ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΕΘΝΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΚΟΝΤΟΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ 4170059

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ.ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελεί την εισαγωγή. Αρχικά γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής δίνοντας έμφαση στην αύξηση της θερμοκρασίας. Έπειτα επεξηγείται το Φαινόμενο του θερμοκηπίου τονίζοντας την σημασία των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Στην συνέχεια επεξηγούνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία καθώς και η σύντομη περιγραφή αποτελεσματικών μεθόδων για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Στο τελευταίο μέρος της εισαγωγής παραθέτονται οι δράσεις και η συμβολή της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής Κεντρικής Τράπεζας στο πλαίσιο μεταβολής του παγκόσμιου κλίματος. Το δεύτερος μέρος της εργασίας αναφέρεται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Δηλαδή μελέτες και έρευνες για την σχέση κλιματικής αλλαγής και οικονομίας. Πρώτα παραθέτεται μια γενική προεπισκόπηση των δυναμικών μακροοικονομικών μοντέλων και μια ειδικότερη αναφορά στα δυναμικά μοντέλα DICE και RICE. Επιπλέον περιγράφεται η συμβολή του καθηγητή Nordhaus, όπου στις μελέτες του η αύξηση της φορολογίας του άνθρακα καθίσταται η πιο αποτελεσματική μέθοδος στο πλαίσιο περιορισμού της κλιματικής αλλαγής. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ολοκληρώνεται με έρευνες σχετικά με τις στρατηγικές αλληλεπιδράσεις πολιτικών για την μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Στο τρίτο και τελευταίο μέρος θα λύσουμε ένα υπόδειγμα στο οποίο ένα αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό επιδιώκει να μεγιστοποιήσει την χρησιμότητα του σε τρεις περιπτώσεις. Στην περίπτωση που το νοικοκυριό αγνοεί την κλιματική αλλαγή, στην περίπτωση που θεσπίζεται φορολογία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και την περίπτωση όπου η οικονομική πολιτική συνδυάζει την φορολογία και δημόσια δαπάνη για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση και την σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών περιπτώσεων.

Περιεχόμενα

Περίληψη 2

1 Εισαγωγή 4

1.1 Κλιματική αλλαγή 4

1.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου 5

1.3 Επιπτώσεις στην οικονομία 6

1.4 Τρόποι αντιμετώπισης 10

1.4.1 Περιορισμός (medication) 11

1.4.2 Προσαρμογή (adaptation) 12

1.5 Ευρωπαϊκή Ένωση 12

1.6 Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα 14

2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας 15

2.1 Δυναμικά μακροοικονομικά μοντέλα 15

2.2 Μοντέλα RICE και DICE 17

2.3 Περιορισμός κλιματικής αλλαγής μέσω φόρων άνθρακα 18

2.4 Στρατηγικές αλληλεπιδράσεις πολιτικής μείωσης του άνθρακα 19

3 Το Υπόδειγμα 21

3.1 Εισαγωγή 21

3.2 Κλιματική αλλαγή χωρίς οικονομική πολιτική παρέμβασης 22

3.3 Εφαρμογή οικονομικής πολιτικής για την κλιματική αλλαγή μέσω φορολογίας. 27

3.4 Εφαρμογή οικονομικής πολιτικής για την κλιματική αλλαγή μέσω φορολογίας και κρατικής δαπάνης 30

4 Συμπεράσματα 34

Βιβλιογραφία 37

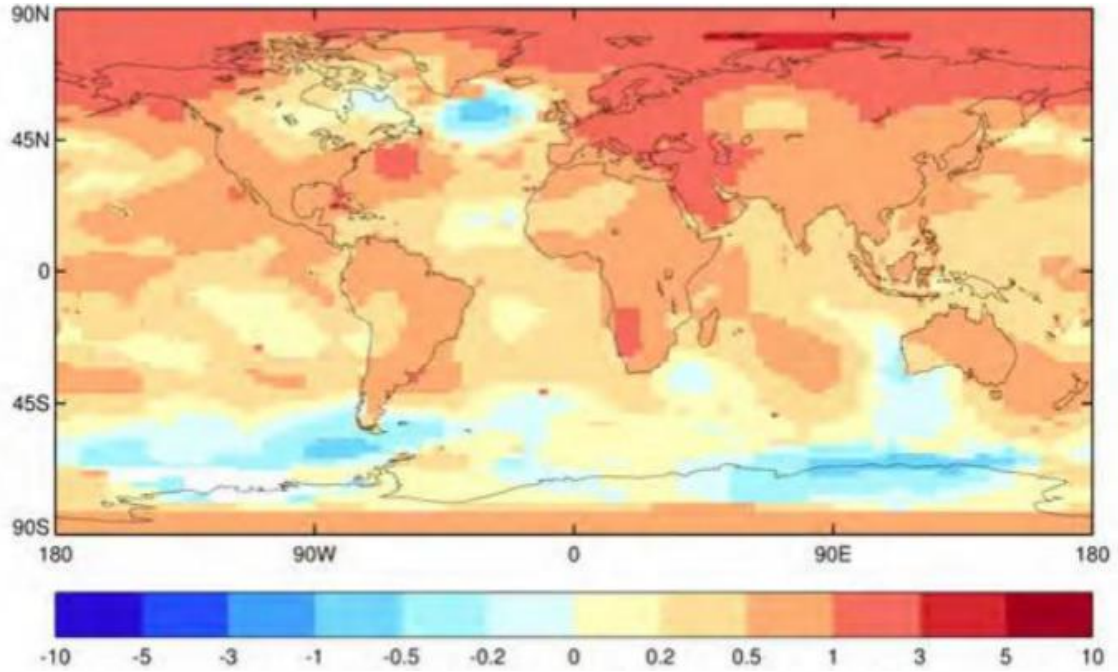
1 Εισαγωγή

1.1 Κλιματική αλλαγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έξαρση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Η ραγδαία άνοδος της θερμοκρασίας αποτελεί βασικό παράγοντα μεταβολής του παγκόσμιου κλίματος.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πληθώρες και επιδεινώνονται με το πέρασμα του χρόνου. Χαρακτηριστικές συνέπειες του φαινομένου είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας με το λιώσιμο των πάγων. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα με ισχυρές βροχοπτώσεις προκαλούν καταστροφικές πλημμύρες και περιορισμό των υδάτινων πόρων, ξηρασία καθώς και εξαφάνιση της χλωρίδας και της πανίδας. Επίσης απορρέουν κίνδυνοι και για την ανθρώπινη υγεία ,αφού έχει παρατηρηθεί αύξηση των θανάτων σε περιοχές με πολύ υψηλές θερμοκρασίες και σε περιοχές με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπροσθέτως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι μεγαλύτερες στις φτωχές αναπτυσσόμενες χώρες. Οι οποίες αν και φέρουν μικρότερο μερίδιο ευθύνης για τη έξαρση του φαινομένου λόγο των περιορισμένων πόρων που κατέχουν δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν τις αλλαγές του κλίματος.

Σχεδόν σε όλο τον κόσμο παρατηρείται σημαντική απόκλιση της μέσης θερμοκρασίας κατά την διάρκεια των ετών 2015-2019 με τις κανονικές τιμές των ετών 1981-2010 σε ^{o}C. Μάλιστα σε αρκετές περιοχές του πλανήτη η απόκλιση μεταξύ των θερμοκρασιών τείνει να ξεπεράσει τους 5°C ειδικότερα στην Ευρώπη και στις Βόρειες περιοχές της γης.



ΠΗΓΗ : NASA GISTEMP v4

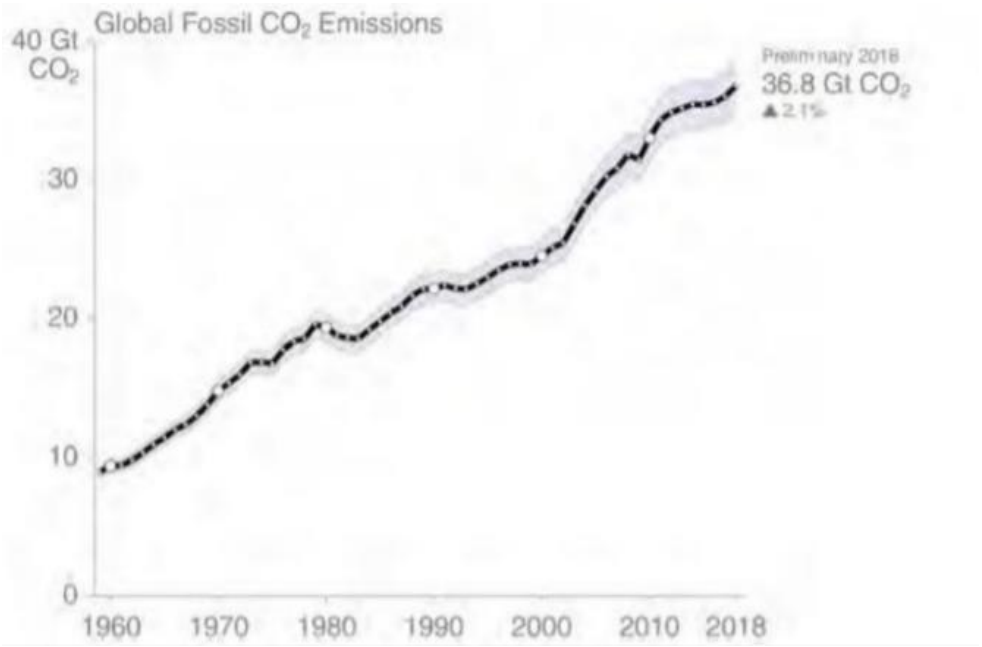
Σύμφωνα με την μελέτη της Επιτροπής της Κλιματικής αλλαγής (2011) ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ήταν μεγαλύτερος κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια. Επιπλέον η παραπάνω έρευνα αποδεικνύει πως οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την αύξηση της θερμοκρασίας παρά τα φυσικά αίτια. Σε παγκόσμιο επίπεδο έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Στην Ελλάδα μελέτες δείχνουν πως μέχρι το 2100 η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να φτάσει τους 6°C αν δεν υπάρξει παγκόσμια συλλογική δράση για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

1.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο το ανακάλυψε πρώτος ο Γάλλος επιστήμονας Ζοζέφ Φουριέ το 1824. Σύμφωνα με αυτήν την φυσική διαδικασία μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας εγκλωβίζεται στην ατμόσφαιρα της γης με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία της. Με αυτόν τον τρόπο η γη διατηρεί την κατάλληλη θερμοκρασία ώστε να υπάρξει ζωή και ανάπτυξη. Επιπλέον βάση του φαινομένου του θερμοκηπίου το 70% της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από την ατμόσφαιρα του πλανήτη. Το 16% από την επιφάνεια το 51% από τους ωκεανούς και το 3% από τα νέφη. Το υπόλοιπο 30% αντανακλάται στην επιφάνεια της Γης και απελευθερώνεται πίσω στο διάστημα από την ατμόσφαιρα(6%) τα νέφη(20%) και την επιφάνεια(4%). Βασικός μοχλός αυτής της διαδικασίας αποτελούν τα αέρια του θερμοκηπίου(GHG). Τα οποία σχηματίζουν ένα "στρώμα" πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και συγκρατούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που πρόκειται να απελευθερωθεί στο διάστημα. Με αυτό τον τρόπο η θερμοκρασία της γης αυξάνεται ακόμα περισσότερο. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αερίων θερμοκηπίου με την μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης αποτελούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) το μεθάνιο (CH_4) το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) οι χλωροφθοράνθρακες (CFC s) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3). Μεγαλύτερη συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Βασικό αίτιο της αύξησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποτελούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες, καθώς η καύση πετρελαίου και γενικότερα των ορυκτών καυσίμων έχει αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια.

Σύμφωνα με την έκθεση της Επιστημονικής Συμβουλευτικής Ομάδας της Συνόδου Κορυφής του ΟΗΕ για το κλίμα το 2019 οι εκπομπές CO_2 παρουσιάζουν ανοδική τάση με το πέρασμα των χρόνων(από το 1960) κατά 1% σε ετήσια βάση. Ενώ το έτος 2018 σημείωσαν την υψηλότερη ετήσια αύξηση από οποιαδήποτε άλλη χρονιά της τάξεως του 2% με συνολική εκπομπή 37 δισεκατομμυρίων τόνων CO_2.

Οι παρούσες συνθήκες που επικρατούν προμηνύουν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα.
Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η διαχρονική εξέλιξη της ποσότητας(τόνοι) των εκπομπών CO_2 από το 1960 μέχρι το 2018:



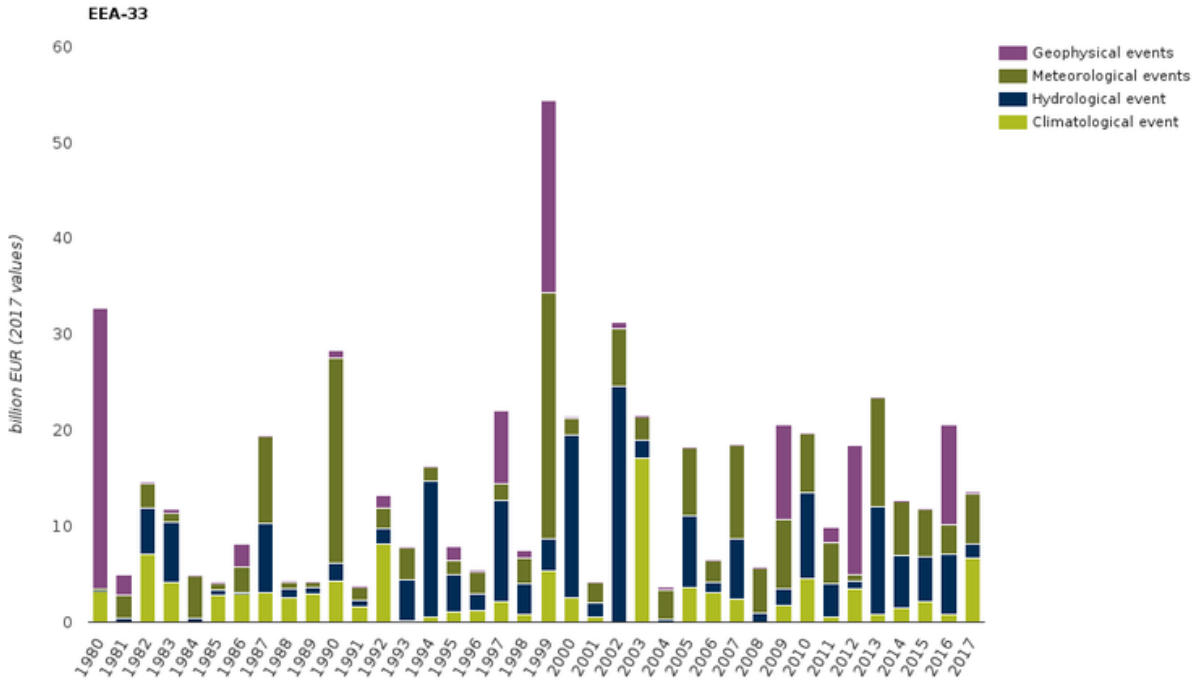
Ο βαθμός εκπομπών αερίου του άνθρακα δεν είναι ίδιος για κάθε χώρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους διαφορετικούς τομείς δραστηριοποίησης του κάθε κράτους(ενέργεια, βιομηχανία, γεωργία) που συσχετίζονται και με τα επίπεδα ανάπτυξής του. Ειδικότερα για το 2015 πολλές είναι οι χώρες που παρουσιάζουν υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Πρώτη κατατάσσεσαι η Κίνα με 13.067.691 κιλοτόνους, δεύτερη η Αμερική με 6.444.396, τρίτη η Ευρωπαϊκή Ένωση με 4.499.851 τέταρτη η Ινδία με 3.346.954 και πέμπτη η Ρωσία με 2.233.876 (Πηγή: Αναφορά του Κοινού Κέντρου Ερευνών για τις εκπομπές διοξειδίου παγκοσμίως το 2019).

1.3 Επιπτώσεις στην οικονομία

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής επιφέρει αρνητικές συνέπειες όχι μόνο για την βιωσιμότητα του πλανήτη αλλά και για την παγκόσμια και εγχώρια οικονομία.

Συγκεκριμένα οι χώρες της Ευρώπης κατά την περίοδο 1980 μέχρι το 2017 ήρθαν αντιμέτωπες με μεγάλες οικονομικές ζημιές ως αποτέλεσμα της έκθεσης της οικονομίας τους σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Το ύψος των οικονομικών ζημιών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο των καιρικών φαινομένων και την χρονική περίοδο.

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα (καταιγίδες), τα κλιματολογικά φαινόμενα (καύσωνες, ξηρασία, πυρκαγιές) τα υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες) και τα γεωφυσικά φαινόμενα (σεισμοί, τσουνάμι, ηφαιστειακές εκρήξεις). Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι οικονομικές ζημιές των κρατών της Ευρώπης εκφρασμένες δισεκατομμύρια ευρώ ανά κατηγορία καιρικού φαινομένου για την περίοδο 1980-2017.



ΠΗΓΗ : NatCatSERVICE

Οι επιπτώσεις των καιρικών φαινομένων αποτελούν μεγάλο πλήγμα για την οικονομία των κρατών και την παγκόσμια οικονομία. Οι χώρες μέλη του ευρωπαϊκού οικονομικού χώρου (ΕΕΑ) κατά την περίοδο 1980-2017 ήρθαν αντιμέτωπες με οικονομικές ζημιές ύψους 453 δισεκατομμυρίων ευρώ λόγο των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των ακραίων καιρικών φαινομένων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα καιρικών φαινομένων που προκάλεσαν τις μεγαλύτερες ζημιές αποτελούν οι πλημμύρες του 2002 στην Κεντρική Ευρώπη (πάνω από 21 δισεκατομμύρια ευρώ), το κύμα ξηρασίας και οι υψηλές θερμοκρασίες του 2003 (σχεδόν 15 δισεκατομμύρια ευρώ), η χειμερινή καταιγίδα του Λόθαρ τον Οκτώβριο του 2000(13 δισεκατομμύρια ευρώ) και οι πλημμύρες στην Ιταλία - Γαλλία (13 δισεκατομμύρια ευρώ), όλα σε τιμές 2017.

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις οικονομικές απώλειες (σε εκατομμύρια ευρώ) και τις απώλειες ανά κεφαλήν (σε εκατομμύρια ευρώ) των κρατών για την περίοδο 1980-2019 εξαιτίας των ακραίων καιρικών φαινομένων.

ΧΩΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ
Αυστρία	13,489	1,681
Βέλγιο	4,308	415
Κύπρος	386	565
Τσεχία	10,533	1,018
Δανία	10,336	1,936
Φιλανδία	1,959	380
Γαλλία	62,059	1,026
Γερμανία	96,494	1,271
Ελλάδα	7,319	693
Ισλανδία	88	312
Ιρλανδία	4,014	1,017
Ιταλία	64,673	1,120
Λουξεμβούργο	718	1,627
Ολλανδία	8,111	517
Νορβηγία	3,597	794
Πολωνία	15,057	397
Πορτογαλία	6,869	672
Ρουμανία	11,065	508
Ισπανία	37,106	889
Σουηδία	4,272	479
Ελβετία	18,805	2,609
Τουρκία	4,405	70
Μ. Βρετανία	50,504	848

ΠΗΓΗ: NatCatSERVICE και EUROSTAT

Πολλοί σημαντικοί τομείς της οικονομίας πλήττονται από την απότομη αλλαγή του κλίματος. Γεγονός που συντελεί σε σημαντική μείωση του ΑΕΠ ειδικότερα σε περίπτωση μη συλλογικής συνεργασίας για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα βάση ερευνών της ΕΜΕΚΑ (2011, επιτροπή

μελέτης επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής) εκτιμάται μείωση του ΑΕΠ κατά 700 δισεκατομμύρια ευρώ μέχρι το 2100.

Επιπλέον σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη που δημοσιεύθηκε από το Εθνικό Γραφείο Οικονομικής Έρευνας (NBER,2019) η κλιματική αλλαγή επιφέρει μακροπρόθεσμες μακροοικονομικές επιπτώσεις. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με την συνεργασία του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνιας, του Πανεπιστημίου του Cambridge, του Διεθνές Νομισματικού Ταμείου (ΔΝΤ) και του Εθνικού Πανεπιστημίου Tsing Hua στην Ταϊβάν, συμπεριλαμβάνοντας 174 χώρες με στοιχεία από το 1964 μέχρι το 2014. Υποστηρίζει πως η ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει όλες τις χώρες ανεξαρτήτως γεωγραφικής περιοχής και πλούτου. Με σταθερή αύξηση της ετήσιας θερμοκρασίας κατά 1%°C και χωρίς παγκόσμια δραστηριοποίηση και συνεργασία κρατών παρατηρείται μείωση του κατακεφαλήν εισοδήματος πληθώρων κρατών μειώνοντας έτσι τα επίπεδα παραγωγικότητας. Ο Καναδάς αντιμετωπίζει πιθανή μείωση κατά 13,8%, οι ΗΠΑ 10.52%, η Ελλάδα 12,21% η Ελβετία 12%, η Ινδία 9,9%, η Ρωσία 8,93%, η Ιταλία 7,01 και η Κίνα 4,3%.

Βάση της πρόσφατης πρόβλεψης του Παγκόσμιου Ταμείου για τη Φύση (WWF,2020) που αποβλέπει τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής για τα επόμενα 30 χρόνια στο ΑΕΠ των χωρών. Σε ένα αισιόδοξο σενάριο χωρίς την λήψη απαιτούμενων μέτρων, προβλέπεται μείωση του παγκόσμιου εισοδήματος σε όρους ΑΕΠ κατά 437 δισεκατομμύρια. Ειδικότερα προβλέπεται μείωση του ΑΕΠ για τις παρακάτω χώρες:

ΧΩΡΕΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΕΠ ΣΕ ΔΙΣ
ΗΠΑ	75,30
Ιαπωνία	73,10
Βρετανία	19,25
Ινδία	18,54
Αυστραλία	18,07
Βραζιλία	12,96
Νότια Κορέα	9,28
Νορβηγία	7,97
Ισπανία	7,85
Γαλλία	7,73

Υδάτινα αποθέματα

Οι υδάτινοι πόροι αποτελούν πολύτιμοι παραγωγικοί συντελεστές βασικών τομέων της οικονομίας (βιομηχανία, ενέργεια, ιχθυοκαλλιέργειες). Επικράτειες με θερμοκρασία υψηλότερη από τα φυσιολογικά επίπεδο διαθέτουν περιορισμένους υδάτινους πόρους και συνεπώς χαμηλή παραγωγικότητα. Γεγονός που επιβραδύνει την οικονομική ανάπτυξη των χωρών.

Γεωργία

Οι απότομες αλλαγές του κλίματος προκαλούν έντονες βροχοπτώσεις, αύξησης της θερμοκρασίας και ξηρασία με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή των αγροτικών προϊόντων και να αλλοιώνεται η ποιότητα τους. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως οι αναπτυσσόμενες χώρες με βασικό τομέα πηγής εσόδων τις αγροτικές δραστηριότητες αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες οικονομικές ζημιές.

Μεταφορές

Στο τομέα των μεταφορών επόμενο είναι τα ακραία καιρικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα να ευθύνονται για καταστροφές του οδικού και του σιδηροδρομικού δικτύου. Επομένως το κόστος που απαιτείται για την αποκατάσταση των ζημιών είναι υψηλό.

Τουρισμός

Τα έσοδα από δραστηριότητες στον χώρο του τουρισμού πρόκειται να μειωθούν τα επόμενα χρόνια σε περιοχές με έντονες κλιματικές αλλαγές. Χώρες με υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία δεν αποτελούν επιλογή για επίσκεψη. Βάση μελετών της DeutscheBank (2008) αναμένεται μείωση του τουρισμού στις μεσογειακές χώρες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού λόγο ακραίων θερμοκρασιών. Συνεπώς οι τουρίστες προβαίνουν στην επιλογή διαφορετικών προορισμών όπως τις χώρες της βαλτικής, τα κανάρια νησιά και περιοχές στην βόρειο θάλασσα όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες. Επιπλέον η επιδείνωση των καιρικών φαινομένων προκαλεί σημαντικές ζημιές στις τουριστικές εγκαταστάσεις. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το τσουνάμι στην Ινδονησία το 2004, ο τυφώνας Wilma το 2005 στο Μεξικό και η αύξηση συχνότητας των πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα και στην Νότια Ιταλία.

1.4 Τρόποι αντιμετώπισης

Είναι σαφές πως η κλιματική αλλαγή πηγάζει κινδύνους τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία. Αποφασιστικής σημασίας κρίνεται η εύρεση λύσεων για την αντιμετώπιση των νέων συνθηκών. Ο περιορισμός (mitigation) και η προσαρμογή (adaptation) στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής

περιλαμβάνουν προσπάθειες, λύσεις, πολιτικές και νέες ρυθμίσεις που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση του φαινομένου.

1.4.1 Περιορισμός (medication)

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στην παραπάνω εργασία βασικό αίτιο της απότομης αλλαγής του κλίματος αποτελεί η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου(GHG) με κύρια αύξηση αυτή της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Τα τελευταία χρόνια πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες ευνοούν την εκπομπή ανθράκων σε διάφορους τομείς όπως στην βιομηχανία, γεωργία, μεταφορές. Στο πλαίσιο περιορισμού πρωταρχικοί στόχοι είναι η αντιμετώπιση των αιτιών του φαινομένου και της ελαχιστοποίησης πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Σύμφωνα με τον Swart (2003) οι στρατηγικές περιορισμού απαρτίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη εξετάζονται μέθοδοι από την πλευρά της τεχνολογίας. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει λύσεις στο πλαίσιο οικονομικής πολιτικής, κοινωνικής οργάνωσης και ατομικής στάσης. Οι στρατηγικές ποικίλουν ανάλογα με τις διαφορετικές επιπτώσεις που έχει να αντιμετωπίσει κάθε χώρα καθώς και από τους διαθέσιμους πόρους που έχει στην κατοχή της ώστε να τους αξιοποιήσει με τον κατάλληλο δυνατό τρόπο.

Από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα από πλευρά οικονομικής πολιτικής αποτελεί η θέσπιση και σταδιακή αύξηση της φορολογίας σε δραστηριότης που ευνοούν την εκπομπή ορυκτών καυσίμων και διοξειδίου του άνθρακα. Η αύξηση της τιμής του CO_2 αποτελεί μια από τις πιο αποτελεσματικές πολιτικές στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την έκθεση του ΟΟΣΑ(Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) 41 χώρες συμπεριλαμβάνοντας την Ευρώπη, τις ΗΠΑ, την Κίνα και την Ινδία κατατάσσονται ανάλογα με την τιμολόγηση του CO_2 καθώς και το μερίδιο ευθύνης κάθε ανάλογα με τα επίπεδο ρύπανσης που προκαλεί (Σεπτέμβριος 2019). Η πρώτη χώρα παγκοσμίως με την υψηλότερη φορολόγηση εκπομπών CO_2 είναι η Ολλανδία με τιμή χρέωσης 54,63€ ανά τόνο εκπεμπόμενου CO_2. Υψηλές τιμές χρέωσης έχουν θέσει και οι Σκανδιναβικές χώρες η Δανία με τιμή 47,4€ ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα, η Νορβηγία με 46,74€, η Σουηδία με 30,66€, και η Φινλανδία με 23,74€ ανά τόνο εκπεμπόμενου CO_2. Χώρες με πολύ χαμηλή φορολογία στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι η Κίνα και οι ΗΠΑ, οι οποίες αθροιστικά έχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της τάξεως του 38%. Συγκεκριμένα η τιμή του φόρου ανέρχεται στα 0,76€ ανά τόνο για τις ΗΠΑ και για την Κίνα στα 1,55€.

Μια σειρά από επιπλέον μέτρα όπως την επιλογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έναντι χρήσης ορυκτών καυσίμων και η προώθηση της οικολογικής βιομηχανίας συμβάλουν στην προστασία του περιβάλλοντος.

Είναι εξίσου σημαντικό να αναφερθεί πως ελλοχεύουν κίνδυνοι κατά την εφαρμογή των μέτρων περιορισμού της κλιματικής. Οι οικονομικές επιβαρύνσεις από την διαδικασία προσαρμογής σε μια πράσινη οικονομία με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και από την απότομη υιοθέτηση προοδευτικών τεχνολογικών αλλαγών εντάσσονται στους κίνδυνος μετάβασης. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς ο χρηματοπιστωτικός τομέας ενδέχεται να υποστεί πλήγμα με πιθανές συνέπειες την μείωση της κερδοφορίας των επιχειρήσεων και την μείωση της αξίας περιουσιακών στοιχείων.

1.4.2 Προσαρμογή (adaptation)

Στο πλαίσια προσαρμογής συμπεριλαμβάνονται μέτρα που αποσκοπούν στην μείωση και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Κάποιες από αυτές τις μεθόδους θα μπορούσαν να είναι η επιλεκτική διατήρηση των ζώων σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, η φύτευση καλλιεργειών πρώιμης ωρίμανσης και η υιοθέτηση ανθεκτικών ποικιλιών καλλιεργειών έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη η διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων. Επίσης μια εξίσου σημαντική μέθοδος είναι η αύξηση των επενδύσεων στον τομέα των κατασκευών. Στόχος είναι η βελτίωση ανθεκτικότητας των εγκαταστάσεων καθώς και αποτελεσματικότερη διαχείριση και πρόληψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

1.5 Ευρωπαϊκή Ένωση

Αποφασιστικής σημασίας κρίνεται η συλλογική συνεργασία των κρατών καθώς και των μελών της ευρωπαϊκής ένωσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε αυτό το πλαίσιο τα κράτη-μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης έχουν δώσει την συγκατάθεση τους στην συμφωνία του Παρισιού (2015) για την λήψη μέτρων αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Στόχος είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη να διατηρηθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από 2°C και να καταβληθούν προσπάθειες προκειμένου να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας στον 1,5^{o}C. Συγκεκριμένα στόχος της ΕΕ για το 2030 είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% σε σχέση με το 1990.

Ειδικότερα, νέες πολιτικές και μέτρα λαμβάνονται από την ΕΕ για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Τον Φεβρουάριο του 2018 η ΕΕ προβαίνει στην έγκριση της αναθεώρησης των κανόνων του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (ΣΕΔΕ) της ΕΕ. Θεσπίζεται ανώτατο όριο εκπομπής CO_2 για τις μεγάλες βιομηχανίες και τους σταθμούς παραγωγής ενέργεια, όπου πλέον κάθε εταιρία πρέπει να έχει ειδική άδεια. Τον Απρίλιο του 2019 ορίστηκαν αυστηρότερα μέτρα και προδιαγραφές προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές CO_2 στον τομέα των

μεταφορών. Προβλέπεται μέχρι το 2030 να έχει μειωθεί ο μέσος όρος εκπομπής CO_2 για τα αυτοκίνητα κατά 37,5 % και για τα ημιφορτηγά κατά 31% από το 2021. Το χρονικό διάστημα από το 2025 έως το 2029 η εκπομπή CO_2 κατά μέσο όρο για αμάξια και ημιφορτηγά ορίζεται στο 15%.

Επιπλέον το Μάρτιο του 2020 θεσπίζεται νέος στόχος για την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050 ώστε να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο οικονομικής ισότητας και κοινωνικής ισορροπίας καθώς οι συνθήκες που επικρατούν σε κάθε χώρα δεν είναι οι ίδιες. Τον Ιούνιο του 2020 με την απάντηση του ευρωσυστήματος στις δημόσιες διαβουλεύσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την ανανεωμένη στρατηγική για τη βιώσιμη χρηματοδότηση και την αναθεώρηση της οδηγίας για τις μη χρηματοοικονομικές εκθέσεις ανοίγονται νέοι ορίζοντες συμφωνίας για την αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Εγκρίνεται ένας από τους πιο φιλόδοξους στόχους επιδίωξης καθαρών μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) μέχρι το 2050 από το Ευρωπαϊκό συμβούλιο. Εκτιμάται ποσό ύψους 470 δισεκατομμυρίων που πρέπει να δαπανηθεί σε επενδύσεις απαραίτητες για την επίτευξη του στόχου. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση του σε πέντε συγκεκριμένους παράγοντες. Κρίνεται αναγκαίο η δημιουργία ενός περιβάλλοντος διαφάνειας και γνωστοποίησης όλων των διαθέσιμων και σημαντικών πληροφοριών που ευνοούν την βιώσιμη ανάπτυξη. Ο χρηματοπιστωτικός τομέας αποτελεί βασικός πυλώνας υποστήριξης για την κατεύθυνση και απορρόφηση των κεφαλαίων. Επιπλέον δίνεται ιδιαίτερη έμφαση τόσο στους φυσικούς κινδύνους της κλιματικής αλλαγής (πχ καταστροφές από καιρικά φαινόμενα) όσο και στους κίνδυνους μετάβασης (προσπάθειες μετριασμού επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής). Επίσης λαμβάνεται υπόψη πως η βιώσιμη χρηματοδότηση συσχετίζεται και συντονίζεται και με άλλες πολιτικές, όπως με την ένωση κεφαλαιαγορών(CMU). Τέλος τονίζεται πως η βιώσιμη χρηματοδότησης αποτελεί παγκόσμιο ζήτημα και απαιτείται συνεργασία και δραστηριοποίηση σε διεθνές επίπεδο.

Στο πλαίσιο χρηματοδότησης της ΕΕ για την προστασία του περιβάλλοντος και του κλίματος έχει τεθεί σε εφαρμογή από το 1992 το πρόγραμμα LIFE. Τα ολοκληρωμένα έργα LIFE έχουν στόχο την συμμόρφωση των κρατών-μελών της ΕΕ ως προς τους νόμους για το κλίμα και το περιβάλλον. Ειδικότερα στην συμμόρφωση της νομοθεσίας όσον αφορά την προστασία της φύσης, την διατήρηση των υδάτινων αποθεμάτων, τον αέρα, την διαχείριση των αποβλήτων, τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Το πρόγραμμα έχει συμβάλει μέρος στην χρηματοδότηση 5.500 έργων στην ΕΕ και στις τρίτες χώρες ενώ 1.100 έργα βρίσκονται σε εξέλιξη. Την περίοδο 2014-2020 ο προϋπολογισμός για χρηματοδοτήσεις εκτιμήθηκε στα 3,4 δισεκατομμύρια ευρώ, ποσό 60% χαμηλότερο από τον προϋπολογισμό για την περίοδο 2021-2027 που ανέρχεται στα 5,4 δισεκατομμύρια ευρώ. Βάση της πιο πρόσφατης εξέλιξης στα δεδομένα του προγράμματος ανακοινώθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή δαπάνες ύψους 121 εκατομμυρίων που αποσκοπούν σε επενδύσεις (Φεβρουάριος 2021).

Η παραπάνω χρηματοδότηση επιδιώκει την στήριξη σημαντικών έργων για το περιβάλλον και το κλίμα σε 11 κράτη μέλη (Βέλγιο, Γερμανία, Ιρλανδία, Γαλλία, Ουγγαρία, Ιταλία, Λετονία, Κάτω Χώρες, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία). Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η πραγματοποίηση των έργων συμβάλει και στην διοχέτευση επιπρόσθετων κονδυλίων που θα επιτρέψουν στα κράτη-μέλη την εξασφάλιση χρηματοδοτήσεων από άλλες πηγές της ΕΕ. Όπως για παράδειγμα τα γεωργικά, τα διαρθρωτικά, τα περιφερειακά και τα ερευνητικά ταμεία καθώς και επενδύσεις του ιδιωτικού τομέα.

1.6 Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα

Η κλιματική αλλαγή συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τον ρόλο της ευρωπαϊκής τράπεζας. Είναι εμφανές πως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν την οικονομία, τον χρηματοπιστωτικό και τραπεζικό τομέα. Οι τράπεζες που δεν μπορούν να διαχειριστούν τους περιβαλλοντικούς και φυσικούς κινδύνους, είναι περισσότερο ευάλωτες στους γενικότερος κινδύνους που αντιμετωπίζει ο τραπεζικός τομέας όπως τον πιστωτικό, τον κίνδυνο αγοράς, τον λειτουργικό κίνδυνο και τον κίνδυνο ρευστότητας. Άλλος ένας λόγος που θέτει το χρηματοπιστωτικό και τραπεζικό τομέα σε κίνδυνο αποτελούν οι προσπάθειες μετάβασης σε μια οικονομία φιλική ως προς το περιβάλλον(κίνδυνοι μετάβασης). Διότι η υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής επιφέρουν υψηλό κόστος. Ο βασικότερος στόχος της ευρωπαϊκής κεντρικής τράπεζας που είναι η σταθερότητα των τιμών (κοντά αλλά κάτω του 2%), επηρεάζεται από τις μεταβολές του κλίματος διαμορφώνοντας διαφορετικά επίπεδα πληθωρισμού. Οι μεταβολές του πληθωρισμού θα μπορούσαν να οφείλονται για παράδειγμα στην άνοδο των τιμών των αγροτικών προϊόντων λόγο επικείμενων καταστροφών στις καλλιέργειες.

Πέρα από την μέριμνα για την σταθερότητα των τιμών, η ΕΚΤ προβλέπεται να στηρίζει τις προσπάθειες της ΕΕ ειδικότερα στο πλαίσιο προστασίας του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα σημαντική κρίνεται η συμβολή της ευρωπαϊκής κεντρικής τράπεζας στην επίτευξη του στόχου της ευρωπαϊκής επιτροπής που αναφέρεται στην προσπάθεια μηδενικής εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου(GHG) μέχρι το 2050. Καθώς οι δαπάνες που απαιτούνται για τις ανάγκες του στόχου κατευθύνονται από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα που λειτουργούν σαν μεσολαβητές στον ιδιωτικό τομέα. Γενικότερα οι συνθήκες και οι προσπάθειες της ΕΕ κρίνουν απαραίτητη την συμβολή της ΕΚΤ. Συνεπώς προκύπτει ότι στις αποφάσεις της ευρωπαϊκής κεντρικής τράπεζας και ειδικότερα στο πλαίσιο της νομισματικής πολιτικής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα νέα δεδομένα που έχουν προκύψει λόγο της κλιματικής αλλαγής.

Η ΕΚΤ μεριμνά για την αντιμετώπιση του φαινομένου με την καθιέρωση αποτελεσματικών μέτρων, ρυθμίσεων, κανόνων και πολιτικών σε διεθνές κλίμακα, χωρίς όμως οι ενέργειες αυτές να έρχονται σε αντίθεση με τον βασικότερο στόχο της ΕΚΤ. Ειδικότερα σύμφωνα και με την ετήσια έκθεση της ΕΚΤ για το 2019 προβλέπεται η δραστηριοποίησή της σε έξι βασικούς τομείς: βελτίωση της οικονομικής ανάλυσης, βελτίωση των προβλεπτικών υποδειγμάτων και της αξιολόγησης κινδύνων, ανάπτυξη της παρακολούθησης και αξιολόγησης των κινδύνων για τη χρηματοπιστωτική σταθερότητα, συμπερίληψη προσομοιώσεων δυσμενών σεναρίων κλιματικών κινδύνων, τραπεζική εποπτεία, ενσωμάτωση παραμέτρων που σχετίζονται με τον κλιματικό κίνδυνο στις δικές της επενδυτικές δραστηριότητες και επιχειρησιακές λειτουργίες, αξιολόγηση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής για την κατεύθυνση της νομισματικής πολιτικής της, υποστήριξη του έργου των ευρωπαϊκών και διεθνών οργάνων, των νομοθετικών σωμάτων και των φορέων θέσπισης προτύπων για την αντιμετώπιση των κινδύνων της κλιματικής αλλαγής και τέλος την ενσωμάτωση παραμέτρων βιωσιμότητας στη λήψη χρηματοοικονομικών αποφάσεων και προστασία του περιβάλλοντος μέσω του συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης της ΕΚΤ.

2 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Δυναμικά μακροοικονομικά μοντέλα

Τα μοντέρνα δυναμικά μακροοικονομικά μοντέλα έχουν συμβάλει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην μελέτη των δημοσιονομικών και νομισματικών παραγόντων και επιπτώσεων τα τελευταία χρόνια. Συμπεριλαμβάνουν μεγάλο εύρος παραγόντων της οικονομία και υιοθετούνται για προβλέψεις τόσο από τις τράπεζες τα κράτη και από διεθνείς φορείς. Στην αρχή η βασική ιδέα ήταν πως για να είναι μια πρόβλεψη όσο το δυνατό ακριβής πρέπει να συμπεριληφθούν στην μελέτη οι οικονομικοί κύκλοι το επίπεδο ανάπτυξης καθώς και οι πολιτικές στο πλαίσιο της οικονομίας. Στην συνέχεια διαπιστώθηκε πως για να γίνει αποτελεσματικότερη η μελέτη στους κύκλους, στις πολιτικές και στην ανάπτυξη έγκειται η προσθήκη των ορθολογικών προτιμήσεων και η έννοια της γενικής ισορροπίας (Luca 1976).

Η πρώτη απόπειρα υλοποίησης των μοντέλων έγινε από τους Kydland και Prescott (1982) και από τους Long και Plosser (1983). Τα μοντέλα αυτά είναι γνωστά ως RBC (real business cycle). Το ξεχωριστό στοιχείο που τα κάνουν να διαφέρουν από τα προηγούμενα μοντέλα είναι η εστίαση στις επιπτώσεις των τεχνολογικών διακυμάνσεων και αλλαγών. Τα μοντέλα αυτά δεν έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογής στην νομισματική πολιτική και χρησιμοποιούνται περισσότερο στο δημοσιονομικό τομέα.

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς τα μοντέλα DSGE (dynamic stochastic general equilibrium) (βλέπε Cooley and Prescott (1995), King and Rebelo (1999), Rebelo (2005) Kydland (2006), McGratten (2006). Τα στοχαστικά δυναμικά μοντέλα γενικής ισορροπίας ενσωματώνουν ατέλειες της αγοράς, αποτυχημένες πολιτικές και πληθώρα διαφορετικών σοκ, γεγονός που τα διαφοροποιεί από τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα RBC. Η δυναμικότητα των μοντέλων οφείλεται στις μεταβαλλόμενες προσδοκίες για το μέλλον. Επιπλέον καθίσταται δυνατή η μελέτη της επίδρασης των σοκ (τεχνολογικών και πολιτικών) στην οικονομία καθώς των συνθηκών που θα επικρατήσουν στην οικονομία μετά την απορρόφηση των σοκ. Συνεπώς η ικανότητα εντοπισμού της πηγής των διακυμάνσεων στην οικονομία καθιστά τα μοντέλα χρήσιμα εργαλεία. Οι τράπεζες και οι φορολογικές αρχές χρησιμοποιούν τα μοντέλα DSGE προκειμένου να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των πολιτικών τους. Τα μοντέλα προκύπτουν εφόσον έχει γίνει κατανοητό ότι η ανάλυση μια πολιτικής γίνεται όταν η βέλτιστη συμπεριφορά των οικονομικών "παικτών" της οικονομίας (νοικοκυριά, επιχειρήσεις κλπ) σε μικροοικονομικό επίπεδο έχει συμπεριληφθεί και κατανοηθεί. Στα σύγχρονα μοντέλα DSGE έχουν προστεθεί και στοιχεία του νέο-κεϋνσιανισμού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η κλιματική αλλαγή συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την οικονομία. Συγκεκριμένα η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) ευθύνεται σημαντικά για την επιδείνωση του κλίματος και μετέπειτα των οικονομικών διαταραχών. Συνεπώς αποφασιστικής σημασίας κρίνεται η ενσωμάτωση των παραγόντων της κλιματικής αλλαγής στα οικονομικά μοντέλα προκειμένου να ήμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε πολιτικές και μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Τα μοντέλα αυτά είναι γνωστά στην βιβλιογραφία ως IAM_s (integrated assessment models)(βλέπε Hope and Helm (2005), Füssel (2009)).
Γενικότερα υπάρχει μια πληθώρα διαφορετικών μοντέλων που μελετούν την οικονομία μαζί με την κλιματική αλλαγή. Απαντούν είτε σε διαφορετικά ερωτήματα είτε αξιολογούν τους παράγοντες με άλλη οπτική. Ανάλογα με το πώς είναι διαμορφωμένη η οικονομία και τον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνονται οι παράγοντες(κλίμα, ενέργεια, επιπτώσεις) κατατάσσονται σε έξι γενικές κατηγορίες μοντέλων (βλέπε Nikas et all (2018)). Μια από τις ποιοτικές κατηγορίες αποτελούν τα μοντέλα βέλτιστη ανάπτυξης IAM_s. Στόχος είναι να εφαρμοστεί η πολιτική στο πλαίσιο κλιματικής αλλαγής που μεγιστοποιεί την ευημερία κατά την πάροδο του χρόνου. Χαρακτηρίζονται από την δυνατότητα τους να συμπεριλαμβάνουν πολλούς παράγοντες του κλίματος που συσχετίζονται και αλληλεπιδρούν με την οικονομία με έναν ξεκάθαρο και απλό τρόπο. Υπάρχουν και τα μοντέλα γνωστά ως CGE (computable general equilibrium) που αναπαριστούν την οικονομία με πιο λεπτομερή τρόπο ενσωματώνοντας αρκετούς σημαντικούς τομείς. Δεν εστιάζουν στις πιο αποτελεσματικές πολιτικές αλλά στις επιπτώσεις των πολιτικών στην κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον. Επικεντρώνονται περισσότερο στην ανάλυση περιφερειακών χαρακτηριστικών καθώς και στις

τεχνολογίες που συσχετίζονται με την ενέργεια. Επιπλέον άλλα μοντέλα εξετάζουν την αλληλεπίδραση ενός μόνο τομέα της οικονομίας με τις επιπτώσεις του περιβάλλοντος. Τα μοντέλα αυτά ονομάζονται μερικά μοντέλα μη ενεργειακού τομέα. Βασικό τους χαρακτηριστικό η αξιολόγηση των ζημιών ενός τομέα της οικονομίας από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και συχνά συσχετίζονται με τα μοντέλα CGE. Τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων μερικής ισορροπίας πέρα από την περιγραφή των ενεργειακών τεχνολογιών εστιάζουν και στο κόστος τους. Καθορίζουν το ελάχιστο κόστος των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Συνδέονται με τα μοντέλα CGE καθώς και με μακροοικονομικά μοντέλα. Τα μακροοικονομικά μοντέλα όπως τα CGE χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση εναλλακτικών πολιτικών για το κλίμα, δίνοντας παράλληλα έμφαση στις ενεργειακές τεχνολογίες. Ένα βασικό στοιχείο διαφοροποίησης του από τα υπόλοιπα μοντέλα είναι η μη υιοθέτηση της υπόθεσης πως καταναλωτές και παραγωγοί συμπεριφέρονται βέλτιστα καθώς και η σαφήνεια των αγορών. Χρησιμοποιούν οικονομετρικά εκτιμώμενους παράγοντες και σχέσεις για να αναπαραστήσουν την δυναμική συμπεριφορά της οικονομίας. Τέλος υπάρχουν κάποια μοντέλα που ενώ ανήκουν στην πρώτη κατηγορία έχουν κάποια επιπλέον στοιχεία που τα καθιστούν διαφορετικά από τα μοντέλα των προηγούμενων κατηγοριών που αναφέρθηκαν. Έχουν την τάση να αναπαριστούν την οικονομία σε απλοποιημένη μορφή είτε χρησιμοποιούν σενάρια εξωγενούς ανάπτυξης. Χαρακτηριστικό μοντέλο το PAGE2002 (Stern 2007).

2.2 Μοντέλα RICE και DICE

Ένας από τους πιο καταξιωμένους επιστήμονες ο William Nordhaus καθηγητής στο πανεπιστήμιο του Yale από το 1967 έχει κάνει σημαντικές μελέτες και τοποθετήσεις στο πλαίσιο των οικονομικών της κλιματικής αλλαγής. Το 1990 ο καθηγητής και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν την πρώτη εκδοχή των περιφερειακών δυναμικών ολοκληρωμένων μοντέλων RICE και των συγκεντρικών μοντέλων DICE. Πρακτικά τα μοντέλα RICE είναι μια πιο απλή και επικεντρωμένη εκδοχή των μοντέλων DICE, καθώς τα μοντέλα RICE απεικονίζουν μια συγκεκριμένη περιφέρεια ενώ τα DICE πολλές. Γενικότερα τα παραπάνω μοντέλα εξελίσσονται με την πάροδο των χρόνων. Η λογική του μοντέλου DICE ως προς τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής έχει παρόμοια οπτική με την θεωρία της νεοκλασικής οικονομικής ανάπτυξης. Ενσωματώνει ένα νέο είδος κεφαλαίου. Αυτό το νέο είδος κεφαλαίου συσχετίζεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Οι μειώσεις GHG λειτουργούν ως επενδύσεις που αυξάνουν το κεφάλαιο.

Το μοντέλο DICE έχει συγκεκριμένη δομή και υποθέσεις. Αρχικά ισχύει η υπόθεση των καλά καθορισμένων συνόλων προτιμήσεων που αναπαριστούνται στην συνάρτηση κοινωνικής ευημερίας, δηλαδή τα άτομα δεν καταναλώνουν όλα ίδια

ποσότητα και στον ίδιο βαθμό. Η κατανάλωση κάθε ατόμου εξαρτάται από το επίπεδο προτίμησης του ελεύθερου χρόνου καθώς και από την ελαστικότητα της οριακής χρησιμότητας της κατανάλωσης. Η ποσότητα παραγωγής είναι αποτέλεσμα μιας συνάρτησης παραγωγής Cobb-Douglas (πχ $Q=A\ K^a\ E^b$) και περιλαμβάνει παραμέτρους όπως κεφάλαιο, εργασία και ενέργεια. Η ενέργεια καθορίζεται είτε από τα καύσιμα ανθράκων είτε τεχνολογίες που δεν συσχετίζονται με την καύση ορυκτών όπως την γεωθερμική και ηλιακή τεχνολογία. Οι αλλαγές τις τεχνολογίας ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες. Αρχικά τεχνολογικές αλλαγές που επεκτείνονται σε ολόκληρη την οικονομία και επιπλέον αλλαγές που έχουν σκοπό την μείωση των εκπομπών GHG. Με το πέρασμα των χρόνων γίνεται προσπάθεια αντικατάστασης ορυκτών καυσίμων με άλλες μορφές ενέργειας με αποτέλεσμα οι τιμές των ανθράκων να αυξάνονται είτε λόγο πολιτικών που σκοπεύουν στην μείωση των εκπομπών είτε λόγο εξάντλησης των πόρων (Nordhaus 2008).

2.3 Περιορισμός κλιματικής αλλαγής μέσω φόρων άνθρακα

Η αύξηση της φορολογίας όπως έχει ήδη αναφερθεί αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που το αποδεικνύει και ο καθηγητής Nordhaus σε σημαντικά του έργα και μελέτες.

Αρχικά το 1977 στην μελέτη του με θέμα "Economic Growth and Climate: The carbon dioxide problem" διερευνάται το ερώτημα περιορισμού των εκπομπών μέσω χρήσης μη ορυκτών πηγών ενέργειας(ηλιακή, γεωθερμική) που δεν συμβάλουν σε υψηλές ποσότητες εκπομπών καθώς και σενάρια ελεγχόμενης και μη ελεγχόμενης πορείας των εκπομπών. Συμπεραίνει πως οι τιμές (φόρος) των ανθράκων αποτελούν σημαντικό παράγοντα για το βέλτιστο πλάνο περιορισμού των εκπομπών. Υπολογίζει τις βέλτιστες τιμές του άνθρακα μέσα σε ένα πρόγραμμα ελέγχου. Η τιμή ανά τόνο άνθρακα εκτιμάται στα 0,14$ για το 1980 και φτάνει μέχρι τα 90$ για το έτος 2100 (σε τιμές του 1975). Στο πλαίσιο περιορισμού της κλιματικής αλλαγής έχει τεθεί σε εφαρμογή το πρωτόκολλο του Κιότο (1997) από τις πρώτες διεθνείς πρωτοβουλίες για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Με αφορμή τους στόχους του Κιότου που αναφέρονται στην επιδίωξη συγκεκριμένων ποσοτήτων εκπομπών ο Nordhaus (1998) μελετά το ύψος φορολογίας του άνθρακα για καλύτερη απόδοση. Προτείνει ένα χαμηλό φόρο άνθρακα για τις χώρες που έχουν πάνω από κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο εισοδήματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συμμετοχή μόνο τον πλούσιων χωρών, γι' αυτό το λόγο συνιστά μορφές παράπλευρων χρηματοοικονομικών πληρωμών προκειμένου να συμμετέχουν και οι αναπτυσσόμενες χώρες. Επιπλέον το 1999 ο Nordhaus σε συνεργασία με τον Boyer προβαίνει σε μια οικονομική ανάλυση του πρωτοκόλλου του Κιότου. Σε αυτή την ανάλυση χρησιμοποιείται το μοντέλο RICE-98. Προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα. Αρχικά εκτιμάται πως το καθαρό παγκόσμιο κόστος του Πρωτοκόλλου του Κιότο

είναι 716 δισεκατομμύρια δολάρια σε παρούσα αξία, πως οι ΗΠΑ ευθύνονται για τα 2/3 του κόστους αυτού και τέλος πως ο λόγος οφέλους κόστους για το πρωτόκολλο είναι ίσος με 1/7. Επιπλέον το σημαντικότερο που παρατηρείται είναι πως η στρατηγική μείωσης τον εκπομπών κρίνεται αναποτελεσματική ως προς το κόστος της. Σε μια εξίσου σημαντική μελέτη του καθηγητή το 2005 συγκρίνονται εναλλακτικές προσεγγίσεις στο πλαίσιο πολιτικών για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα συγκρίνει μηχανισμούς ελέγχου πολιτικών στόχευσης ποσοτήτων εκπομπών όπως στο πρωτόκολλο του Κιότου με μηχανισμούς ελέγχου τιμής όπως την φορολογία του άνθρακα σε διεθνής κλίμακα. Βάση συγκεκριμένων παραγόντων όπως οι συνθήκες αβεβαιότητας, οι επιβαρύνσεις από την φορολογία και των κατάλληλων ρυθμίσεων, η ευκολία εφαρμογής και την μεταβλητότητα που προκαλείται από οι τιμές του άνθρακα καταλήγει στο εξής συμπέρασμα. Πως η προσέγγιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη βάση τιμών του άνθρακα μάλλον κρίνεται περισσότερο σημαντική από αυτές των ποσοτικών προσεγγίσεων. Το 2008 ο Nordhaus στο βιβλίο του "A question of Balance: Weighing the options on global warming policies " εκτιμά εμπειρικά το κόστος της κλιματικής αλλαγής και τα οφέλη της πολιτικής για να το μειώσει. Για τον παραπάνω σκοπό χρησιμοποιεί ένα εξελιγμένο μοντέλο τύπο IAM ενσωματώνοντας την υπόθεση πως σε περίπτωση που δεν γίνει καμία ενέργεια για μείωση των εκπομπών θα κοστίσει το 3% της παγκόσμιας παραγωγής. Προκειμένου να μην αυξηθεί το κόστος της παγκόσμιας παραγωγής προτείνει αρχική θέσπιση τιμής άνθρακα στα 27$ ανά μετρικό τόνο(τιμές 2005) που θα αυξάνεται με τον χρόνο στα πλαίσιο πολιτικής με την συμφωνία όλων των χωρών. Σε αυτό το σενάριο θα προκύψει αύξηση της θερμοκρασίας την περίοδο 1900-2100 κατά 2,6°C από ότι σε ένα σενάριο χωρίς παρεμβάσεις που θα επέφερε αύξηση 3,1°C. Επιπλέον η ανάγκη για αύξηση της φορολογίας του άνθρακα στο πλαίσιο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής συμπεραίνεται από τον Nordhaus στο βιβλίο του με τίτλο "The Climate Casino"(2013). Χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα καταλήγει στο ύψος της τιμής του άνθρακα που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής. Το εύρος των επιθυμητών τιμών που υπολογίζεται ανά τόνο αυξάνεται από 15 έως 50 δολάρια το 2020 σε 60 έως 200 τουλάχιστον δολάρια το 2050. Μέρος της ανάλυσης του περιλαμβάνει την θέσπιση φόρου 25$ ανά τόνο άνθρακα με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για τομείς της οικονομίας όπως στις μεταφορές. Καταλήγει στο συμπέρασμα πως ένας τέτοιος φόρος αποβλέπει σε έσοδα ύψους 168 δισεκατομμυρίων για το 2020.

2.4 Στρατηγικές αλληλεπιδράσεις πολιτικής μείωσης του άνθρακα

Στο πλαίσιο περιορισμού της κλιματικής αλλαγής έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες και ειδικότερα στο πλαίσιο αλληλεπιδράσεων πολιτικών για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι πιο επιτυχημένες και σημαντικές μελέτες στο πλαίσιο στρατηγικών αλληλεπιδράσεων των πολιτικών περιορισμού έχουν γίνει με την χρήση των μοντέλων RICE και DICE. Οι παραπάνω έρευνες επεξηγούνται στα παρακάτω άρθρα Nordhaus και Yang (1996), Nordhaus και Boyer (1999), Nordhaus και Yang (2006), Nordhaus (2010, 2011, 2014)).

Συγκεκριμένα στο άρθρο τους οι Nordhaus και Yang το 2006 χρησιμοποιώντας το μοντέλο RICE κατηγοριοποιούν τις χώρες και αναλύουν διαφορετικές στρατηγικές για τις πολιτικές των χωρών στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως οι εκπομπές μειώνονται περισσότερο στις περιπτώσεις πολιτικών συνεργασίας και πως υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο επίπεδου ελέγχου τόσο των συνεργατικών πολιτικών όσο και των μη συνεργατικών. Τέλος προκύπτει πως χώρες με υψηλό εισόδημα μπορεί να είναι λιγότερο κερδισμένες στην περίπτωση συνεργατικών πολιτικών. Το 2010 ο Nordhaus σε μια σημαντική έρευνά εξετάζει εναλλακτικά αποτελέσματα για τις εκπομπές και τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Χρησιμοποιώντας μια πιο σύγχρονη εκδοχή του μοντέλου RICE καταλήγει στο συμπέρασμα αύξησης της θερμοκρασίας σε περίπτωση μη ενεργών και αποτελεσματικών πολιτικών. Υπολογίζεται η πορεία των τιμών του άνθρακα προκειμένου να διατηρηθεί η αύξηση της θεοκρασίας σε επίπεδο χαμηλότερα η ίσο με 2°C. Προκειμένου να υπάρχει επίτευξη αυτού του στόχου εκτιμάται η τιμή του άνθρακα για το 2010 να είναι ίση με 56$ ανά τόνο (σε τιμές 2005) σε σύγκριση με την πραγματική παγκόσμια μέση τιμή του άνθρακα το 2010 που είναι ίση με 5$ ανά τόνο. Σε μια άλλη έρευνα του ίδιου καθηγητή το 2011 εξετάζεται η έννοια του κοινωνικού κόστους του άνθρακα (SSC) που είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την υλοποίηση πολιτικών. Δηλαδή εξετάζεται το οικονομικό κόστος από την επιπλέον εκπομπή τόνου του CO_2 η άλλου παρόμοιου αερίου. Το SSC υπολογίζεται με τη χρήση μιας αναβαθμισμένης εκδοχής του μοντέλου RICE-2011. Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη και η αβεβαιότητα που απορρέει από την μελλοντική πορεία της κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν απαντούν σε βασικά ερωτήματα. Αρχικά εκτιμάται πως το κοινωνικό κόστους του άνθρακα για το 2015 είναι 44$ ανά τόνο άνθρακα και 12$ ανά τόνο CO_2 (τιμές του 2005). Ο βαθμός αβεβαιότητας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αναμενόμενης τιμής του SSC περίπου κατά 8%. Η στάθμιση των ίδιων κεφαλαίων τείνει να μειώσει το SSC. Τέλος όσο αφορά το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο για το SSC συνεχίζει να είναι ένα ανοιχτό ζήτημα. Το 2014 ο Nordhaus προβαίνει σε περαιτέρω ανάλυση του SSC. Αυτή την φορά χρησιμοποιεί μια αναβαθμισμένη μορφή του DICE το μοντέλο DICE-2013R. Εκτιμάται πως η τιμή του SSC ανέρχεται σε $18,6$ (τιμές 2005) ανά τόνο CO_2 εμφανώς υψηλότερη από την τιμή στην έρευνά του το 2011 (12$). Παρατηρείται ετήσια αύξηση του SSC κατά 3% κατά την πάροδο των χρόνων μέχρι το 2050. Τέλος

όσο αναφορά το SSC εξακολουθούν να παραμένουν ανοιχτά τα ζητήματα του κατάλληλου προεξοφλητικού επιτοκίου, η δυναμική των καταστροφικών ζημιών, οι επιπτώσεις από την μη θέσπιση εναρμονισμένων πολιτικών και οι επιπτώσεις μη ορθολογικών καθορισμένων φόρων.

Επιπλέον το 2015 ο Nordhaus χρησιμοποιεί μια από τις τελευταίες εκδοχές των μοντέλων DICE, το Coal-Coion-DICE (C-DICE) και αξιολογεί συμμαχίες δράσεων πολιτικής για το κλίμα εξετάζοντας τον ρόλο των εμπορικών κυρώσεων που επιβάλλονται για την σταθερότητα. Χρησιμοποιούνται μακροοικονομικά, εμπορικά και περιβαλλοντικά δεδομένα για τον προσδιορισμό στρατηγικού κινήτρου κάθε χώρας. Έπειτα οι χώρες εντάσσονται σε ένα συνασπισμό χωρών με στόχο την υιοθέτηση πολιτικών μείωσης των εκπομπών GHG. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν τις επιπτώσεις στο καθαρό εθνικό εισόδημα καθώς και στις τιμές των ανθράκων που είναι αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης των χωρών. Στην συνέχεια έχουμε περαιτέρω επέκταση της μελέτης του Nordhaus (2015) από τους Sælen (2016) και Hovi et al(2017). Εξετάζεται η περίπτωση που οι μεταβιβάσεις πληρωμών θα οδηγήσουν στην συλλογική συμμετοχή των κρατών. Χρησιμοποιούν ένα απλό μοντέλο δυαδικών αποφάσεων με εμπειρικές βάσεις περιλαμβάνοντας στοιχεία χωρών για τον πληθυσμό, το ΑΕΠ το ύψος των εκπομπών καθώς και τον βαθμό έκθεσης και ευαισθησίας στην κλιματική αλλαγή. Ο Sælen καταλήγει στο συμπέρασμα πως οι μεταβιβάσεις πληρωμών οδηγούν σε ένα αποδοτικό σύνολο κρατών στο πλαίσιο περιορισμού της κλιματικής αλλαγής. Περεταίρω επέκταση στο έργο του Sælen δίνει ο Hovi με τους συνεργάτες του προσφέροντας μια πιο περιφερειακή αναλυτική προσέγγιση. Δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην συμμετοχή αυτών των περιφερειών(κρατών) με το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών όπως οι ΗΠΑ και η ΕΕ. Τέλος, κατατάσσουν τις χώρες σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη βρίσκονται τα κράτη που είναι πρόθυμα να ενταχθούν σε μια συμφωνία για το κλίμα και σε αυτές που είναι δεν είναι τόσο δεκτικές ως προς μια τέτοια πρωτοβουλία.

3 Το Υπόδειγμα

3.1 Εισαγωγή

Πολλούς υποστηρικτές έχει η άποψη πως υπάρχει αντίστροφη σχέση μεταξύ του της οικονομικής μεγέθυνσης και ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος. Γεγονός που συντελεί στην δημιουργία ενός δυναμικού προβλήματος που αφορά τις παρούσες γενεές και τις μελλοντικές. Οι παρούσες γενεές ωφελούνται από την οικονομική ανάπτυξη και πολλές φορές προκαλούν περιβαλλοντικές καταστροφές τις οποίες θα τις κληρονομήσουν οι μελλοντικές γενεές.

Στόχος είναι η μελέτη της δυναμικής αλληλεξάρτησης μεταξύ οικονομικής μεγέθυνσης, φυσικού περιβάλλοντος και της οικονομικής πολιτικής με τη χρήση ενός δυναμικού υποδείγματος οικονομικής μεγέθυνσης γενικής ισορροπίας.
Το παρακάτω υπόδειγμα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Αναφέρεται στην προσπάθεια μεγιστοποίησης της χρησιμότητας ενός αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού το οποίο αντλεί την ωφέλειά του από την ιδιωτική κατανάλωση και από το φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον το νοικοκυριό συμπεριφέρεται και σαν παραγωγός καθώς παράγει αγαθά χρησιμοποιώντας μια γραμμική τεχνολογία της μορφή AK. Κατά την διαδικασία παραγωγής προϊόντων τα νοικοκυριά ρυπαίνουν το περιβάλλον και πολλές φορές οι συνέπειες αυτής της ρύπανσης επεκτείνονται σε ολόκληρη την οικονομία. Την ίδια στιγμή τα νοικοκυριά δεν λαμβάνουν υπόψη τους ότι οι παραγωγικές τους δραστηριότητες έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον. Γι αυτόν τον λόγο αποφασιστικής σημασίας κρίνεται η παρέμβαση της κυβέρνησης. Ένα από τα πιο αποτελεσματικά εργαλεία στην αντιμετώπιση αυτών των αρνητικών εξωτερικοτήτων αποτελεί η φορολογία, προκειμένου να συγκεντρωθούν φορολογικά έσοδα για πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος. Εξετάζεται η ανταγωνιστική ισορροπία λαμβάνοντας υπόψη την υπόθεση ότι ο χρόνος είναι συνεχής. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κατάσταση μακροχρόνιας ισορροπίας.

Αρχικά θα λύσουμε το υπόδειγμα στην περίπτωση όπου το αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό δεν λαμβάνεται υπόψη τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγή. Στην δεύτερη περίπτωση πλέον θα συμπεριλάβουμε στο υπόδειγμα την επίδραση της κλιματικής αλλαγής με την επιβολή φορολογίας για την αντιμετώπιση των συνεπειών της. Στην τρίτη περίπτωση έχουμε μια πιο έντονη οικονομική πολιτική στο πλαίσιο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής διότι εκτός από την φορολογία στην παραγωγική διαδικασία συμπεριλαμβάνεται δημόσια δαπάνη που αποσκοπεί στον περιορισμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

3.2 Κλιματική αλλαγή χωρίς οικονομική πολιτική παρέμβασης

Στην πρώτη περίπτωση θα λύσουμε το παρακάτω υπόδειγμα υποθέτοντας πως δεν υπάρχει κάποια πολιτική παρέμβασης που να αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.
Τα νοικοκυριά αποσκοπούν στην μεγιστοποίηση της χρησιμότητας τους διαχρονικά που είναι της μορφής:

$$\int_0^\infty [U(c,N)]\, e^{-\rho t}\, dx \quad (1)$$

Όπου το dt υποδεικνύει την προσπάθεια μεγιστοποίησης της χρησιμότητας διαχρονικά, c είναι η ιδιωτική κατανάλωση, N το φυσικό περιβάλλον και το ρ>0 είναι ο βαθμός προτίμησης για το μέλλον όσο πιο μικρό τόσο μεγαλύτερη η

προτίμηση για το μέλλον. Η συνάρτηση χρησιμότητας U(C,N) είναι αύξουσα και κοίλη και για τις δύο παραμέτρους της. Για λόγους απλοποίησης υποθέτουμε ότι η συνάρτηση χρησιμότητας είναι αθροιστικά διαχωρίσιμη και λογαριθμική έχοντας την εξής μορφή:

$U(c,N) = \log(c) + m \log(N)$ (2)

Όπου m>0 είναι η προτίμηση που δίνεται στην ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος σε σχέση με την ιδιωτική κατανάλωση.
Το προϊόν που παράγεται και αντιπροσωπεύει τα έσοδα του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού είναι γραμμική συνάρτηση του κεφαλαίου. Συνεπώς η γραμμική μορφή συνάρτησης παραγωγής έχει την εξής μορφή:

$Y = Ak$ (3)

Όπου A>0 είναι μια παράμετρος
Προκειμένου τα νοικοκυριά να μεγιστοποιήσουν την χρησιμότητά τους πρέπει να λάβουν υπόψη τον εισοδηματικό περιορισμό τους:

$\dot{k} + c = AK$ (4)

Όπου $\dot{k}$ ($\dot{k} \equiv \frac{dk}{dt}$) δείχνει την μεταβολή του φυσικού κεφαλαίου στο χρόνο που ισούται με την παράγωγο του k(φυσικό κεφάλαιο) ως προς t (χρόνος). Δηλαδή τα νοικοκυριά καταναλώνουν και επενδύουν σε φυσικό κεφάλαιο ανάλογα με το ύψους του εισοδήματος. Όσο αφορά την δυναμική εξέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος N μεταβάλλεται στον χρόνο σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση.

$\dot{N} = \delta N - \Omega\dot{T}$ (5)

Συνεπώς η μεταβλητή $\dot{N}$ ($\dot{N} \equiv \frac{dN}{dt}$) δείχνει την μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος στον χρόνο. Η παράμετρος δ δείχνει τον ρυθμό ανανέωσης του φυσικού περιβάλλοντος, όπου δ≥0 ο ρυθμός αυτό-ανανέωσης των φυσικών πόρων. Τέλος η μεταβλητή $\dot{T}$ δείχνει την μεταβολή της θερμοκρασίας και η παράμετρος Ω δείχνει πόσο η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον ισχύει και η σχέση $\dot{T}$=εAk. Το δεύτερο μέρος της εξίσωσης αντικατοπτρίζει τους ρύπους και όσο μεγαλύτερη είναι η τεχνολογική παράμετρος ε τόσο πιο ρυπογόνα είναι η τεχνολογία.
Συνεπώς έχοντας τις εξισώσεις (1),(2),(3),(4),(5) προκύπτει το εξής πρόβλημα που πρέπει να λύσουμε:

Max $\int_0^{\infty} [U(c,N)]\, e^{-\rho t}\, dx$

s.t. $\dot{k}$ + c = AK

$\dot{N}$ = δN − Ω$\dot{T}$

Θα λύσουμε το παραπάνω πρόβλημα με βέλτιστο έλεγχος (optimal control). Στην συγκεκριμένη περίπτωση όπως έχει αναφερθεί θα λύσουμε θεωρώντας πως δεν λαμβάνεται υπόψη η κλιματική αλλαγή.
Παίρνουμε την τρέχουσα μορφή της εξίσωσης του Hamilton:

H = logc + m logN + λ1 (Ak − c) + λ2 (δN − Ω$\dot{T}$)

Όπου τα λ1,λ2 είναι οι δυναμικοί πολλαπλασιαστές που συσχετίζονται με τις εξισώσεις (4),(5) αντίστοιχα.
Στην συνέχεια παίρνουμε τις συνθήκες πρώτης τάξης.

$\frac{\theta H}{\theta c}$ = 0 => λ1 = $\frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda}1$ = − $\frac{\theta H}{\theta k}$ + ρλ1 => $\dot{\lambda}1$ = − λ1 A + ρλ1 (6b)

$\dot{\lambda}2$ = − $\frac{\theta H}{\theta N}$ + ρλ2 => $\dot{\lambda}2$ = − $\frac{m}{N}$ − δλ2 + ρλ2 (6c)

Άρα σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει:

λ1 = $\frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda}1$ = − λ1A + ρλ1 (6b)

$\dot{\lambda}2$ = − $\frac{m}{N}$ − δλ2 + ρλ2 (6c)

Από (6a) => logλ1 = log1 − logc => $\frac{\dot{\lambda}1}{\lambda 1}$ = − $\frac{\dot{c}}{c}$ (7)

Από (6b) => $\frac{\dot{\lambda}1}{\lambda 1}$ = − A + ρ $\overset{(7)}{\Rightarrow}$ $\frac{\dot{c}}{c}$ = A − ρ (8)

Από (4) => $\frac{\dot{k}}{k}$ = A − $\frac{c}{k}$ (9)

Από (5) => $\frac{\dot{N}}{N} = \delta - \frac{\Omega \dot{T}}{N}$ (10)

Στην συνέχεια ακολουθώντας την συνθήκη πρακτική (βλέπε π.χ. Benhabib και Farmer [1999]) ορίζουμε νέες μεταβλητές για να μειώσουμε την δυναμική διάσταση του προβλήματος και να κάνουμε πιο απλό το υπόδειγμα. Ορίζουμε λοιπόν, $z = \frac{c}{k}$ $\varphi = \frac{N}{k}$ $\psi = \lambda 2N$. Συνεπώς πλέον η δυναμική συμπεριφορά (7) έως (10) θα είναι ισοδύναμη με αυτήν των παρακάτω εξισώσεων:

$z = \frac{c}{k}$ => $\log z = \log c - \log k$ => $\frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{c}}{c} - \frac{\dot{k}}{k} \xRightarrow{(8),(9)} \frac{\dot{z}}{z} = A - \rho - A + z$ =>

=> $\frac{\dot{z}}{z} = z - p$ (11)

$\varphi = \frac{N}{k}$ => $\log\varphi = \log N - \log k$ => $\frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \frac{\dot{N}}{N} - \frac{\dot{k}}{k} \xRightarrow{(10),(9)} \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - \frac{\Omega\varepsilon A k}{N} - A + z$ =>

=> $\frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - \Omega\varepsilon A\varphi^{-1} - A + z$ (12)

$\dot{\psi} = N\dot{\lambda 2} + \lambda 2\dot{N}$ => $\dot{\psi} = N(-\frac{m}{N} - \delta\lambda 2 + \rho\lambda 2) + \lambda 2(\delta N - \Omega\dot{T})$ =>

=> $\dot{\psi} = -m - \delta\lambda 2N + \rho\lambda 2N + \delta\lambda 2N - \lambda 2\Omega\varepsilon Ak$ =>

=> $\dot{\psi} = -m - \delta\psi + \rho\psi + \delta\psi - \lambda 2N\Omega\varepsilon A\frac{k}{N}$ =>

=> $\dot{\psi} = -m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A\varphi^{-1}$ (13)

Συνεπώς καταλήγουμε στις σχέσεις:

$\dot{z} = (z-\rho)\, z$ (11)

$\dot{\varphi} = \varphi\delta - \Omega\varepsilon A - A\varphi + z\varphi$ (12)

$\dot{\psi} = -m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A\varphi^{-1}$ (13)

Στόχος μας είναι η μελέτη των μακροχρόνιων ιδιοτήτων των εξισώσεων (11),(12),(13). Η μακροχρόνια κατάσταση ισορροπίας ορίζεται από την σχέση $\dot{\psi} = \dot{z} = \dot{\varphi} = 0$. Όταν ισχύει η παραπάνω σχέση τα κατά κεφαλή μεγέθη της κατανάλωσης, του κεφαλαίου και του φυσικού περιβάλλοντος μπορούν να

μεγεθύνονται με τον ίδιο σταθερό θετικό ρυθμό. Σε ένα υπόδειγμα ΑΚ ο ρυθμός αύξησης των κατά κεφαλήν ποσοτήτων είναι ίδιος στην μακροχρόνια ισορροπία.
Θα βρούμε τις τιμές των μεταβλητών z , φ , ψ στην μακροχρόνια ισορροπία.
Θέτοντας την σχέση (11) ίση με το μηδέν προκύπτει ότι ο λόγος κατανάλωσης προς κεφάλαιο z ($z = \frac{c}{k}$) θα ισούται:

$z = \rho$ (14a)

Θέτοντας την σχέση (12) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (14a), προκύπτει ότι ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος φ ($\varphi = \frac{N}{k}$) προς κεφάλαιο θα ισούται:

$\varphi\delta - \Omega\varepsilon A - A\varphi + \rho\varphi = 0 \Rightarrow (A - \rho - \delta)\varphi = -\Omega\varepsilon A \Rightarrow$

$\Rightarrow (-A + \rho + \delta)\varphi = \Omega\varepsilon A \Rightarrow$

$\Rightarrow \varphi = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho + \delta - A}$ (14b)

Θέτοντας την σχέση (13) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (14b), προκύπτει ότι κοινωνική αξία του φυσικού περιβάλλοντος ψ (ψ=λ2N) θα ισούται:

$-m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A \frac{\rho + \delta - A}{\Omega\varepsilon A} = 0 \Rightarrow -m + \rho\psi - (\rho + \delta - A)\psi = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow (\rho - \rho + \delta + A)\psi = m \Rightarrow \psi = \frac{m}{A-\delta}$ (14c)

Άρα στην περίπτωση 1 που δεν λαμβάνεται υπόψη η κλιματική αλλαγή προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$z_1 = \rho$ (14a)

$\varphi_1 = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho + \delta - A}$ (14b)

$\psi_1 = \frac{m}{A - \delta}$ (14c)

Προκειμένου να καταλήξουμε σε έγκυρα αποτελέσματα και να μπορέσουμε να εξηγήσουμε το υπόδειγμα πρέπει οι παραπάνω μεταβλητές να είναι μεγαλύτερες του 0. Δηλαδή $z_1>0$ $\varphi_1>0$ $\psi_1>0$.

Το z_1 είναι μεγαλύτερο του μηδενός καθώς το ρ που είναι ο βαθμός προτίμησης του μέλλοντος από υπόθεση είναι πάντα μεγαλύτερο του μηδενός. Τέλος προκειμένου το φ_1 και το ψ_1 να είναι μεγαλύτερα του μηδέν πρέπει να ισχύει ο παρακάτω περιορισμός: $\delta < A < \rho + \delta$

3.3 Εφαρμογή οικονομικής πολιτικής για την κλιματική αλλαγή μέσω φορολογίας.

Στην δεύτερη περίπτωση θα λύσουμε το ίδιο υπόδειγμα λαμβάνοντας υπόψη την οικονομική πολιτική για την κλιματική αλλαγή.

Και στην δεύτερη περίπτωση το αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την χρησιμότητά του. Όμως σε αυτήν την περίπτωση λαμβάνει υπόψη το ύψος της φορολογίας που επιβάλλεται στην παραγωγική δραστηριότητα. Στόχος είναι η καθιέρωση φορολογίας στην ρυπογόνα δραστηριότητα. Έστω λοιπόν η επιβολή φόρου ύψους $0 \leq \tau < 1$. Αυτό έχει σαν συνέπεια η σχέση (4) $\dot{k} + c = AK$ που είχαμε στην πρώτη περίπτωση να διαμορφωθεί ως (4′) $\dot{k} + c = AK(1-\tau)$. Συνεπώς θα λύσουμε το εξής πρόβλημα.

Max $\int_0^\infty [U(c,N)]\, e^{-\rho t}\, dx$

s.t. $\dot{k} + c = AK(1-\tau)$

$\dot{N} = \delta N - \Omega\dot{T}$

Παίρνουμε την τρέχουσα μορφή της εξίσωσης του Hamilton:

$H = \log c + m \log N + \lambda 1\,((1-\tau)Ak - c) + \lambda 2\,(\delta N - \Omega\dot{T})$

Στην συνέχεια παίρνουμε τις συνθήκες πρώτης τάξης.

$\frac{\theta H}{\theta c} = 0 \Rightarrow \lambda 1 = \frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda 1} = -\frac{\theta H}{\theta k} + \rho\lambda 1 \Rightarrow \dot{\lambda 1} = -\lambda 1\, A(1-\tau) + \rho\lambda 1$ (6b)

$\dot{\lambda 2} = -\frac{\theta H}{\theta N} + \rho\lambda 2 \Rightarrow \dot{\lambda 2} = -\frac{m}{N} - \delta\lambda 2 + \rho\lambda 2$ (6c)

Άρα σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει:

$\lambda 1 = \frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda 1} = -\lambda 1\, A(1-\tau) + \rho\lambda 1$ (6b)

$\dot{\lambda 2} = -\frac{m}{N} - \delta\lambda 2 + \rho\lambda 2$ (6c)

Από (15a) => $\log\lambda 1 = \log 1 - \log c \Rightarrow \frac{\dot{\lambda 1}}{\lambda 1} = -\frac{\dot{c}}{c}$ (7)

Από (15b) => $\frac{\dot{\lambda 1}}{\lambda 1} = -A(1-\tau) + \rho \overset{(7)}{\Rightarrow} \frac{\dot{c}}{c} = A(1-\tau) - \rho$ (8)

Από (4) => $\frac{\dot{k}}{k} = A(1-\tau) - \frac{c}{k}$ (9)

Από (5) => $\frac{\dot{N}}{N} = \delta - \frac{\Omega\dot{T}}{N}$ (10)

Ορίζουμε λοιπόν, $z = \frac{c}{k}$ $\varphi = \frac{N}{k}$ $\psi = \lambda 2N$. Συνεπώς πλέον η δυναμική συμπεριφορά (7) έως (10) θα είναι ισοδύναμη με αυτήν των παρακάτω εξισώσεων

$z = \frac{c}{k} \Rightarrow \log z = \log c - \log k \Rightarrow \frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{c}}{c} - \frac{\dot{k}}{k} \overset{(8),(9)}{\Longrightarrow} \frac{\dot{z}}{z} = A(1-\tau) - \rho - A(1-\tau) + z \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\dot{z}}{z} = z - p$ (11)

$\varphi = \frac{N}{k} \Rightarrow \log\varphi = \log N - \log k \Rightarrow \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \frac{\dot{N}}{N} - \frac{\dot{k}}{k} \overset{(9),(10)}{\Longrightarrow} \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - \frac{\Omega\varepsilon A k}{N} - A(1-\tau) + z \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - \Omega\varepsilon A\varphi^{-1} - A(1-\tau) + z$ (12)

$\dot{\psi} = N\dot{\lambda 2} + \lambda 2\dot{N} \Rightarrow \dot{\psi} = N(-\frac{m}{N} - \delta\lambda 2 + \rho\lambda 2) + \lambda 2(\delta N - \Omega\dot{T}) \Rightarrow$

$\Rightarrow \dot{\psi} = -m - \delta\lambda 2N + \rho\lambda 2N + \delta\lambda 2N - \lambda 2\Omega\varepsilon Ak \Rightarrow$

$\Rightarrow \dot{\psi} = -m - \delta\psi + \rho\psi + \delta\psi - \lambda 2N\Omega\varepsilon A\frac{k}{N} \Rightarrow$

$\Rightarrow \dot{\psi} = -m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A\varphi^{-1}$ (13)

Συνεπώς καταλήγουμε στις σχέσεις:

$\dot{z} = (z-\rho)\ z$ (11)

$\dot{\varphi} = \varphi\delta - \Omega\varepsilon A - A\varphi(1-\tau) + z\varphi$ (12)

$\dot{\psi} = -m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A\varphi^{-1}$ (13)

Θα βρούμε τις τιμές των μεταβλητών z , φ , ψ στην μακροχρόνια ισορροπία. Θέτοντας την σχέση (11) ίση με το μηδέν προκύπτει ότι ο λόγος κατανάλωσης προς κεφάλαιο z ($z = \frac{c}{k}$) θα ισούται:

$z = \rho$ (14a)

Θέτοντας την σχέση (12) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (14a), προκύπτει ότι ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος φ ($\varphi = \frac{N}{k}$) προς κεφάλαιο θα ισούται:

$\varphi\delta - \Omega\varepsilon A - A\varphi\ (1 - \tau) + \rho\varphi = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow ((1 - \tau)A - \rho - \delta)\varphi = -\ \Omega\varepsilon A \Rightarrow (-A(1-\tau) + \rho + \delta)\varphi = \Omega\varepsilon A \Rightarrow$

$\Rightarrow \varphi = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho + \delta - A(1-\tau)}$ (14b)

Θέτοντας την σχέση (13) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (14b), προκύπτει ότι κοινωνική αξία του φυσικού περιβάλλοντος ψ (ψ=λ2N) θα ισούται:

$-m + \rho\psi - \psi\Omega\varepsilon A\ \frac{\rho+\delta-A\,(1-\tau)}{\Omega\varepsilon A} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow -\ m + \rho\psi - (\rho + \delta - (1-\tau)A\ )\ \psi = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow (\rho - \rho + \delta + (1-\tau)\ A\ )\ \psi = m \Rightarrow \psi = \frac{m}{(1-\tau)A - \delta}$ *(14c)*

Άρα στην περίπτωση 2 που λαμβάνεται υπόψη η κλιματική αλλαγή προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$z_2 = \rho$ (14a)

$\varphi_2 = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho + \delta - A(1-\tau)}$ (14b)

$\psi_2 = \frac{m}{(1-\tau)A - \delta}$ *(14c)*

Όπως έχει αναφερθεί οι παραπάνω μεταβλητές πρέπει να είναι θετικές. Το z_2 όπως έχουμε εξηγήσει είναι πάντα μεγαλύτερο του μηδενός από υπόθεση. Από τις μεταβλητές φ_2 και ψ_2 προκύπτει ο εξής περιορισμός: $\delta < A(1-\tau) < \rho + \delta$

3.4 Εφαρμογή οικονομικής πολιτικής για την κλιματική αλλαγή μέσω φορολογίας και κρατικής δαπάνης

Στην τρίτη περίπτωση θα λύσουμε το ίδιο υπόδειγμα λαμβάνοντας υπόψη μια πιο εκτεταμένη οικονομική πολιτική για την κλιματική αλλαγή.
Και στην τρίτη περίπτωση το αντιπροσωπευτικό νοικοκυριό προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την χρησιμότητά του. Όμως σε αυτήν την περίπτωση εκτός από το ύψος της φορολογίας που επιβάλλεται στην παραγωγική δραστηριότητα του νοικοκυριού λαμβάνεται υπόψη και η δημόσια δαπάνη της κυβέρνησης για τον περιορισμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Στόχος είναι η χρήση φορολογικών στο πλαίσιο προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής. Έστω λοιπόν η κρατική δαπάνη ύψους g, όπου τα φορολογικά έσοδα $g = \tau Ak$. Αυτό έχει σαν συνέπεια η σχέση (5) $\dot{N} = \delta N - \Omega\dot{T}$ που είχαμε στην πρώτη περίπτωση να διαμορφωθεί ως (5′) $\dot{N} = \delta N - \Omega\dot{T} + g$. Συνεπώς θα λύσουμε το εξής πρόβλημα:

Max $\int_0^\infty [U(c,N)]\, e^{-\rho t}\, dx$

s.t. $\dot{k} + c = AK\,(1-\tau)$

$\dot{N} = \delta N - \Omega\dot{T} + g$

Παίρνουμε την τρέχουσα μορφή της εξίσωσης του Hamilton:
$H = \log c + m \log N + \lambda 1\,((1-\tau)Ak - c) + \lambda 2\,(\delta N - \Omega\dot{T} + g)$

Στην συνέχεια παίρνουμε τις συνθήκες πρώτης τάξης.

$\frac{\theta H}{\theta c} = 0 \Rightarrow \lambda 1 = \frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda 1} = -\frac{\theta H}{\theta k} + \rho\lambda 1 \Rightarrow \dot{\lambda 1} = -\lambda 1\, A(1-\tau) + \lambda 2\tau A + \rho\lambda 1$ (6b)

$\dot{\lambda}2 = -\frac{\theta H}{\theta N} + \rho\lambda2 \Rightarrow \dot{\lambda}2 = -\frac{m}{N} - \delta\lambda2 + \rho\lambda2$ (6c)

Άρα σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει:

$\lambda1 = \frac{1}{c}$ (6a)

$\dot{\lambda}1 = -\lambda1\, A(1-\tau) + \lambda2\tau A + \rho\lambda1$ (6b)

$\dot{\lambda}2 = -\frac{m}{N} - \delta\lambda2 + \rho\lambda2$ (6c)

Από (15a) => $\log\lambda1 = \log1 - \log c \Rightarrow \frac{\dot{\lambda}1}{\lambda1} = -\frac{\dot{c}}{c}$ (7)

Από (15b) => $\frac{\dot{\lambda}1}{\lambda1} = -A(1-\tau) + \rho \overset{(16)}{\Longrightarrow} \frac{\dot{c}}{c} = A(1-\tau) - \rho$ (8)

Από (4′) => $\frac{\dot{k}}{k} = A(1-\tau) - \frac{c}{k}$ (9)

Από (5′) => $\frac{\dot{N}}{N} = \delta - \frac{\Omega T + g}{N}$ (10)

Ορίζουμε λοιπόν, $z = \frac{c}{k}$ $\varphi = \frac{N}{k}$ $\psi = \lambda2N$. Συνεπώς πλέον η δυναμική συμπεριφορά (7) έως (10) θα είναι ισοδύναμη με αυτήν των παρακάτω εξισώσεων

$z = \frac{c}{k} \Rightarrow \log z = \log c - \log k \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\dot{z}}{z} = \frac{\dot{c}}{c} - \frac{\dot{k}}{k} \overset{(8),(9)}{\Longrightarrow} \frac{\dot{z}}{z} = A(1-\tau) - \rho - A(1-\tau) + z$

$\Rightarrow \frac{\dot{z}}{z} = z - p$ (11)

$\varphi = \frac{N}{k} \Rightarrow \log\varphi = \log N - \log k \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \frac{\dot{N}}{N} - \frac{\dot{k}}{k} \overset{(9),(10)}{\Longrightarrow} \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - \frac{\Omega\varepsilon A k + \tau A k}{N} - A(1-\tau) + z \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\dot{\varphi}}{\varphi} = \delta - A(\Omega\varepsilon+\tau)\varphi^{-1} - A(1-\tau) + z$ (12)

$\dot{\psi} = N\dot{\lambda}2 + \lambda2\dot{N} \Rightarrow$

=> $\dot{\psi}$ = N(− $\frac{m}{N}$ − δλ2 + ρλ2) + λ2(δN − Ω$\dot{T}$ + g) =>

=> $\dot{\psi}$ = − m − λ2Nδ + ρλ2N + λ2δN − λ2 (ΩεAk + τAk) =>

=> $\dot{\psi}$ = − m − δψ + ρψ + δψ − λ2k (ΩεA + τA) $\frac{N}{N}$ =>

=> $\dot{\psi}$ = − m + ρψ − λ2N (ΩεA + τA) $\frac{k}{N}$ =>

=> $\dot{\psi}$ = − m + ρψ − ψ (ΩεA + τA) φ^{-1} (13)

Συνεπώς καταλήγουμε στις σχέσεις:

$\dot{z}$ =(z−ρ) z (11)

$\dot{\varphi}$ = φδ − (Ωε+τ)A − Aφ(1−τ) + zφ (12)

$\dot{\psi}$ = − *m* + *ρψ* − ψ (ΩεA + Aτ) φ^{-1} (13)

Θα βρούμε τις τιμές των μεταβλητών z , φ , ψ στην μακροχρόνια ισορροπία. Θέτοντας την σχέση (11) ίση με το μηδέν προκύπτει ότι ο λόγος κατανάλωσης προς κεφάλαιο z (z =$\frac{c}{k}$) θα ισούται:

z = ρ (14a)

Θέτοντας την σχέση (12) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (23a), προκύπτει ότι ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος φ (φ = $\frac{N}{k}$) προς κεφάλαιο θα ισούται:

φδ − (Ωε + τ)A − Aφ(1 − τ) + ρφ = 0 =>

=> (δ − A(1−τ) − ρ) φ = ΩεA => ((1 − τ)A − ρ − δ)φ = − ΩεA =>

=> φ = $\frac{(\Omega\varepsilon+\tau)\,A}{\rho+\delta-A(1-\tau)}$ (14b)

Θέτοντας την σχέση (13) ίση με το μηδέν και λαμβάνοντας υπόψη την σχέση (14b), προκύπτει ότι κοινωνική αξία του φυσικού περιβάλλοντος ψ (ψ=λ2N) θα ισούται:

−m + ρψ − ψ (ΩεA + Aτ) φ^{-1} = 0

=> $-m + \rho\psi - \psi\ (\Omega\varepsilon A + A\tau)\ \frac{\rho + \delta - A\,(1-\tau)}{\Omega\varepsilon A + A\tau} = 0$ =>

=> $-m + \rho\psi - (\rho + \delta - (1-\tau)A\ )\ \psi = 0$ =>

=> $(\rho - \rho + \delta + (1-\tau)A\ )\ \psi = m$ => $\psi = \frac{m}{(1-\tau)A - \delta}$ (14c)

Άρα στην περίπτωση 3 που λαμβάνεται υπόψη η κλιματική αλλαγή και παράλληλα υπάρχει μια πιο εκτεταμένη οικονομική πολιτική προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

$z_3 = \rho$ (14a)

$\varphi_3 = \frac{(\Omega\varepsilon+\tau)\,A}{\rho + \delta - A(1-\tau)}$ (14b)

$\psi_3 = \frac{m}{(1-\tau)A - \delta}$ (14c)

Προκειμένου οι μεταβλητές να είναι θετικές όπως και στην δεύτερη περίπτωση πρέπει να ισχύει: $\delta < A(1-\tau) < \rho + \delta$

Στην συνέχεια παίρνοντας τις παραγώγους των μεταβλητών z, φ, ψ ως προς τις παραμέτρους θα εξετάσουμε πως μεταβάλλονται οι μεταβλητές ανάλογα με κάθε μεταβολή των παραμέτρων.

Αρχικά εξετάζουμε την μεταβολή της z όπου είναι η ίδια και για τις 3 περιπτώσεις για κάθε μεταβολή της παραμέτρου ρ.

$\frac{\theta z}{\theta \rho} = 1$

Στην συνέχεια εξετάζουμε την μεταβολή της ψ όπου είναι η ίδια και για τις περιπτώσεις 2,3 και διαφορετική για την περίπτωση 1, για κάθε μεταβολή των παραμέτρων m,A,δ,τ.

$\frac{\theta\psi 1}{\theta m} = \frac{1}{A-\delta}$ $\frac{\theta\psi 1}{\theta A} = -\frac{m}{(A-\delta)^2}$ $\frac{\theta\psi 1}{\theta \delta} = \frac{m}{(A-\delta)^2}$

$\frac{\theta\psi 2}{\theta m} = \frac{1}{(1-\tau)A-\delta}$ $\frac{\theta\psi 2}{\theta A} = -\frac{(1-\tau)m}{((1-\tau)A-\delta)^2}$ $\frac{\theta\psi 2}{\theta \delta} = \frac{m}{((1-\tau)A-\delta)^2}$

$\frac{\theta\psi 2}{\theta \tau} = \frac{mA}{((1-\tau)A-\delta)^2}$

Τέλος εξετάζουμε την μεταβολή της φ όπου είναι διαφορετική για κάθε περίπτωση για κάθε μεταβολή των παραμέτρων Ω,ε,ρ,δ,Α,τ

$$\frac{\theta\varphi 1}{\theta\Omega} = \frac{\varepsilon A}{\rho+\delta-A} \quad \frac{\theta\varphi 1}{\theta\varepsilon} = \frac{\Omega A}{\rho+\delta-A} \quad \frac{\theta\varphi 1}{\theta\rho} = -\frac{\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A)^2} \quad \frac{\theta\varphi 1}{\theta\delta} = -\frac{\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A)^2} \quad \frac{\theta\varphi 1}{\theta A} = \frac{(\Omega\varepsilon)(\rho+\delta-A)+\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A)^2}$$

$$\frac{\theta\varphi 2}{\theta\Omega} = \frac{\varepsilon A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \frac{\theta\varphi 2}{\theta\varepsilon} = \frac{\Omega A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \frac{\theta\varphi 2}{\theta\rho} = -\frac{\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2} \quad \frac{\theta\varphi 2}{\theta\delta} = -\frac{\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2}$$

$$\frac{\theta\varphi 2}{\theta A} = \frac{(\Omega\varepsilon)(\rho+\delta-A(1-\tau))+(1-\tau)\Omega\varepsilon A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2} \quad \frac{\theta\varphi 2}{\theta\tau} = -\frac{\Omega\varepsilon A\ (A)}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2}$$

$$\frac{\theta\varphi 3}{\theta\Omega} = \frac{\varepsilon A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \frac{\theta\varphi 3}{\theta\varepsilon} = \frac{\Omega A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \frac{\theta\varphi 3}{\theta\rho} = -\frac{(\Omega\varepsilon+\tau)A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2} \quad \frac{\theta\varphi 3}{\theta\delta} = -\frac{(\Omega\varepsilon+\tau)A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2}$$

$$\frac{\theta\varphi 3}{\theta A} = \frac{(\Omega\varepsilon+\tau)\big(\rho+\delta-A(1-\tau)\big)+(1-\tau)\,(\Omega\varepsilon+\tau)A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2}$$

$$\frac{\theta\varphi 3}{\theta\tau} = \frac{A\,\big(\rho+\delta-A(1-\tau)\big)-(\Omega\varepsilon A+\tau A)A}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2} = \frac{A\,(\rho+\delta-A+A\tau)-A(A\Omega\varepsilon+A\tau))}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2} = \frac{A\,(\rho+\delta-A-\Omega\varepsilon A)}{(\rho+\delta-A(1-\tau))^2}$$

4 Συμπεράσματα

Συνεπώς έχουμε υπολογίσει στην κατάσταση μακροχρόνιας ισορροπίας την μεταβλητή z που είναι ο λόγος κατανάλωσης προς κεφάλαιο, την μεταβλητή φ που είναι ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος προς κεφάλαιο και την μεταβλητή ψ που αναπαριστά την κοινωνική αποτίμηση αξίας του φυσικού περιβάλλοντος. Οι παραπάνω μεταβλητές έχουν υπολογιστεί για 3 περιπτώσεις. Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των μεταβλητών για κάθε μια περίπτωση είναι:

Περίπτωση 1 : $z_1 = \rho \quad \varphi_1 = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho+\delta-A} \quad \psi_1 = \frac{m}{A-\delta}$

Περίπτωση 2 : $z_2 = \rho \quad \varphi_2 = \frac{\Omega\varepsilon A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \psi_2 = \frac{m}{(1-\tau)A-\delta}$

Περίπτωση 3 : $z_3 = \rho \quad \varphi_3 = \frac{(\Omega\varepsilon+\tau)\,A}{\rho+\delta-A(1-\tau)} \quad \psi_3 = \frac{m}{(1-\tau)A-\delta}$

Επιπλέον προκειμένου οι μεταβλητές να είναι μεγαλύτερες του μηδενός πρέπει να ισχύει: $\delta < A(1-\tau) < A < \rho + \delta$.

Παρατηρούμε πως ο λόγος κατανάλωσης προς κεφάλαιο είναι ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις ίσος με τον ρυθμό προεξόφλησης του χρόνου ρ. Συνεπώς οι προσπάθειες αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής δεν επηρεάζουν τον λόγο κατανάλωσης προς κεφάλαιο. Όσον αφορά την κοινωνική αξία του φυσικού περιβάλλοντος είναι μικρότερη στην πρώτη περίπτωση όπου δεν λαμβάνεται υπόψη η κλιματική αλλαγή από τις περιπτώσεις 2,3. Εφόσον $\psi_2 = \psi_3$ καταλήγουμε στο

συμπέρασμα πως η κοινωνική αξία του φυσικού περιβάλλοντος εξαρτάται από το ύψος της φορολογίας στην παραγωγική δραστηριότητα. Όσο πιο υψηλός είναι ο φορολογικός συντελεστής τόσο μεγαλύτερη είναι η αξία του φυσικού περιβάλλοντος για την κοινωνία, καθώς η επιβολή φορολογίας γίνεται έντονα αντιληπτή και αισθητή. Τέλος ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος προς κεφάλαιο είναι μικρότερος στην δεύτερη περίπτωση από ότι στις περιπτώσεις 1,3. Αυτό σημαίνει πως όσο αυξάνεται η φορολογία στην διαδικασία παραγωγής προϊόντων τόσο μειώνεται ο λόγος φυσικού περιβάλλοντος προς κεφάλαιο. Επιπλέον παρατηρούμε πως οι κρατικές δαπάνες(g) συμβάλουν σε περεταίρω αύξηση της μεταβλητής φ, όπου σε αυτή την περίπτωση η τιμή της μεταβλητής είναι μεγαλύτερη από ότι στις άλλες δύο περιπτώσεις.

Ειδικότερα όσο αφορά τις παραμέτρους ρ,m,δ,Ω,ε,A,τ βάση των παραγώγων που υπολογίσαμε οδηγούμαστε στα εξής συμπεράσματα: Μια αύξηση του βαθμού προτίμησης του χρόνου ρ οδηγεί σε αύξηση της μεταβλητής z ($\frac{\theta z}{\theta \rho}$ >0) όπου τα άτομα χρησιμοποιούν περισσότερο μέρος του κεφαλαίου για κατανάλωση καθώς ενδιαφέρονται περισσότερο για το παρόν. Επίσης προκαλεί μείωση της μεταβλητής φ($\frac{\theta \varphi}{\theta \rho}$<0) διότι δίνεται μεγαλύτερο βάρος στην κατανάλωση από ότι στο περιβάλλον. Μια αύξηση του βαθμού προτίμησης του φυσικού περιβάλλοντος m οδηγεί σε αύξηση της μεταβλητής ψ($\frac{\theta \psi}{\theta m}$>0), η αξία του περιβάλλοντος για την κοινωνία αυξάνεται. Αύξηση του ρυθμού ανανέωσης του φυσικού περιβάλλοντος δ οδηγεί σε αύξηση του ψ($\frac{\theta \psi}{\theta \delta}$>0) καθώς αυξάνεται η ποσότητα των φυσικών πόρων και μείωση της φ($\frac{\theta \varphi}{\theta \delta}$<0) διότι χρησιμοποιείται λιγότερο κεφάλαιο για συντήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Επίσης μια αύξηση στον βαθμό που η μεταβολή της θερμοκρασίας επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον Ω οδηγεί σε αύξηση της μεταβλητής φ($\frac{\theta \varphi}{\theta \Omega}$>0), απαιτείται περισσότερο κεφάλαιο για την διασφάλιση του φυσικού περιβάλλοντος. Επιπλέον μια αύξηση στην τεχνολογική παράμετρο που καθιστά την τεχνολογία πιο ρυπογόνα ε οδηγεί σε αύξηση της φ($\frac{\theta \varphi}{\theta \varepsilon}$>0) καθώς και σε αυτή την περίπτωση απαιτείται περισσότερο κεφάλαιο για την διασφάλιση του φυσικού περιβάλλοντος. Όσο αφορά την παράμετρο της τεχνολογίας A μια αύξησή της, οδηγεί σε μείωση του ψ($\frac{\theta \psi}{\theta A}$<0) καθώς σε αρκετές περιπτώσεις υποβαθμίζεται η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος και αύξηση του φ($\frac{\theta \varphi}{\theta A}$>0) λόγο αύξησης παραγωγικότητας του κεφαλαίου. Επιπλέον μια αύξηση του φορολογικού συντελεστή τ στην παραγωγική δραστηριότητα οδηγεί σε αύξηση του ψ($\frac{\theta \psi}{\theta \tau}$>0), καθώς η φορολογία γίνεται έντονα αντιληπτή από την κοινωνία και μείωση της φ($\frac{\theta \varphi 2}{\theta \tau}$<0). Τέλος στην περίπτωση που αυξηθούν οι κρατικές δαπάνες και η φορολογία στην παραγωγική διαδικασία παρατηρούμε αύξηση της μεταβλητής φ($\frac{\theta \varphi 3}{\theta \tau}$>0).

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνονται παίρνοντας το παρακάτω αριθμητικό παράδειγμα. Έστω παίρνουμε τις ακόλουθες τιμές για τις παραμέτρους:

$\rho=0.05$ $A=0.05$ $m=0.3$ $\delta=0.01$ $\Omega=1.7$ $\varepsilon=0.1$ $\tau=0.2$.

Ισχύει ο περιορισμός $\delta < A(1-\tau) < A < \rho + \delta$ καθώς $0.01<0.04<0.05<0.06$

Προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις μεταβλητές z,ψ,φ.

Περίπτωση 1 :

$z_1 = 0.05$

$$\varphi_1 = \frac{1.7*0.1*0.05}{0.05+0.01-0.05} = \frac{0.0085}{0.01} = 0.85$$

$$\psi_1 = \frac{0.3}{0.05-0.01} = \frac{0.3}{0.04} = 7.5$$

Περίπτωση 2 :

$z_2 = 0.05$

$$\varphi_2 = \frac{1.7*0.1*0.05}{0.05+0.01-0.05(1-0.2)} = \frac{0.0085}{0.02} = 0.425$$

$$\psi_2 = \frac{0.3}{(1-0.2)0.05-0.01} = \frac{0.3}{0.04-0.01} = \frac{0.3}{0.03} = 10$$

Περίπτωση 3 :

$z_3 = 0.05$

$$\varphi_3 = \frac{(1.7*0.1+0.2)\ 0.05}{0.05+0.01-0.05(1-0.2)} = \frac{0.0185}{0.02} = 0.925$$

$$\psi_3 = \frac{0.3}{(1-0.2)0.05-0.01} = \frac{0.3}{0.04-0.01} = \frac{0.3}{0.03} = 10$$

Συνεπώς παρατηρούμε ότι :

$z_1 = z_2 = z_3 = \rho = 0.05$

$\psi_1= 7.5 < 10 = \psi_2 = \psi_3$

$\varphi_2=0.425 < \varphi_1=0.85 < \varphi_3=0.925$

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

EMEKA.(2011).*Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα*. Αθήνα: Τράπεζα της Ελλάδας.

TIENBERG, T.,& LEWIS,L. Οικονομική Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων. Αθήνα : GUTENBERG.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Aldy, J. E., Barrett. S., & Stavins, R. N.(2003). Thirteen plus one: a comparison of global climate policy architectures. *Climate Policy* 3, 373–397.

Economides, G., Papandreou, A.,Sartzetakis, E., & Xepapadeas, A.(2018). *The economics of climate change*. Climate change impacts study committee, Athens: Bank of Greece.

Ehmer, P.(2008). Climate change and tourism: Where will the journey lead? *Energy and climate change,* Deutche Bank Research .

Matthew, E. K., Kamiar, M., Ryan, N.C. Ng, Hashem, P.,Mehdi, R., & Yang, J. C.(2019). Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis. *National Bureau of Economic Research,* No. 26167 .

Murphy, R. Z.(2009). Rolling the DICE William Nordhaus's Dubious Case for a Carbon Tax. *Independent review,* Fall2009, 14(2), 197-217.

Nordhaus, W.D.(2014). Estimates of the Social Cost of Carbon: Concepts and Results from the DICE-2013R Model and Alternative Approaches. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), 273-312.

Nordhaus, W.D.(2011). Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE-2011 Model. Cowles Foundation for Research in Economics.

Nordhaus, W.D.(2010). Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. National Academy of Sciences, 107(26).

Nordhaus, W.D.(2008). A *question* of *balance: weighing the options on global warming policies.* New Haven: Yale University Press.

Nordhaus, W.D.(2005). Life After Kyoto: Alternative Approaches to Global Warming Policies. *NBER WORKING PAPER SERIES,* United States: NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH INC.

Nordhaus, W.D. & Boyer, G.J.(1999). Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol. *The energy Journal*, 20, 93-130.

Nordhaus, W.D. & Yang, Z.(1996). A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies. *The American Economic Review, 86(4), 741-764.*

Nordhaus, W.D.(1977). Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem. *The American Economic Review, 67(1),* Papers and Proceedings of the Eighty-ninth Annual Meeting of the American Economic Assocation (Feb., 1977), 341-346.

Nyong, A., Adesina, F. & Osman Elasha, B.(2007). The value of indigenous knowledge in climate change mitigation and adaptation strategies in the African Sahel.*Mitig Adapt Strat Glob Change* 12, 787-797.

OECD .(2016). *Effective Carbon Rates: Pricing CO2 through Taxes and Emissions Trading Systems*. OECD Publishing, Paris.

Perdana, S., & Tyers, R.(2020). Global Climate Change Mitigation: Strategic Incentives. *Energy Journal,* 2020, 41(3), 183-206.

Ιστοσελίδες

Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, διαθέσιμο στο: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el, προσπελάστηκε στις: 24/03/2021

Ευρωπαϊκή Ένωση. Πρόγραμμα Life: η ΕΕ επενδύει 121 εκατ. ευρώ σε έργα για το περιβάλλον, τη φύση και τη δράση για το κλίμα, διαθέσιμο στο: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/ip_21_501, προσπελάστηκε στις: 10/04/2021

Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα. Δημόσια διαβούλευση σχετικά με σχέδιο οδηγού της ΕΚΤ όσον αφορά τους κλιματικούς και περιβαλλοντικούς κινδύνους, διαθέσιμο στο:https://www.bankingsupervision.europa.eu/legalframework/publiccons/html/climate-related risks faq.el.html, προσπελάστηκε στις: 11/04/2021

Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα. Ετήσια έκθεση 2019, διαθέσιμο στο: https://www.ecb.europa.eu/pub/annual/html/ar2019~c199d3633e.el.html, προσπελάστηκε στις: 20/04/2021

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Κλιματική αλλαγή: η δράση της ΕΕ, διαθέσιμο στο: https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/, προσπελάστηκε στις: 5/04/2021

Τράπεζα της Ελλάδος. Κλιματική αλλαγή και βιωσιμότητα, διαθέσιμο στο: https://www.bankofgreece.gr/trapeza/koinwnikh-eythynh/viwsimotita-klimatikh-allagh, προσπελάστηκε στις: 25/02/2021

Τράπεζα της Ελλάδος. Κλιματική αλλαγή και οικονομία, διαθέσιμο στο: https://www.bankofgreece.gr/trapeza/koinwnikh-eythynh/viwsimotita-klimatikh-allagh/klimatikh-allagh-kai-oikonomia , προσπελάστηκε στις: 15/03/2021

European Environment Agency. Economic losses from climate-related extremes in Europe, διαθέσιμο στο: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-2, προσπελάστηκε στις: 8/03/2021

Eurosystem reply to European Commission's public consultations on the Renewed Sustainable Finance Strategy and the revision of the Non-Financial Reporting Directive, διαθέσιμο στο: https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/ecb.eurosystemreplyeuropeancommissionpubliconsultations 20200608~cf01a984aa.en.pdf, προσπελάστηκε στις: 15/04/2021

https://el.wikipedia.org/wiki/Φαινόμενο του θερμοκηπίου/, προσπελάστηκε στις: 01/03/2021.