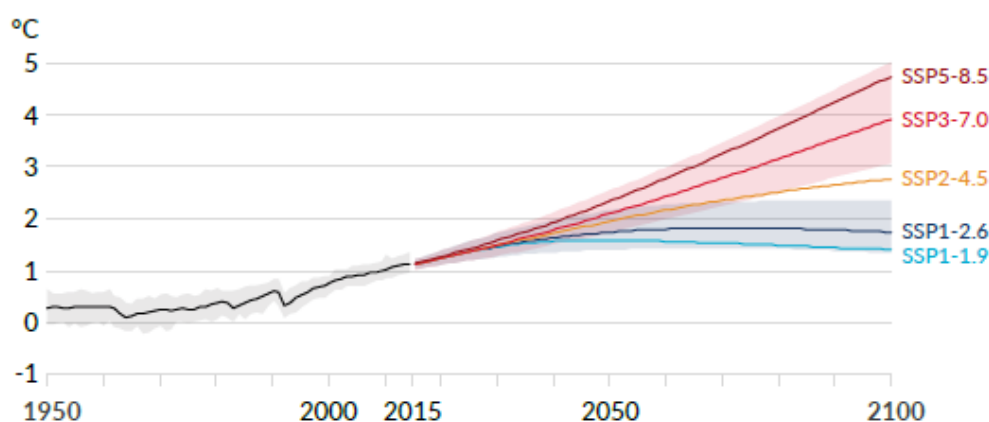
Εικόνα 4. Ετήσιες ανθρωπογενείς εκπομπές κατά την περίοδο 2015–2100. Παρουσιάζεται η πορεία των εκπομπών για CO₂ από όλους τους τομείς (GtCO₂/έτος) (αριστερό γράφημα) και για ένα υποσύνολο τριών θερμοκηπικών αερίων που εξετάζονται στα σενάρια, δηλαδή CH₄ (MtCH₄/έτος, επάνω δεξιά), N₂O (MtN₂O/έτος, μεσαία δεξιά γραφική παράσταση) και SO₂, (MtSO₂/έτος, κάτω δεξιά) (Πηγή: IPCC 2021).

Πίνακας 3. Προβλεπόμενη αποχή της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας από τη μέση τιμή της περιόδου 1850-1900 για κάθε εξεταζόμενο σενάριο (Πηγή: IPCC 2021).

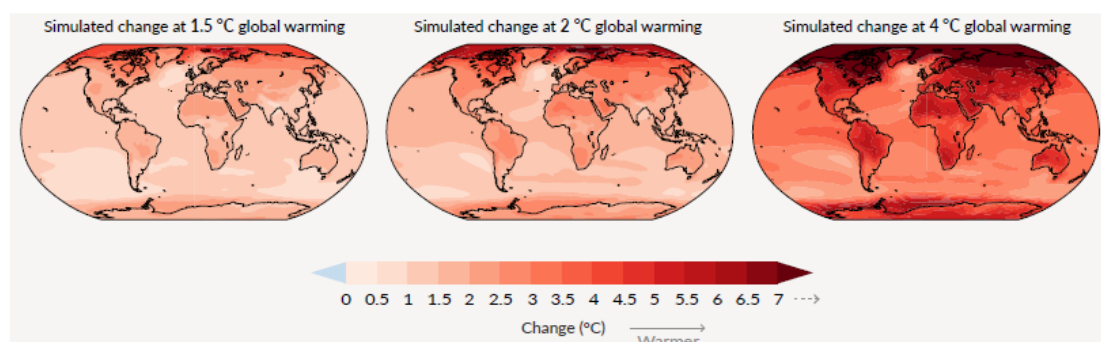
Σενάριο	2021–2040		2041–2060		2081–2100	
	Μέση τιμή (°C)	Διάστημα εμπιστοσύνης (90–100%) (°C)	Μέση τιμή (°C)	Διάστημα εμπιστοσύνης (90–100%) (°C)	Μέση τιμή (°C)	Διάστημα εμπιστοσύνης (90–100%) (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2-1,7	1,6	1,2-2	1,4	1-1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2-1,8	1,7	1,3-2,2	1,8	1,3-2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2-1,8	2	1,6-2,5	2,7	2,1-3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2-1,8	2,1	1,7-2,6	3,6	2,8-4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3-1,9	2,4	1,9-3	4,4	3,3-5,7

Η μεταβολή των συγκεντρώσεων θερμοκηπικών αερίων, μαζί με άλλους παράγοντες (π.χ. εκπομπές αερολυμάτων, αλλαγή χρήσης γης κλπ), συμβάλλει στη μεταβολή της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας. Σύμφωνα με όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, η αποχή της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας προβλέπεται να ακολουθήσει αυξητική πορεία τουλάχιστον μέχρι τα μέσα του αιώνα (Πίνακας 3, Εικόνα 5). Μετά το 2060, σύμφωνα με τα σενάρια SSP1-1.9 και SSP1-2.6, αναμένεται μικρή ελάττωση ή σταθεροποίηση της αποχής της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ, σύμφωνα με τα σενάρια SSP3-7.0 και SSP5-8.5, αναμένεται σχεδόν διπλασιασμός της θερμοκρασιακής αποχής (Πίνακας 3, Εικόνα 5). Όπως είναι αναμενόμενο, έως το τέλος του αιώνα, η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας προβλέπεται για το δυσσιόδοξο σενάριο SSP5-8.5 (από 3.3 °C έως 5.7 °C), ενώ η μικρότερη για το αισιόδοξο σενάριο SSP1-1.9 (από 1 °C έως 1,8 °C). Για τα ενδιάμεσα σενάρια (SSP1-2.6,

SSP2-4.5, SSP3-7.0), η μέση πλανητική θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθεί από 1.3 °C - 4.6 °C έως το τέλος του αιώνα σε σχέση με τα επίπεδα της περιόδου 1850–1900 (Πίνακας 3).



Εικόνα 5. Αποχή της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας (σε °C) σε σχέση με την περίοδο 1850-1900 για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια (Πηγή: IPCC 2021).

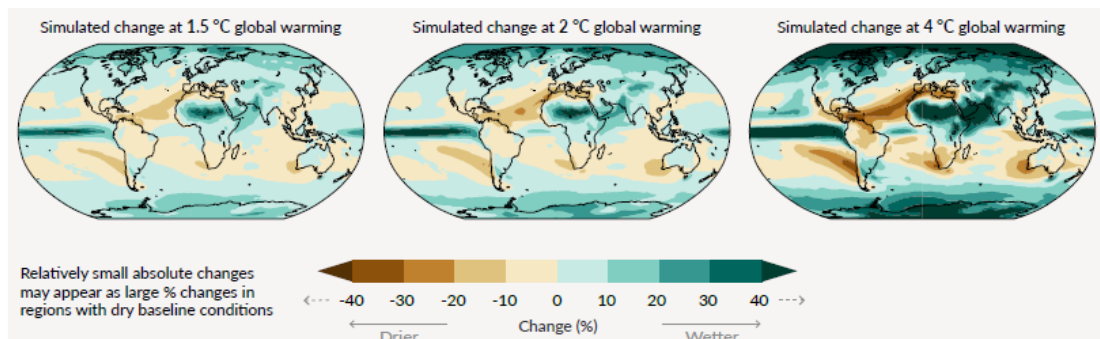


Εικόνα 6. Προσομοίωση της ετήσιας μέσης αποχής της θερμοκρασίας (°C) για θέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C, 2 °C και 4 °C (20ετής μέση παγκόσμια αποχή της επιφανειακής θερμοκρασίας σε σχέση με το 1850–1900). Οι προσομοιώσεις των αποχών αντιστοιχούν στη μέση τιμή της αποχής που υπολογίστηκε από πολλαπλά μοντέλα CMIP6 για αντίστοιχη θέρμανση του πλανήτη (Πηγή: IPCC 2021).

Παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας, αναμένεται αύξηση του μέσου παγκόσμιου υετού σε ετήσια βάση. Για το διάστημα 2081-2100, σε σχέση με την περίοδο 1995-2014, η αύξηση αυτή εκτιμάται 0–5% για το αισιόδοξο σενάριο SSP1-1.9 και 1-13% για το σενάριο υψηλών εκπομπών SSP5-8.5. Επιπλέον, προβλέπονται εντονότερα και πιο συχνά επεισόδια υετού σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7, η σημαντικότερη αύξηση του μέσου ετήσιου υετού προβλέπεται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, στον Ειρηνικό ωκεανό στο ύψος του Ισημερινού και σε περιοχές που αναπτύσσονται οι μουσώνες, ενώ σε ορισμένες τροπικές και υποτροπικές περιοχές αναμένεται μείωση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας δεν πρόκειται να συμβεί ομοιόμορφα σε όλον τον πλανήτη. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, σημαντικότερη αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται στις χερσαίες εκτάσεις σε σχέση με τους ωκεανούς. Επιπλέον, σημαντική θέρμανση προβλέπεται για την περιοχή της Αρκτικής, ακόμη και για 1°C αύξησης της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας, η οποία μαζί με την περιοχή της

Ανταρκτικής αναμένεται να θερμανθεί περισσότερο σε σχέση με τις τροπικές περιοχές. Είναι αξιοσημείωτο ότι στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, σε περιοχές με κλίμα στέπας και σε περιοχές της Ν. Αμερικής όπου αναπτύσσονται μουσώνες, αναμένεται η μεγαλύτερη αύξηση.



Εικόνα 7. Προσομοίωση της ετήσιας μέσης αποχής του νετού (%) για θέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C, 2 °C και 4 °C (20ετής μέση παγκόσμια αποχή της επιφανειακής θερμοκρασίας σε σχέση με το 1850–1900). Οι προσημειώσεις των αποχών αντιστοιχούν στη μέση τιμή της αποχής που υπολογίστηκε από πολλαπλά μοντέλα CMIP6 για αντίστοιχη θέρμανση του πλανήτη (Πηγή: IPCC 2021).

Τέλος, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να επηρεάσει συνολικά το κλιματικό σύστημα. Προβλέπεται αύξηση της έντασης και της συχνότητας των κυμάτων καύσωνα, των πλημμυρών και των περιόδων ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη. Επιπλέον, σύμφωνα με τα σενάρια SSP2-4.5, SSP3-7.0 και SSP5-8.5, από τα μέσα του αιώνα, αναμένεται σημαντική ελάττωση του pH των ωκεανών και της έκτασης των αιωνίων πάγων (permafrost) και των πάγων της Αρκτικής. Σύμφωνα με όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, η μέση στάθμη της θάλασσας προβλέπεται να αυξηθεί, με την άνοδο να υπολογίζεται στο 1.5 m κατά το πιο δυσοίωνο σενάριο.

Σύνοψη

Το επιστημονικό ενδιαφέρον για τη μελέτη των μεταβολών του κλίματος συνεχώς αυξάνεται, καθώς έχει αποδειχθεί ότι οι μεταβολές αυτές επηρεάζουν δυσμενώς σχεδόν όλες τις πτυχές της ανθρώπινης ζωής. Η έκτη έκθεση αναφοράς της IPCC αναμένεται να δημοσιευθεί ολοκληρωμένη εντός του 2022 και θα περιέχει προβλέψεις για το κλίμα βασισμένες στα νέα κλιματικά σενάρια, που διαφέρουν από τα σενάρια προηγούμενης γενιάς ως προς τον σχεδιασμό και τον τρόπο προσέγγισης των παραμέτρων που επηρεάζουν το κλίμα. Επιπλέον, οι προβλέψεις που διεξάγονται βάσει των νέων σεναρίων έχουν ως σημείο εκκίνησης το 2015 και διενεργούνται με εξελιγμένα κλιματικά μοντέλα.

Στο παρόν άρθρο, αρχικά περιγράφεται ο σχεδιασμός και τα χαρακτηριστικά των νέων κλιματικών σεναρίων (ScenarioMIP). Συνολικά, το ScenarioMIP χωρίζεται σε δύο επίπεδα και αποτελείται από οκτώ βασικά σενάρια, κάποια από τα οποία είναι επικαιροποιήσεις των παλαιότερων σεναρίων RCPs και των προεκτάσεών τους. Καθένα από τα νέα σενάρια καταλήγει σε μία καθορισμένη τιμή του RF έως το 2100 (ή το 2300), μέσα από μία συγκεκριμένη πορεία εξέλιξης της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων και άλλων ρύπων, της αλλαγής στη χρήση γης και διάφορων κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αποτελέσματα των σεναρίων SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 και του SSP1-1.9. Όπως μαρτυρούν τα στοιχεία, έως το τέλος του αιώνα, αναμένεται συνεχής αύξηση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας, έως και 5.7 °C σε σχέση με την περίοδο 1850-1900. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας δεν καταγράφεται ομοιόμορφα σε όλον τον πλανήτη. Η περιοχή της Αρκτικής αναμένεται να επηρεαστεί πρώτη και περισσότερο από την αύξηση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας, ενώ σημαντική αύξηση θερμοκρασίας προβλέπεται και για τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, περιοχές με κλίμα στέπας και περιοχές της Ν. Αμερικής όπου αναπτύσσονται μουςώνες. Ως άμεσο επακόλουθο της αύξησης της θερμοκρασίας προβλέπεται αύξηση του μέσου ετήσιου υετού, κυρίως στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, σε περιοχές του Ειρηνικού ωκεανού στο ύψος του Ισημερινού και σε περιοχές που αναπτύσσονται μουςώνες. Επιπλέον, η θέρμανση του πλανήτη αναμένεται να επιφέρει πολλαπλές μεταβολές, όπως για παράδειγμα αύξηση στην ένταση και την συχνότητα των κυμάτων καύσωνα, των πλημμυρών και των ξηρασιών σε ορισμένες περιοχές, καθώς και στη μέση στάθμη της θάλασσας. Αντίθετα, αναμένεται μείωση του pH των ωκεανών και της έκτασης των αιωνίων πάγων και των πάγων της Αρκτικής.

Η επιστημονική κοινότητα και οι ιθύνοντες αναμένουν με ανυπομονησία την ολοκλήρωση των προβλέψεων και την σύνταξη της έκτης έκθεσης αναφορά της IPCC, καθώς θα αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη όλων των πτυχών της κλιματικής αλλαγής και για την ανάπτυξη στρατηγικών προστασίας από τις επιπτώσεις της.

Βιβλιογραφία

I. Ελληνόγλωσση

Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η., 2015. Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο: <http://hdl.handle.net/11419/3708>

Πασχαλίδου, Α. (2021). Κλιματική Αλλαγή. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

II. Ξενόγλωσση

Bauer, N., Calvin, K., Hammerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mouratiadou, I., Sytze de Boer, H., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J.E., Gernaat, D., Havlik, P., Johnson, N., Klein, D., Kyle, P., Marangoni, G., Masui, T., Pietzcker, R.C., Strubegger, M., Wise, M., Riahi, K., van Vuuren, D.P. (2017). Shared socio-economic pathways of the energy Sector – Quantifying the narratives. *Global Environmental Change*, Vol. 42, pp. 316–330.

IPCC (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

IPCC (2014). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea,

- M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L., Cambridge: Cambridge University Press.
- Kriegler, E., Edmonds, J., Hallegatte, S., Ebi, K.L., Kram, T., Riahi, K., Winkler, H., van Vuuren, D.P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared climate policy assumptions. *Climatic Change*, Vol. 122, pp. 401–414.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, Vol. 463, pp. 747–756.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Griibler, A., Jung, T.Y., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000). Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press.
- O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K.L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. (2015). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004, online first.
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B.M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, Vol. 9, No. 9, pp. 3461–3482.
- Pepper, W.J., Leggett, R.J., Swart, R.J., Wasson, J., Edmonds J., Mintzer, I. (1992). Emission Scenarios for the IPCC: An Update, Assumptions, Methodology, and Results. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B., Dietrich, J.P., Doelmann, J., Gusti, M., Hasegawa, T., Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., Kriegler, E., Lotze-Campen, H., Fricko, O., Riahi, K., van Vuuren, D.P. (2016). Land use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, in press.
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C.K.C.S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Stremler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and Their Energy, Land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, Vol. 42, pp. 153–168.

- Smith, C.J., Kramer, R.J., Myhre, G., Alterskjær, K., Collins, W., Sima, A., Boucher, O., Dufresne, J.-L., Nabat, P., Michou, M., Yukimoto, S., Cole, J., Paynter, D., Shiogama, H., O'Connor, F.M., Robertson, E., Wiltshire, A., Andrews, T., Hannay, C., Miller, R., Nazarenko, L., Kirkevåg, A., Olivie, D., Fiedler, S., Lewinschal, A., Mackallah, C., Dix, M., Pincus, R., Forster, P.M. (2020) Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 20, pp. 9591–9618.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, Vol. 109. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.

Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Πράξης «ΚΕΝΤΡΟ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΜΘ» (MIS 5047293) που εντάσσεται στη Δράση «Ενίσχυση των Υποδομών Έρευνας και Καινοτομίας» και χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2014-2020, με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης).

