



**ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ**

**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων
Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου και οι
Ενεργειακές Τιμές Καυσίμων**

Απόστολος Μιχαηλίδης

Επιβλέπων Καθηγητής
Ελευθερίου Κωνσταντίνος

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ, 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

Διοίκηση επιχειρήσεων (MBA)

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων
Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου και οι Ενεργειακές
Τιμές Καυσίμων**

Απόστολος Μιχαηλίδης

Επιβλέπων Καθηγητής
Ελευθερίου Κωνσταντίνος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA) από τη Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2018

Περίληψη

Η Παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με το ευρωπαϊκό σύστημα εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπής ρύπων, που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μια τεχνητή αγορά που αναγκάζει τους ρυπαντές στον ευρωπαϊκό χώρο να μειώσουν την εκπομπή των βιομηχανικών ρύπων, δημιουργώντας οικονομικά κίνητρα, αφού θέτει πλαφόν για τις ετήσιες συνολικές εκπομπές αερίων της κάθε εταιρίας. Χρησιμοποιώντας οικονομετρικές τεχνικές ανάλυσης χρονοσειρών ερευνάται η στατιστική σημαντικότητα των τιμών των κύριων ενεργειακών καυσίμων στην εξέλιξη της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής για το χρονικό διάστημα 2011-2017, που περιλαμβάνει το τέλος της δεύτερης, και το μεγαλύτερο μέρος της τρίτης φάσης του συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική επιρροή του Πετρελαίου και του Κάρβουνου, ενώ χαμηλότερη στατιστική σημαντικότητα εμφανίζεται να έχουν η Βενζίνη, το Φυσικό Αέριο και η Κηροζίνη.

Abstract

This master thesis deals with the EU emissions trading scheme, an artificial market that causes polluters in EU to reduce emissions by creating financial motivations, as it sets a cap for each company's annual total emissions. By the use of econometric techniques for time series, we analyze the impact of energy fuel prices on the EU allowances for the period 2011-2017, including the end of the second phase and the largest part of third phase of the scheme. Results indicate a statistical significance of Coal, Brent and Crude oil prices, while Gasoline, Natural Gas and Kerosene seem to be less significant.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	8
2. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	12
2.1. Το Σύστημα “Cap and Trade”	13
2.2. Η Κατανομή των Δικαιωμάτων.....	13
2.3. Η Χρονική Διάρθρωση.....	15
2.3.1. Οι Φάσεις του Προγράμματος.....	15
2.3.2. Ημερολόγιο διαδικασίας.....	17
2.4. Ποινές συμμόρφωσης.....	18
2.5. Συμμετέχοντες στην Αγορά.....	19
2.6. Πράσινη Ανάπτυξη.....	20
2.7. Διεθνής αγορά ρύπων.....	22
2.8. Αερομεταφορές.....	22
3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	24
4. Δεδομένα της εμπειρικής ανάλυσης.....	30
4.1. Ενεργειακές μεταβλητές.....	30
4.2. Περιγραφικά στατιστικά.....	33
5. Οικονομετρική Ανάλυση.....	34
5.1. Εισαγωγή στην Ανάλυση Χρονολογικών Σειρών.....	34
5.1.1. Στοχαστικά υποδείγματα.....	35
i. Υποδείγματα λευκού θορύβου.....	35
ii. Υποδείγματα τυχαίας διαδρομής.....	36
iii. Αυτοπαλίνδρομα Υποδείγματα AR (p).....	36
iv. Υποδείγματα κινητού μέσου MA (q).....	37
V. Αυτοπαλίνδρομα – Κινητού μέσου Υποδείγματα ARMA (p, q).....	38
5.1.2. Υποδείγματα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας.....	39
i. Αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας.....	39
ii. Γενικό αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας	40
5.1.3. Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας και Βαθμός Ολοκλήρωσης.....	41
i. Έλεγχος Dickey-Fuller.....	41

ii. Επαυξημένος έλεγχος Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller).....	42
5.1.4 Έλεγχοι για εσφαλμένα αποτελέσματα.....	43
i. Breusch - Godfrey έλεγχος.....	43
ii. Breusch - Pagan έλεγχος.....	44
iii. Έλεγχος για Arch υπόδειγμα.....	44
iv. Newey-West εκτιμητής.....	44
5.2 Μεθοδολογία της εργασίας.....	45
6. Αποτελέσματα της εμπειρικής ανάλυσης.....	47
6.1 Αποτελέσματα της Βιβλιογραφίας.....	47
6.2 Αποτελέσματα της οικονομετρικής ανάλυσης	48
6.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	55
7. Συμπεράσματα.....	56
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	58
Παράρτημα.....	61
Συνομογραφίες.....	68

1. Εισαγωγή

Από το τέλος της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι και σήμερα, η ανθρωπότητα έχει να αντιμετωπίσει δυο κινδύνους που μπορεί να αποβούν μοιραίοι για αυτήν, την χρηματοοικονομική κρίση και την καταστροφή του περιβάλλοντος. Η χρηματοοικονομική κρίση, που ταλαιπωρεί την ανθρωπότητα εδώ και αρκετά χρόνια, είναι σε σειρά η δεύτερη σε σημαντικότητα, καθώς ο αγώνας να διασωθεί ο πλανήτης μας από την ανθρωπίνη ανεξέλεγκτη παρέμβαση στο περιβάλλον είναι πρωταρχικός στόχος για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους.

Οι συνέπειες της Χρηματοοικονομικής κρίσης επηρεάζουν άμεσα την ανθρωπότητα, για αυτό και οι αρμόδιοι φορείς έχουν ρίξει μεγάλο βάρος σε μεθόδους καταπολέμησης της.

Από την άλλη πλευρά, αν και μια ενδεχόμενη περιβαλλοντική κρίση μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες για την πορεία του ανθρώπινου γένους, εντούτοις, τα σημαντικά βήματα αντιμετώπισης της περιβαλλοντικής καταστροφής μόλις τα τελευταία χρόνια έχουν τεθεί στο προσκήνιο.

Ο Κύριος παράγοντας καταστροφής του περιβάλλοντος είναι η εκπομπή των αερίων που εντείνουν το φυσικό φαινόμενο που ονομάζεται: "Φαινόμενο του θερμοκηπίου". Οι υδρατμοί, οι οποίοι ευθύνονται για περίπου τα δύο τρίτα του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου, δεσμεύουν στην ατμόσφαιρα τη θερμότητα που εκπέμπει η γη και την εκπέμπουν ξανά προς όλες τις κατευθύνσεις. Η παρέμβαση του ανθρώπου εδώ πραγματοποιείται μέσω των εκπομπών ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) το οποίο ευθύνεται για τουλάχιστον το 60% του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου. Από το 1800, από την βιομηχανική επανάσταση δηλαδή, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 30% , καθώς τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων καίγονται για να παραχθεί ενέργεια. Στις ανεπτυγμένες χώρες αυτό ισοδυναμεί με 25 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) το χρόνο. Το μεθάνιο (CH₄), το μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) και τα φθοριούχα αέρια είναι επίσης παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Αποτέλεσμα της συγκέντρωσης στην ατμόσφαιρα των ανωτέρω ρυπογόνων αερίων είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 0,8°C, συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Πρέπει να σημειωθεί, ότι βάσει αναφορών της επιστημονικής κοινότητας μια αύξηση της τάξεως των 4°C θα σήμανε και το τέλος της ζωής στην γη, αφού θα συνοδεύονταν από ακραία περιβαλλοντικά φαινόμενα. Ταυτόχρονα, οι έρευνες δείχνουν ότι με αυτούς τους ρυθμούς εκπομπής αερίων έως το 2100 θα έχει επέλθει άνοδος κατά 5°C στην μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Η τελευταία τέτοια μεταβολή συνέβη πριν 30 εκατομμύρια χρόνια και επέφερε μη ικανές συνθήκες για επιβίωση. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι μια παρόμοια αλλαγή θερμοκρασίας στον 21^ο αιώνα θα έχει επιπτώσεις τόσο επί των έμβιων όντων του πλανήτη όσο και επί της μορφολογίας του. Η αλλαγή στις καιρικές ισορροπίες { Broche et al (2009)} και στο κλίμα, που ενδέχεται να έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τον επανασχεδιασμό των ακτών, των ποταμών αλλά και της ποιότητας και μορφολογίας του εδάφους, θα θέσει σε κίνδυνο την πορεία του ανθρώπινου είδους στη γη.

Αναφορικά με το χρηματοοικονομικό κομμάτι διαχείρισης της κρίσης, η έκθεση Stern {Chevalier(2011b)} μας βοηθάει να αντιληφθούμε το μέγεθός της με αριθμούς, καθώς αναλύεται το σύνολο του φαινομένου και αναδεικνύεται μια καίρια πτυχή του, η οικονομική, χωρίς την οποία είναι αδύνατη η αντιμετώπιση της κρίσης. Το βασικό συμπέρασμα είναι, ότι με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία η μείωση του παγκόσμιου ΑΕΠ , η οποία πιθανολογείται ότι θα επέλθει εάν δεν ληφθεί δράση, ανέρχεται από 5 έως 20 ποσοστιαίες μονάδες ετησίως, ανάλογα με το πόσο μεγάλες θα είναι οι συνέπειες. Σε αντίθεση με αυτό, η έκθεση επισημαίνει, ότι θα χρειαστεί μια ποσοστιαία μονάδα του συνόλου του παγκόσμιου ΑΕΠ ετησίως για την πρόληψη και αποφυγή των χειρίστων συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Μετά λοιπόν από τις προειδοποιήσεις των επιστημών πολλά κράτη το 1992 συναντήθηκαν στο Ρίο της Βραζιλίας για να δημιουργήσουν μηχανισμούς με σκοπό τον περιορισμό της αύξησης και σταθεροποίησης της θερμοκρασίας του πλανήτη. Έτσι δημιουργήθηκε η πρώτη Διεθνής Επιτροπή για το περιβάλλον και την Ανάπτυξη, του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών. Λίγο αργότερα, το 1997,

λαμβάνοντας Παγκόσμια ανταπόκριση, (195 κράτη να συμμετέχουν πλην των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής) επικυρώθηκε το φημισμένο Πρωτόκολλο του Κιότο. Το πρωτόκολλο αυτό με μορφή νομική πλέον δεσμεύει τις χώρες που το υπέγραψαν στην μείωση των ρυπογόνων αερίων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα έως το 2020 κατά 5% χαμηλότερα από τα επίπεδα της δεκαετίας που υπογράφηκε. Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο προβλέπονται τρεις δεσμευτικές περιόδους: η πρώτη από το 2005 έως το 2007, η δεύτερη από το 2008 έως το 2012, και η τρίτη από το 2013 έως το 2020.

Από τα πιο "δραστήρια" μέλη του πρωτοκόλλου είναι τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα οποία συμφώνησαν να πληρούν τους στόχους του πρωτοκόλλου μέσα από ένα σύστημα εμπορίας και οριοθέτησης (cap and trade) για τα δικαιώματα εκπομπής ρυπογόνων αερίων της κάθε χώρας, το οποίο ονομάστηκε Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union Emission Trading System – EU ETS), δημιουργώντας έτσι την μεγαλύτερη αγορά παγκοσμίως δικαιωμάτων εκπομπών, με 31 χώρες πακ και πάνω από 11000 βιομηχανίες να συμμετέχουν.

Εκτός από την Ελβετία, που ήδη από το 2008 λειτουργεί μια εθνική αγορά δικαιωμάτων με μεγάλη επιτυχία και η Κίνα ως ο μεγαλύτερος ρυπαντής παγκοσμίως, εφαρμόζει από το 2015 μια εθνική αγορά ρύπων με στόχο την μείωση εκπομπών στο 40-45% των επιπέδων από το 2005 μέχρι το 2020. Η Ιαπωνία επίσης στοχεύει στην μείωση κατά 25% μέχρι το 2020. Στην Νέα Ζηλανδία λειτουργεί από το 2009 εθνικό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων, ενώ το ίδιο άρχισε να ισχύει και στην Αυστραλία από το καλοκαίρι του 2014. Τέλος στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, αν και κατ' αρχήν δεν δεσμεύονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο, κάποιες πολιτείες έχουν θεσπίσει ειδικό σύστημα εντός της επικράτειας κάθε Πολιτείας, το οποίο στοχεύει σε μείωση των εκπομπών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Καλιφόρνια με στόχο την μείωση των εκπομπών κατά 80% στα επίπεδα δηλαδή του 1990, μέχρι το 2050 {Chevalier (2011b)}.

Έτσι μπορεί να καταστεί σαφές, ότι πρέπει να μελετηθούν και να αναλυθούν οι αγορές αυτές όντας καινούργιες στον χώρο, και να βρεθούν οι πηγές προέλευσης διαμόρφωσης της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο EU ETS. Η βέλτιστη κατάσταση ανάλυσης αυτών των αγορών και των δικαιωμάτων κατά συνέπεια είναι η πρόβλεψη των τιμών σε σχέση με τις τρέχουσες και παρελθοντικές τιμές, κάτι που εμπειρικά έχει καταστεί ασαφές. Έτσι η εργασία αυτή μέσα από την μελέτη της πιο πρόσφατης ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας θα αναλύσει τους παράγοντες που αλληλοεπιδρούν με τις αγορές αυτές με σκοπό να ανακαλύψει ποιοι από αυτούς ασκούνε επιρροή στην διαμόρφωση τις τιμής των ρύπων μέσα από εμπειρική ανάλυση και εξειδικευμένες οικονομετρικές τεχνικές, κυρίως για την Τρίτη φάση του προγράμματος EE 2013-2020.

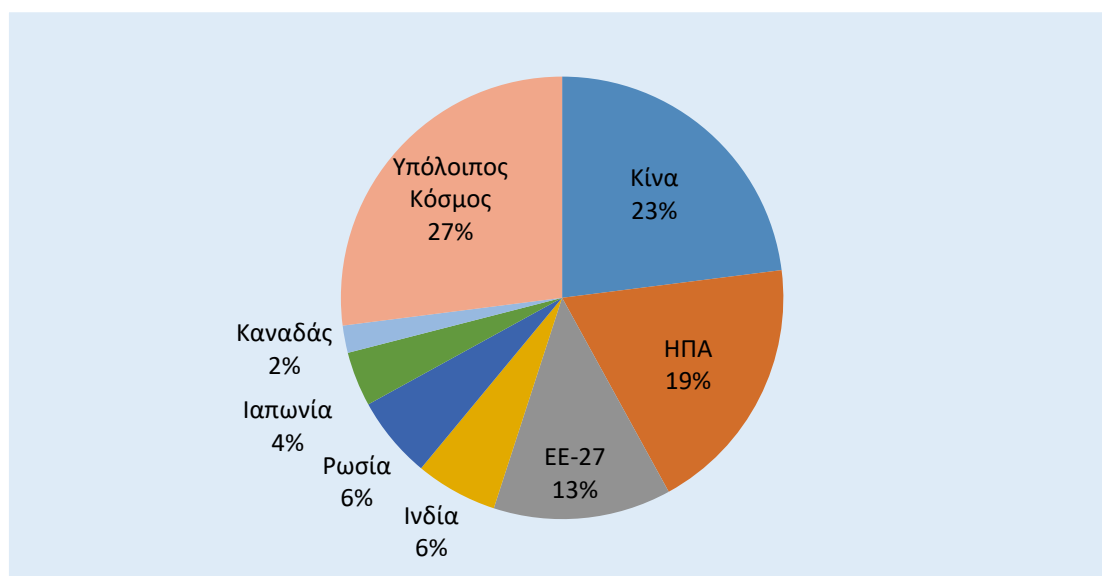
Δομικά η παρούσα εργασία χωρίζεται σε επτά κεφάλαια από τα οποία: το πρώτο αποτελεί την εισαγωγή, το δεύτερο ασχολείται με την αγορά ρύπων εστιάζοντας και αναλύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά του EU ETS, το τρίτο αναφέρεται συνοπτικά στην σχετική βιβλιογραφία, το τέταρτο και το πέμπτο περιγράφουν τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην εργασία και την ανάλυση της μεθοδολογίας με τα οικονομετρικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα. Στο έκτο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και στο τελευταίο παρουσιάζονται συνοπτικά και αναλύονται τα συμπεράσματα.

2. Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU Emissions Trading System).

Το EU ETS θεωρείτο ο ακρογωνιαίος λίθος της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την μείωση των ρυπογόνων αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση για την κλιματική αλλαγή, περιλαμβάνοντας 11.000 βιομηχανικές εγκαταστάσεις από τα 28 μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μαζί με την Ισλανδία, το Λιχτενστάιν και την Νορβηγία{The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website}.

Το σύστημα βασίζεται σε ένα διαρκώς μειούμενο όριο για τις εκπομπές αερίων από τις επιχειρήσεις. Μέσα σε αυτό το όριο οι επιχειρήσεις μπορούν να πωλούν και να αγοράζουν τίτλους εκπομπών, το λεγόμενο και "cap-and-trade system". Έτσι ο μηχανισμός θέτει μια τιμή στους ρύπους και δίνει χρηματική αξία σε κάθε τόνο εκπομπής αερίων που εξοικονομείται. Μια υψηλή τιμή στις εκπομπές δίνει κίνητρα για επενδύσεις σε καθαρότερους μηχανισμούς και τεχνολογίες παραγωγής μικρότερων εκπομπών.

Εικόνα 1: Παγκόσμιες Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου ανά Χώρα
(University of Arkansas Office for Sustainability website)



2.1 Το Σύστημα “Cap and Trade”

Το σύστημα cap and trade είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον και στην οικονομία σύστημα που οριοθετεί, περιορίζει, και ελέγχει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπουν οι μονάδες ενέργειας, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, και τα εργοστάσια. Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος είναι ότι θέτει ένα ανώτατο όριο (cap) στις ετήσιες εκπομπές των ρυπαντών, το οποίο έχει την μορφή τίτλων (EU Allowances-EUAs) και κατανέμεται στις εκάστοτε χώρες συμμετοχής. Κάθε τίτλος αντιστοιχεί σε ένα τόνο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή άλλου ισοδύναμου αερίου. Το σύστημα αυτό έχει την μορφή αγοράς αφού οι τίτλοι αυτοί είναι ανταλλάξιμοι μεταξύ των επιχειρήσεων, δηλαδή διανέμονται κάθε χρόνο στις μονάδες παραγωγής και είναι διαπραγματεύσιμοι μεταξύ των μονάδων. Σαν αποτέλεσμα αυτού είναι ότι οι μονάδες που καταφέρνουν να εκπέμψουν λιγότερους ρύπους από όσο δικαιούνται μπορούν να συναλλάσσουν τους τίτλους έναντι χρηματικής αξίας σε άλλες επιχειρήσεις που δεν κατάφεραν να τους περιορίσουν. Οι τίτλοι αυτοί έχουν διάρκεια ένα χρόνο και η μονάδα υποχρεούνται να έχει τόσους τίτλους στην κατοχή της όσο και οι εκπομπές της, αλλιώς της επιβάλλονται πρόστιμα. Επίσης, εκτός από την συναλλαγή οι ρυπαντές δύναται να χρησιμοποιήσουν τους τίτλους για μελλοντική χρήση.

2.2 Η Κατανομή των Δικαιωμάτων

Είναι ζωτικής σημασίας για το ως άνω σύστημα να τηρούνται οι κανονισμοί και η διαφάνεια μέσα από την μέτρηση και την αναφορά της ακριβούς ποσότητας των ρυπογόνων αερίων. Την συνολική εποπτεία την κατέχει η Διεθνής Επιτροπή για το περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNFCCC), μια επιτροπή του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών που είναι και υπεύθυνη για την κατανομή των δικαιωμάτων στις επιχειρήσεις. Μέχρι και την δεύτερη φάση του προγράμματος οι κυβερνήσεις σε συνεργασία με την επιτροπή διένειμαν δωρεάν τα δικαιώματα εκπομπών στους ρυπαντές και στην συνέχεια οι τελευταίοι μπορούσαν να ανταλλάξουν τα δικαιώματα μεταξύ τους, οπότε ήταν και μια πρόκληση για χαμηλότερους ρύπους

με σκοπό το κέρδος μέσα από την πώληση τίτλων. Στην Τρίτη φάση ο κύριος τρόπος κατανομής των δικαιωμάτων είναι μέσω δημοπρασίας, ωστόσο κάποια από τα δικαιώματα διανέμονται δωρεάν κυρίως στις βιομηχανικές μονάδες.

Πίνακας 1 Κατανομή Δικαιωμάτων

<i>ΠΟΣΟΤΟ ΔΩΡΕΑΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΟΜΕΑ</i>	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>Παραγωγή Ενέργειας</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Βιομηχανίες</i>	80%	72,9%	65,7%	58,6%	51,4%	44,2%	37,1%	30%
<i>Βιομηχανίες που θεωρούνται εκτιμημένοι στην διαρροή άνθρακα</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website

Ο στόχος του προγράμματος είναι μέχρι το 2027 να μην υπάρχει δωρεάν διανομή δικαιωμάτων, αλλά απόκτηση αυτών μέσω δημοπρασίας, όπως κάνουν από το 2012 οι μονάδες παραγωγής ενέργειας. Έτσι οι ρυπαντές θα προσπαθούν να μειώνουν συνεχώς τις εκπομπές ρύπων επενδύοντας σε τεχνολογικά επιτεύγματα ή σε καθαρές παραγωγικές διαδικασίες φιλικές προς το περιβάλλον. Μόνο η πρόοδος της τεχνολογίας μπορεί να επιτύχει μείωση των εκπομπών των ρύπων ανά παραγόμενη μονάδα χωρίς κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

2.3. Η Χρονική Διάρθρωση

2.3.1. Οι Φάσεις του Προγράμματος

Η διάρθρωση του προγράμματος στον χρόνο έχει την τάση να ανανεώνεται συνεχώς, αφού πρόκειται για μια δυναμική διαδικασία της οποίας οι πτυχές αποδεικνύονται σωστές ή όχι. Παρακάτω εκθέτονται οι κύριες φάσεις (EU ETS: DEVELOPMENT IN PHASES) {The EU Emissions Trading System (EU ETS), European Commission website} του προγράμματος, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί μέχρι και την συγγραφή της παρούσας εργασίας.

➤ Φάση 1^η (2005-2007).

Η Πρώτη φάση που σηματοδοτεί την αρχή του προγράμματος περιλαμβάνει την περίοδο από το 2005 έως το 2007, και είναι η περίοδος της δοκιμής "μαθαίνουμε κάνοντας". Είναι η φάση που το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα εδραιώνεται ως η μεγαλύτερη αγορά άνθρακα στον κόσμο. Εδώ τα δικαιώματα διανέμονταν δωρεάν, αλλά δεν μπορούσαν να μεταφερθούν σε άλλες επιχειρήσεις μέσα στην χρήση, έτσι, μετά από ένα χρόνο λειτουργίας το σύστημα της αγοράς κατέρρευσε λόγω υπερπροσφοράς των δικαιωμάτων κατεβάζοντας την τιμή των τρεχόντων συμβολαίων (spot) σε μηδενικά επίπεδα, σε αντίθεση με την μελλοντική τιμή των συμβολαίων (futures) που έμεινε ανεπηρέαστη. Το παράδειγμα της πρώτης φάσης αποτελεί κακό παράδειγμα οικονομικής πολιτικής, ενώ ξεχωρίζουν οι προοπτικές του συστήματος cap and trade ως πολλά υποσχόμενο.

➤ Φάση 2^η (2008-2012).

Εν συνέχεια της πρώτης, η δεύτερη από το 2008 έως το 2012 περιλαμβάνει τρία ακόμα μέλη την Ισλανδία, την Νορβηγία και το Λιχτενστάιν. Υπάρχει αναφορά

για μείωση των δικαιωμάτων κατά 6,5% και πλέον τα δικαιώματα μπορούν να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση. Συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα ο κλάδος των αερομεταφορών που συνιστά το 3% των εκπομπών στην Ευρώπη και το 2% παγκοσμίως. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το σύστημα έχει μέχρι στιγμής συμβάλλει στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα στον κλάδο των αερομεταφορών κατά περισσότερο από 17 εκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ η συμμόρφωση καλύπτει άνω του 99.5% των εκπομπών (Anon., n.d.). Η Παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση επηρεάζει αισθητά το πρόγραμμα σε αυτήν την φάση ελαττώνοντας την παραγωγή και κατά συνέπεια και την ενεργειακή ζήτηση, με αποτέλεσμα την μείωση στην ζήτηση των δικαιωμάτων εκπομπής. Αξιοσημείωτο είναι, ότι λόγω αυτής της κατάστασης, η τιμή (future) διαμορφώνεται σε υψηλότερα επίπεδα από την (spot) τωρινή. Αυτό δείχνει, ότι η αγορά των δικαιωμάτων που μελετάμε, βασίζεται πάνω σε ξεχωριστά περιουσιακά στοιχεία με δική τους δυναμική, και ότι δεν συνδέεται με τις γνωστές έως τώρα σχέσεις προσφοράς και ζήτησης.

➤ **Φάση 3^η (2013-2020).**

Η Τρίτη φάση είναι και η φάση που διανύουμε, οπότε τα αποτελέσματα δεν είναι παρά προβλέψεις μοντέλων. Αναφέρουμε ενδεικτικά, ότι το 2020 αναμένουμε οι εκπομπές να είναι κατά 21% ελαττωμένες από ότι το 2005, μιας και από την αρχή της φάσης αυτής έχει τεθεί σε ισχύ η μείωση των δικαιωμάτων κατά 1,74% ετησίως. Τα δικαιώματα πλέον δημοπρατούνται και δεν υπάρχει δωρεάν διάθεση αυτών σε κανένα παραγωγικό/ τεχνολογικό τομέα. Τέλος, η Κροατία γίνεται στην παρούσα φάση και αυτή μέλος του προγράμματος.

➤ **Φάση 4^η (2021-2030).**

Στην φάση αυτή, που είναι και ο τελικός στόχος του προγράμματος έως τώρα και αποτελεί και μέρος των στόχων από την συμφωνία του Παρισιού, προβλέπεται τουλάχιστον 40% μείωση στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Για να

επιτευχθεί αυτό όλοι οι τομείς που καλύπτονται από το πρόγραμμα πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 40% σε σύγκριση με την δεκαετία του 90'. Για τον σκοπό αυτό ο συνολικός αριθμός των δικαιωμάτων εκπομπής θα πρέπει να μειωθεί σε ετήσιο ρυθμό κατά 2,2% έναντι 1,74% επί του τωρινού. Επιπλέον, στόχοι είναι η αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας στο 27% και η αύξηση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας στο 30%.

Πίνακας 2: Περιγραφή των Φάσεων του EU ETS

Φάσεις του Προγράμματος	Χρονική Περίοδος	Χαρακτηριστικά των Φάσεων	Στόχοι
Πρώτη Φάση	2005 - 2007	Δοκιμαστική Φάση Κάλυψη 100% των Ρύπων	Εισαγωγή και Εκμάθηση του Προγράμματος
Δεύτερη Φάση	2008 - 2012	Μείωση Δικαιωμάτων κατά 6,5%	Εναρμόνιση με τους στόχους του Κιότο
Τρίτη Φάση	2013 - 2020	Μείωση Δικαιωμάτων 1,74% ετησίως	21% Λιγότερες Εκπομπές από το 2005
Τέταρτη Φάση	2021 - 2030	Μείωση Δικαιωμάτων 2,2% ετησίως	40% Λιγότερες Εκπομπές από το 1990

(Chevalier, 2011b)

2.3.2. Ημερολόγιο Διαδικασίας

Οι παραγωγικές μονάδες που υπάγονται στο θεσμικό πρόγραμμα του EU ETS πρέπει να ακολουθούν μια συγκεκριμένη πορεία σε ετήσια βάση, αφού όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα είναι πολύ αυστηρό με τις διαδικασίες και τους ελέγχους που πραγματοποιούνται με σκοπό την επίτευξη των στόχων. Οι ρυπαντές πρέπει να αποδίδουν τόσα δικαιώματα εκπομπής, όσοι είναι και οι τίτλοι που έχουν δηλώσει, αλλιώς τους επιβάλλονται μεγάλες κυρώσεις. Συνοπτικά μπορούμε να δούμε στον πίνακα που ακολουθεί την πορεία του προγράμματος σε ετήσια βάση.

Πίνακας 3: Ημερολόγιο Παρακολούθησης Γεγονότων Έτους N

Χρονικό Σημείο	Ημερολογιακό Γεγονός
1 ^η Ιανουαρίου έτους N	Έναρξη περιόδου παρακολούθησης για το έτος N
Έως την 28 ^η Φεβρουαρίου έτους N	Κατανομή αντιστοιχιζόμενων δικαιωμάτων στις παραγωγικές μονάδες για το έτος N
Έως την 31 ^η Μαρτίου έτους N	Υποβολή επαληθευμένων ετήσιων εκπομπών για το έτος N-1
Έως την 30 ^η Απριλίου έτους N	Παράδοση δικαιωμάτων ίσων με εκπομπές για το έτος N-1
Έως την 31 ^η Μαΐου έτους N	Δημοσιοποίηση εκπομπών από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το έτος N-1
Έως την 31 ^η Δεκεμβρίου έτους N	Υποβολή στοιχείων για τυχόν αλλαγές σε δυναμικότητα, παραγωγή και λειτουργία για το έτος N
31 ^η Δεκεμβρίου έτους N	Λήξη Περιόδου παρακολούθησης για το έτος N

Chevalier (2011b)

2.4 Ποινές Συμμόρφωσης

Όπως έχουμε αναφέρει, το πρόγραμμα διακρίνεται για τις αυστηρές του διαδικασίες και τις κυρώσεις σε περίπτωση παραβάσεων. Η αγορά που εμπλέκεται στο πρόγραμμα είναι μια τεχνητή αγορά χωρίς φυσική ζήτηση για τα περιουσιακά στοιχεία που διαθέτει προς διαπραγμάτευση, δηλαδή, τα δικαιώματα εκπομπής ρύπων.

Στην πρώτη φάση του προγράμματος το πρόστιμο για την μονάδα παραγωγής που δεν κατείχε αντίστοιχα δικαιώματα εκπομπής σε σχέση με τους ρύπους που είχε εκπέμψει ήταν 40 Ευρώ ανά τόνο εκπομπής αερίου, συν την αγορά ενός δικαιώματος την επόμενη περίοδο. Στην δεύτερη φάση συνέχισε η ίδια λογική μόνο που το πρόστιμο αυξήθηκε στα 100 Ευρώ ανά επιπλέον τόνο παραγωγής. Στην Τρίτη το πρόστιμο ξεκίνησε από τα 100 ευρώ και προσαρμόζεται στον ετήσιο ρυθμό του πληθωρισμού στην ευρωζώνη κάθε χρόνο. Επισημαίνουμε, ότι

η κάθε εταιρία που δεν κατείχε τόσους τίτλους, όσους δικαιούται βάση εκπομπών, εκτός από χρηματικές ποινές, αντιμετώπιζε και την ποινή της κακής φήμης μιας και οι εποπτικές αρχές δημοσίευαν το όνομά της. (Anon., n.d.)

2.5 Συμμετέχοντες στην Αγορά

Η μεγάλη ανάπτυξη των αγορών του άνθρακα έχει σαν αποτέλεσμα ένα πλήθος ομάδων συμμετεχόντων όπως εταιρίες διαχείρισης κεφαλαίων, χρηματιστές, εντολοδόχους και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Στην Ευρωπαϊκή αγορά γίνονται ευδιάκριτες δυο μεγάλες ομάδες παικτών. Η πρώτη ομάδα είναι οι εταιρίες που λαμβάνουν μέρος στο πρόγραμμα, δηλαδή οι ρυπαντές, και η δεύτερη κατηγορία είναι οι κάθε είδους χρηματοοικονομικοί διαμεσολαβητές που συμμετέχουν στην ανταλλαγή των δικαιωμάτων. Γενικά όμως όλες οι εταιρίες που είναι εγγεγραμμένες στα μητρώα της Ευρωπαϊκής Ένωσης ενταγμένες ή όχι στο πρόγραμμα μπορούν να συναλλάσσονται δικαιώματα εκπομπών, είτε απευθείας μεταξύ τους, είτε μέσω των διαμεσολαβητών.

Στην πρώτη κατηγορία οι εταιρίες που αριθμούνται περί των 11.000 μονάδων παραγωγής, που αναγκάζονται να συμμετέχουν στο πρόγραμμα και να δραστηριοποιούνται στην συναλλαγή των δικαιωμάτων για να καλύψουν τους ρύπους και να αποφύγουν τις κυρώσεις, διακρίνονται σε δυο κλάδους: α) στις εταιρίες ενεργειακής παραγωγής, που χρησιμοποιούν τα δικαιώματα των ρύπων για να εκπέμπουν ρύπους από τη επεξεργασία ορυκτών πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας και β) στις εταιρίες του βιομηχανικού κλάδου, οι οποίες καταναλώνουν ενέργεια για την παραγωγή αγαθών.

Στην δεύτερη κατηγορία, ανήκουν όλοι οι διαμεσολαβητές που συμμετέχουν στην συναλλαγή των δικαιωμάτων όπως χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, που παρέχουν πρόσβαση στην αγορά για τις εταιρίες της πρώτης κατηγορίας αναλαμβάνοντας μέρος του κινδύνου στην αγοραπωλησία εκπομπών και παρέχουν ρευστότητα στην αγορά, χρηματιστές και κερδοσκόποι που λειτουργούν προς ίδιον

συμφέρον, επενδυτικές τράπεζες που παρέχουν δυνατότητες επένδυσης στην αγορά και συμβουλευτικές υπηρεσίες στους πελάτες τους.

2.6 Πράσινη Ανάπτυξη

Μια από τις πτυχές του προγράμματος είναι και η διαδικασία των επενδύσεων πράσινης ανάπτυξης. Το πρόγραμμα στοχεύει στην επένδυση των εταιριών σε καθαρές τεχνολογίες, που ταυτοχρόνως θα διατηρούν την παραγωγικότητα και θα ελαττώνουν τις εκπομπές τους.

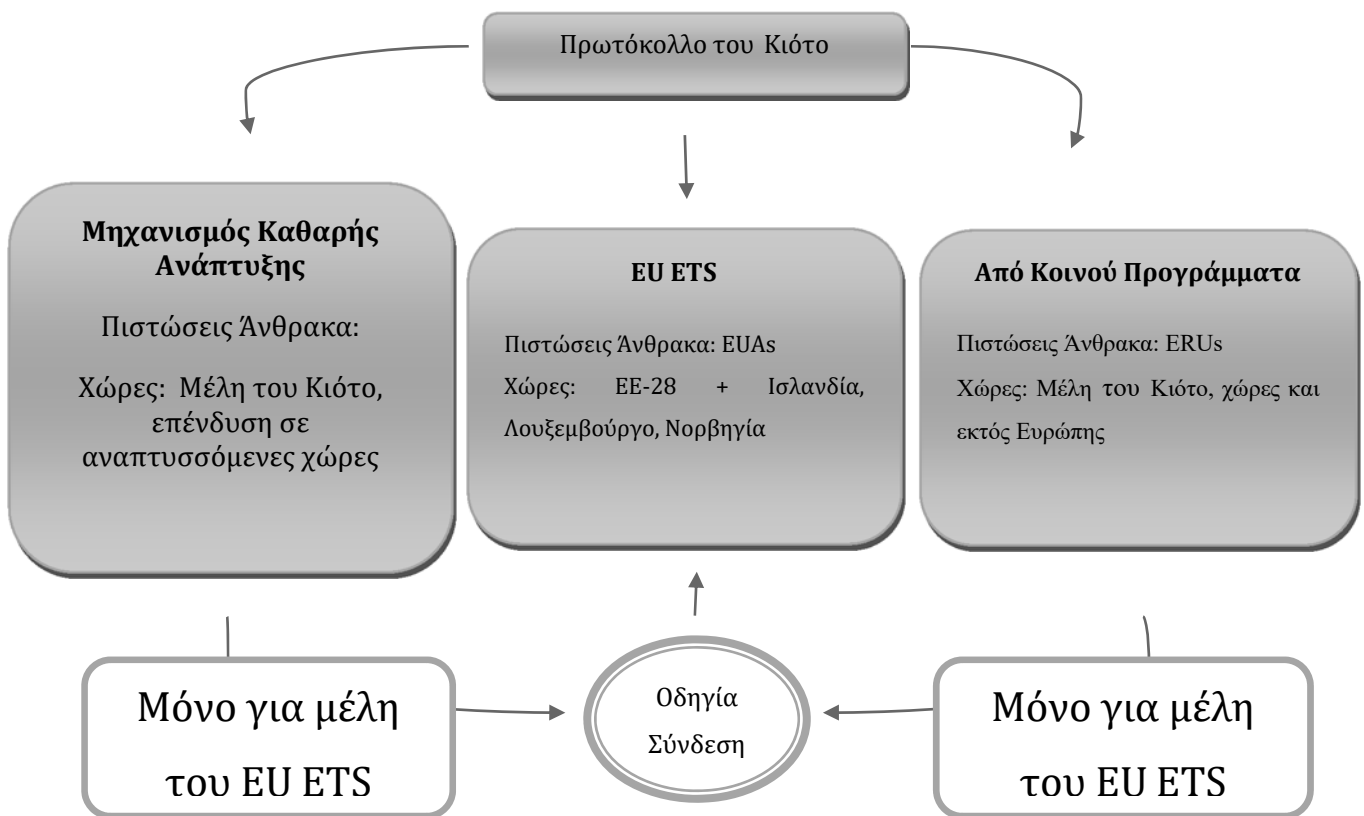
Τα δικαιώματα εκπομπών ρύπων ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία τίτλων που ονομάζονται πιστώσεις άνθρακα (carbon credits). Οι πιστώσεις άνθρακα ακολουθούν ίδια λογική με τα δικαιώματα εκπομπής, είναι και αυτοί τίτλοι που παρέχονται από εποπτικό μηχανισμό και συγκεκριμένα από τη *UNFCCC* του *ΟΗΕ*, και παρέχουν στους ρυπαντές το δικαίωμα εκπομπής ενός τόνου αερίου, ή άλλου ισοδύναμου. Οι πιστώσεις άνθρακα είναι η γενική ονομασία των δικαιωμάτων άνθρακα που έχουν ανταλλακτική δυνατότητα μεταξύ των μελών του Κιότο ή και σε συγκεκριμένες εθνικές αγορές που ονομάζονται αγορές άνθρακα (carbon markets).

Η *UNFCCC* μέσω του μηχανισμού του πρωτοκόλλου του Κιότο παρέχει πιστώσεις άνθρακα σε ρυπαντές οι οποίοι επενδύουν σε περιβαλλοντικά έργα ανά τον κόσμο, καλύπτοντας έτσι ποσοστό των δικών τους εκπομπών. Η λογική είναι ότι οι επενδύσεις σε πράσινη ανάπτυξη μπορούν να έχουν μικρότερο κόστος σε μη ανεπτυγμένες χώρες, και αφού η κλιματική αλλαγή είναι παγκόσμιο φαινόμενο, τα κίνητρα για μείωση των ρύπων πρέπει να γίνονται χωρίς γεωγραφικά κριτήρια. Έτσι, ένα εργοστάσιο που δραστηριοποιείται στην Ευρώπη και υπόκειται στον μηχανισμό του EU ETS κάνοντας μια πράσινη επένδυση σε μια αναπτυσσόμενη χώρα, όπως για παράδειγμα ένα αιολικό πάρκο ή ένα υδροηλεκτρικό φράγμα για παραγωγή ενέργειας αποτρέποντας τους ρύπους μιας άλλης εταιρίας ενέργειας με καύση ορυκτών πρώτων υλών, κερδίζει πιστώσεις

άνθρακα (carbon credits), τα οποία τα μετατρέπει νόμιμα σε δικά της δικαιώματα εκπομπής του EU ETS.

Το πρωτόκολλο του Κιότο χωρίζει τους μηχανισμούς σε δυο κατηγορίες: α) Τα προγράμματα από κοινού, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα σε κράτη που έχουν υπογράψει το πρωτόκολλο του Κιότο να κάνουν πράσινες επενδύσεις σε άλλες χώρες και να κερδίζουν πιστώσεις άνθρακα και β) το δεύτερο μηχανισμό που αποτελεί ειδική περίπτωση του πρώτου, με ονομασία μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης, και επιτρέπει σε ρυπαντές οι οποίοι έχουν περιορισμένες εκπομπές την επένδυση σε έργα φιλικά προς το περιβάλλον με σκοπό το κέρδος από επιπλέον πιστώσεις άνθρακα.

Εικόνα 2: Απλή Σχηματοποίηση των Μηχανισμών του Κιότο



2.7 Διεθνής Αγορά ρύπων

Μεγάλα βήματα έχουν γίνει σε παγκόσμια κλίμακα για την κοινή εφαρμογή των αγορών του άνθρακα γιατί, όπως προαναφέρθηκε, η αγορά της Ευρωπαϊκής ηπείρου μπορεί να είναι η μεγαλύτερη, αλλά δεν είναι η μόνη. Από τα μεγαλύτερα συστήματα ρύπων παρόμοια με αυτό της Ευρώπης έχει αναπτύξει η Ιαπωνία, η Αυστραλία, η Νέα Ζηλανδία, η Ελβετία και οι ΗΠΑ. Οι σκέψεις είναι ότι θα μπορούσε μια κοινή αγορά άνθρακα να προκύψει από τις συνδέσεις των cap and trade των αγορών. Η σύνδεση των συστημάτων αυτών αποφέρει πολλά οφέλη, καθώς επιτρέπει στους συμμετέχοντες άλλων χωρών να χρησιμοποιούν δικαιώματα εκπομπών ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα έχει προσφορά σε μεγαλύτερη ρευστότητα στην αγορά, σταθερότητα τιμών, μείωση του συνολικού κόστους της προσπάθειας ελάττωσης των παγκόσμιων ρύπων και θα αποτελέσει θεμέλιο λίθο στην διεθνή συνεργασία για την κλιματική αλλαγή. Το πρώτο βήμα έχει ήδη γίνει μεταξύ Ευρώπης και των χωρών αυτών.

Στην Κίνα το 2014 ξεκίνησε ένα τριετές έργο από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε στενή συνεργασία για την στήριξη του σχεδιασμού και της εφαρμογής της εμπορίας των εκπομπών. Στην Κορέα το σύστημα εκπομπών ξεκίνησε το 2015 και η Επιτροπή υποστηρίζει την Κορέα μέσω ενός σχεδίου τεχνικής βοήθειας για την υλοποίησή του. Η Ελβετία επίσης έχει υπογράψει για σύνδεση με το Ευρωπαϊκό σύστημα καθώς και με τους νομούς που το διέπουν.

2.8 Αερομεταφορές

Οι αερομεταφορές είναι ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος κλάδος που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει δράση για την μείωση των αεροπορικών εκπομπών στην Ευρώπη και συνεργάζεται με την διεθνή κοινότητα για την ανάπτυξη μέτρων παγκόσμιας εμβέλειας. Οι εκπομπές από τον κλάδο αυτό αποτελούν το 3% των εκπομπών στην ΕΕ και περισσότερο από 2% σε παγκόσμια κλίμακα. Για να καταδείξουμε την σημαντικότητα του προβλήματος αξίζει να τονίσουμε, ότι εάν ο κλάδος αυτός παρομοιάζονταν με

χώρα ρυπαντή θα κατατάσσονταν στις 10 πρώτες παγκοσμίως. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στον κλάδο αναμένεται μέχρι το 2020 να αγγίξουν το 70% υψηλότερα από ότι το 2005. Έτσι το 2012, καθυστερημένα συμπεριλήφθηκε στο πρόγραμμα cap and trade του EU ETS. Το σύστημα μέχρι στιγμής έχει βοηθήσει στην μείωση του αποτυπώματος άνθρακα στον κλάδο των αερομεταφορών κατά περισσότερο από 17 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Έτσι το 2016 ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO), παρά την αύξηση που προβλέπεται στον κλάδο τα επόμενα χρόνια, δεσμεύτηκε να περιορίσει την εκπομπή των αερίων με χρήση βιοκαυσίμων και με επενδύσεις σε τεχνολογίες που κάνουν τους κινητήρες να καίνε λιγότερο καύσιμο και συνεπώς να ρυπαίνουν λιγότερο. Μέχρι σήμερα 64 χώρες έχουν συμφωνήσει να συμμετάσχουν από το 2021 στην πειραματική φάση, όταν θα εφαρμοστεί ένα μέτρο που θα επιτρέπει στις εταιρίες να αγοράζουν μονάδες άνθρακα από άλλους οικονομικούς τομείς. (Anon., n.d.)

3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η αγορά του Συστήματος Ανταλλαγής Εκπομπών της ΕΕ είναι σχετικά πρόσφατη και με μικρό διάστημα λειτουργίας. Αυτό σημαίνει πως οι έρευνες πάνω στα δεδομένα της αγοράς είναι σε πρώιμο στάδιο. Τα παλαιότερα επιστημονικά άρθρα αφορούν την Πρώτη Φάση του προγράμματος για τα έτη 2005-2007, η οποία αποτελούσε δοκιμαστική περίοδο με ορισμένα λειτουργικά προβλήματα. Η Δεύτερη Φάση ολοκληρώθηκε στο τέλος του 2012, και η Τρίτη φάση είναι σε εξέλιξη. Επομένως, οι έρευνες εξ ολοκλήρου στην περίοδο της τρίτης φάσης δεν μπορούν να είναι εκτενείς.

Η μέχρι τώρα πλειονότητα των επιστημονικών άρθρων επικεντρώνεται στην εύρεση παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν την τιμή των δικαιωμάτων στην αγορά. Η αγορά αυτή είναι τεχνητή και οι τίτλοι της δεν έχουν φυσική ζήτηση από τους άμεσα ενδιαφερόμενους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τιμές να μην ακολουθούν τα γνωστά οικονομικά πρότυπα ισορροπίας, παρόλο που διαπραγματεύονται σε μια ελεύθερη αγορά και προκύπτουν μέσω των δυνάμεων της προσφοράς και της ζήτησης. Επομένως, πρωταρχικός στόχος των επιστημονικών ερευνών είναι να βρεθούν οι βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των τίτλων αυτών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει ποιοι ενεργειακοί παράγοντες διαμορφώνουν την τιμή στην Δεύτερη Φάση (2008-2012) του EU ETS, όπως έχουν αναπτυχθεί στην βιβλιογραφία και αν έχουν την ίδια σημαντικότητα στην Τρίτη Φάση (2013-2020).

Το πρώτο χρονικά επιστημονικό άρθρο αναφορικά με τους παράγοντες διαμόρφωσης τιμών στο EU ETS, που αποτέλεσε και θεμέλιο λίθο του θέματος, ήταν των Christiansen et al. (2005). Πριν την εκτενή λειτουργία της αγοράς, μέσω οικονομικής ανάλυσης (αρχών προσφοράς και ζήτησης) αναγνώρισαν τους ακόλουθους παράγοντες ως διαμορφωτές τιμής στο EU ETS: πολιτικές και θεσμικές αποφάσεις των αρχών, θεμελιώδη μεγέθη της αγοράς όπως ο δείκτης συνολικών εκπομπών προς το όριο εκπομπής ρύπων, οριακό κόστος αλλαγής τεχνολογίας της παραγωγικής διαδικασίας ως προς την ορυκτή πρώτη ύλη

καύσης, τα επίπεδα παραγωγής ενέργειας και βιομηχανίας και οι καιρικές συνθήκες.

Σημαντική είναι και η συμβολή των Mansanet-Bataller et al. (2007) που μελέτησαν βασικές ενεργειακές μεταβλητές και ακραίες καιρικές συνθήκες, οι οποίες θεωρούνται από παράγοντες της αγοράς, ως κύριες κατηγορίες διαμόρφωσης των τιμών δικαιωμάτων εκπομπής άνθρακα. Χρησιμοποίησαν οικονομετρικές τεχνικές χρονοσειρών με μεταβλητές τις τιμές και τις αποδόσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου, ενώ συμπεριέλαβαν ψευδό μεταβλητές για την επίδραση ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι η ηλεκτρική ενέργεια και οι καιρικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στις τιμές των δικαιωμάτων άνθρακα.

Σημαντική συνεισφορά στην βιβλιογραφία για τους παράγοντες που επιδρούν στην μεταβλητότητα των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής άνθρακα έχει ο Chevallier (2011a, 2011b). Έχοντας συγκεντρώσει την μέχρι τότε βιβλιογραφία ομαδοποιεί τους παράγοντες που έχουν επιρροή στα δικαιώματα εκπομπής σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη αφορά αποφάσεις των αρμόδιων αρχών της αγοράς. Ως τεχνητή αγορά, η οποιαδήποτε απόφαση των αρχών μπορεί να έχει αντίκτυπο στις τιμές και να οδηγήσει σε αλλαγές στην πορεία και στην τάση τους, δηλαδή σε ισχυρά structural breaks. Αυτή η κατηγορία προέκυψε από την Πρώτη Φάση, όπου η λανθασμένη υπερπροσφορά της αγοράς και η απαγόρευση αποθήκευσης και χρήσης δικαιωμάτων στην Δεύτερη Φάση, οδήγησαν σε κατάρρευση των τιμών. Η δεύτερη και πιο σημαντική κατηγορία αφορά τον ενεργειακό κλάδο και τις καιρικές συνθήκες. Οι επιχειρήσεις ρυπαίνουν, κυρίως, λόγω καύσης ορυκτών για την παραγωγή τους. Επομένως οι τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, και του κάρβουνου επηρεάζουν την παραγωγή και κατά συνέπεια τους ρύπους. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες αυξάνουν την ζήτηση και την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελεί ακόμα έναν παράγοντα επιρροής, και κατά συνέπεια αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας και τους ρύπους. Η τρίτη κατηγορία αφορά μακροοικονομικούς και χρηματοοικονομικούς παράγοντες. Η βιομηχανική παραγωγή, η έντονη

οικονομική ύφεση, αλλά και διάφορα μεγέθη της χρηματαγοράς μπορούν να επιδρούν στην τιμή των δικαιωμάτων εκπομπής σαν δείκτες συστηματικού κινδύνου.

Οι Alberola et al. (2007) ερευνούν παράγοντες διαμόρφωσης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ για την Πρώτη Φάση, λαμβάνοντας υπ' όψη στους οικονομετρικούς ελέγχους και την παρουσία των δύο θεσμικών ανακοινώσεων που συντάραξαν την αγορά. Επικεντρώνονται στις ισχυρές οικονομίες της Ευρωζώνης δηλαδή στις Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο. Αναλύουν το κατά πόσο οι τρέχουσες τιμές του EU ETS επηρεάζονται από ακραίες θερμοκρασίες του καιρού, τις τιμές των ενεργειακών καυσίμων, αλλά και από βασικούς παραγωγικούς κλάδους που καλύπτονται από το σύστημα όπως βιομηχανίες χαρτιού, γυαλιού, καύσης, χημικών, σιδήρου και χάλυβα.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία βασίζεται κατά μεγάλο ποσοστό στην εμπειρική έρευνα των Alberola et al. (2008). Το άρθρο τους στοχεύει στην μελέτη των ακόλουθων παραγόντων διαμόρφωσης τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ όπως τιμές του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του κάρβουνου και της ηλεκτρικής ενέργειας, το καθαρό περιθώριο κέρδους των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα και με φυσικό αέριο (clean dark, clean spark spreads), το οριακό κόστος αλλαγής πρώτης ύλης καύσης από κάρβουνο σε φυσικό αέριο, και οι ακραίες καιρικές θερμοκρασίες. Η συχνότητα των δεδομένων είναι ημερήσια για την Πρώτη Φάση χρησιμοποιώντας οικονομετρικά μοντέλα GARCH με την παρουσία δύο structural breaks, λόγω δυο ανακοινώσεων που προκάλεσαν την κατάρρευση της αγοράς, δείχνοντας έτσι, ότι οι ενεργειακοί παράγοντες και οι ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες έχουν στατιστική σημαντικότητα στην μεταβλητότητα των τιμών των δικαιωμάτων.

Ο Chevallier (2009) συνεχίζει τη σημαντική συμβολή του στο θέμα ερευνώντας την εμπειρική σχέση των δικαιωμάτων εκπομπής της ΕΕ με μακροοικονομικές και χρηματοοικονομικές μεταβλητές για τα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας της αγοράς. Χρησιμοποιώντας ετήσια μελλοντικά συμβόλαια για τις εκπομπές ήλεγξε τις σχέσεις τους με την ακόλουθη σειρά μεταβλητών: ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, αποδόσεις του κοινού μετοχικού χαρτοφυλακίου

Euronext100, το premium των πιστοληπτικά χειρότερων ομολόγων (“junk bond” premium), την απόδοση των τρίμηνων ομοσπονδιακών ομολόγων (US T-Bill rate) και τον δείκτη βασικών προϊόντων (commodity indicator) της Goldman Sachs, λόγω του ότι ακολουθεί την λογική ενός χαρτοφυλακίου αγοράς. Χρησιμοποιώντας μια σειρά από οικονομετρικά μοντέλα GARCH δείχνει ότι οι αποδόσεις των εκπομπών άνθρακα μπορούν ασθενώς να προβλεφθούν από τις μεταβλητές των μετοχικών και ομολογιακών αγορών. Όταν συμπεριλαμβάνει στην ανάλυση του το γεγονός της κατάρρευσης της αγοράς, τότε φαίνεται πως τα δικαιώματα έχουν πολύ μικρή συσχέτιση με τις χρηματοοικονομικές μεταβλητές. Οι τιμές των καυσίμων του πετρέλαιο και του φυσικού αερίου είναι ισχυρά σημαντικές στην έρευνα του.

Συνεχίζοντας ο Chevallier (2011) μελετά την μετάδοση των διεθνών σοκ στις τιμές των EUAs και των CERs. Επεξεργάζεται ένα τεράστιο σύνολο δεδομένων αποτελούμενων από 115 δείκτες αγαθών και χρηματαγοράς, χρησιμοποιώντας μια σειρά μοντέλων FAVAR (Factor-Augmented Vector Auto regressive). Τα αποτελέσματά του δείχνουν, ότι οι αγορές άνθρακα αντιδρούν αρνητικά στα εξωγενή παγκόσμια σοκ, με τα CERs να έχουν μεγαλύτερη αντίδραση από τα EUAs. Το πιο σημαντικό του εύρημα είναι, πως οι αγορές αγαθών συνεισφέρουν περισσότερο στη μεταβλητότητα των πιστώσεων άνθρακα σε σχέση με τις μακροαγορές και τις χρηματαγορές.

Οι Alberola et al. (2008b) επέκτειναν την ανάλυση των παραγόντων διαμόρφωσης τιμής του EU ETS. Επιπλέον των βιβλιογραφικά γνωστών ερμηνευτικών μεταβλητών των τιμών καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και ακραίων καιρικών συνθηκών, συμπεριέλαβαν στην ανάλυση τους ακόλουθους βιομηχανικούς τομείς: εγκαταστάσεις καύσεως, διυλιστήρια ορυκτού πετρελαίου, κλίβανους σπτάνθρακα, μεταλλευμάτων, σιδήρου και χαλυβουργίας, τσιμέντου, γυαλιού, κεραμικών και χαρτιού. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι οι αλλαγές στις τιμές των δικαιωμάτων οφείλονται στις ενεργειακές τιμές, στις ακραίες καιρικές θερμοκρασίες αλλά και σε τρεις βιομηχανικούς κλάδους που καλύπτονται από το EU ETS: του χαρτιού, του σιδήρου και των εγκαταστάσεων καύσης.

Οι Aatola et al. (2012) ερεύνησαν την συσχέτιση των EUAs του EU ETS με τιμές προϊόντων όπως: η ηλεκτρική ενέργεια, οι δείκτες ορυκτών καυσίμων, χαλυβουργίας και χαλκού, οι τιμές φυσικού αερίου, κάρβουνου και αργού πετρελαίου, ο δείκτης FTSE 350 και τα αποθέματα νερού και φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με χρήση οικονομετρικών μοντέλων GARCH και VAR για χρονοσειρές, διαπίστωσαν πως, οι τιμές των EUAs επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά από τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας του φυσικού αερίου και του κάρβουνου.

Οι Bredin και Muckley (2009) ελέγχουν ως παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των EUAs μεταβλητές οικονομικής ανάπτυξης, όπως η βιομηχανική παραγωγή στην Ευρωζώνη, οι ενεργειακές τιμές και οι ακραίες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, πραγματοποιούν σύγκριση της Πρώτης με την αρχή της Δεύτερης Φάσης του προγράμματος ελέγχοντας τους εξεταζόμενους παράγοντες διαμόρφωσης με τεχνικές συνολοκλήρωσης και αιτιότητας. Καταλήγουν στην σημαντικότητα όλων των μεταβλητών τους, στην εξέλιξη της τιμής των δικαιωμάτων, και στην διαφορετική εξέλιξη της τιμής στην Δεύτερη Φάση σε σύγκριση με την Πρώτη.

Οι Creti et al. (2012) συγκρίνουν την Πρώτη με την Δεύτερη Φάση εξετάζοντας ως παράγοντες διαμόρφωσης της αγοράς των ρύπων της ΕΕ τις τιμές ενεργειακών καυσίμων, το οριακό κόστος αλλαγής καύσης για μια παραγωγική μονάδα, και τον δείκτη τιμών μετοχών Eurostoxx50. Ακόμα, κάνουν χρήση οικονομετρικών τεχνικών συνολοκλήρωσης και αιτιότητας για να βρουν σχέσεις ισορροπίας της τιμής των πιστώσεων άνθρακα ανάμεσα στις δύο φάσεις. Βρίσκουν τέλος, ότι όλες οι μεταβλητές έχουν μακροπρόθεσμη προβλεψιμότητα για την Δεύτερη Φάση, με την αξία των EUAs να είναι υπερτιμημένη στην αρχή της Δεύτερης Φάσης και υποτιμημένη στο τέλος της.

Οι Keppler και Mansanet-Bataller (2010) συγκρίνουν τις σχέσεις μεταξύ των spot και forward τιμών άνθρακα στο EU ETS με μια ομάδα ενεργειακών μεταβλητών και ακραίων καιρικών συνθηκών για την Πρώτη Φάση (2005-2007) και τον πρώτο χρόνο της Δεύτερης (2008). Χρησιμοποιούν οικονομετρικούς ελέγχους για σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα τους δείχνουν ότι στην Πρώτη Φάση οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα τα futures του

άνθρακα, αλλά και έμμεσα, καθώς επιδρούν στα ενεργειακά καύσιμα φυσικού αερίου και κάρβουνου. Από αυτά επηρεάζονται τα αντίστοιχα περιθώρια κέρδους των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων και προκαλούν αιτιακά τις τιμές των futures του άνθρακα. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αποτέλεσμα επίδρασης των τιμών των δικαιωμάτων εκπομπής. Για το 2008 η τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζονται από τα ενεργειακά καύσιμα και τα περιθώρια κέρδους τους και προκαλούν αιτιακά τις τιμές των δικαιωμάτων εκπομπής.

4. Δεδομένα της Εμπειρικής Ανάλυσης

4.1 Ενεργειακές Μεταβλητές

Αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια ότι με κύριο γνώμονα την βιβλιογραφία, δηλαδή τις προγενέστερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο θέμα που μελετάμε, οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση της τιμής των πιστώσεων άνθρακα είναι το αργό πετρέλαιο, το μαζούτ, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο, η ηλεκτρική ενέργεια, και οι καιρικές συνθήκες. Αυτά τα αγαθά αποτελούν ενεργειακά εμπορεύματα (εκτός από τις καιρικές συνθήκες), σε αντίθεση με κάποιους χρηματοοικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν και αυτοί με την σειρά τους στην διαμόρφωση των τιμών των πιστώσεων άνθρακα όπως χρηματιστηριακοί δείκτες, χαρτοφυλάκιο αγοράς, χαρτοφυλάκιο μετοχών και εταιρικά ομόλογα.

Στην εργασία αυτή μετά από έρευνα γίνεται επιλογή συγκεκριμένων ενεργειακών εμπορευμάτων (*αργό πετρέλαιο, μαζούτ ακατέργαστο, φυσικό αέριο, βενζίνη, κηροζίνη, κάρβουνο*) χωρίς να γίνεται αναφορά σε χρηματοπιστωτικούς δείκτες, καθώς γίνεται και ανάλυση μιας μεταβλητής όπου μέχρι και σήμερα έχει αναλυθεί ελάχιστα, δηλαδή αυτή της *κηροζίνης* που χρησιμοποιείται στον κλάδο των αερομεταφορών, μίας και οι αερομεταφορές, όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ένας νέο εισερχόμενος κλάδος στο πρόγραμμα (μόλις το 2012) και θα απασχολήσει αρκετά τα επόμενα χρόνια, αφού οι στόχοι ολοένα και αυξάνονται.

Η χρονική περίοδος των τιμών και κατ' επέκταση των αποδόσεων των μεταβλητών που συγκεντρώθηκαν εντοπίζεται στο τέλος της δεύτερης φάσης του προγράμματος (2008-2012) και στην έως τώρα διάρκεια της τρίτης φάσης (2013-2020). Συγκεκριμένα οι τιμές αριθμούνται από την 1^η Μαρτίου του 2011 έως και την 29^η Δεκεμβρίου του 2017 με συνολικό αριθμό ημερήσιων παρατηρήσεων τις 1707 ανά μεταβλητή. Οι τιμές είναι στο νόμισμα που ανακτήθηκαν, καθώς έτσι η μεταβλητότητα θα μείνει επηρεασμένη στον ελάχιστο βαθμό για καλύτερα αποτελέσματα στις μετρήσεις μας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι η τιμή των πιστώσεων άνθρακα EUA στο ETS διαμορφώνεται σε διαφορετικές οργανωμένες αγορές, τρέχουσες και μελλοντικές, αλλά και σε *over the counter* αγορά με το πλεονέκτημα της τελευταίας την ρευστότητα, μιας και οι συναλλαγές που λαμβάνουν χώρα είναι αποκλειστικά από βιομηχανίες και από χρηματοοικονομικούς διαμεσολαβητές που υπάγονται στο σύστημα. Ενδεικτικά, η αγορά μελλοντικών συμβολαίων με την καλύτερη ρευστότητα είναι η European Energy Exchange, ενώ για τα τρέχοντα συμβόλαια η αγορά Powernext Carbon. (Alberola, (2008a))

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι μεταβλητές και οι πηγές τους που χρησιμοποιούνται στην εργασία.

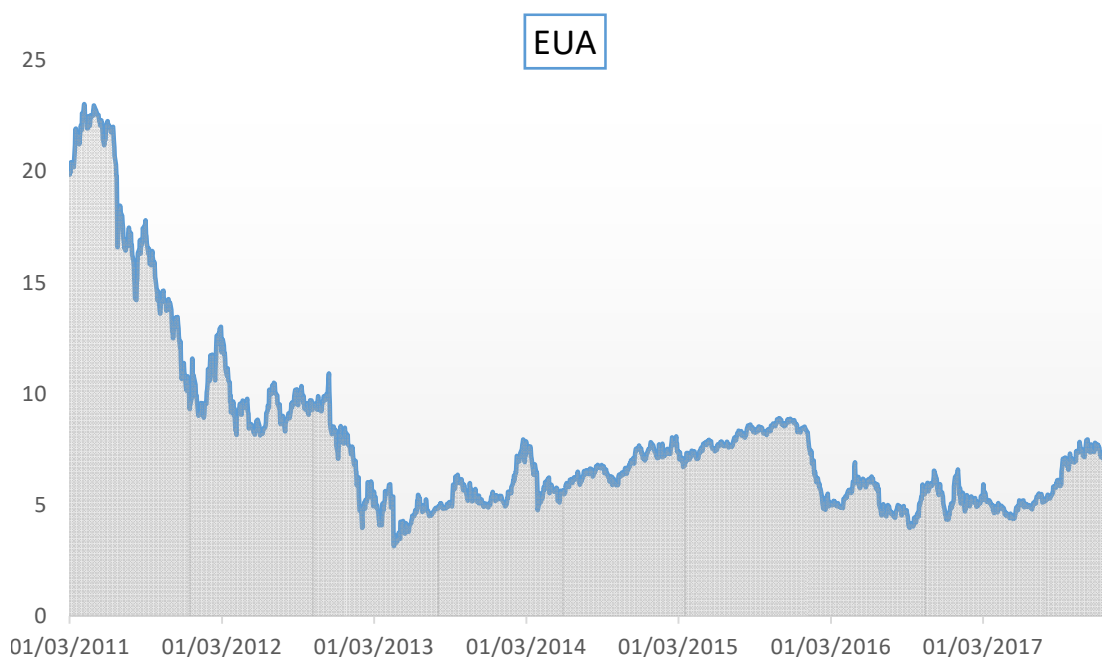
Πίνακας 4: Μεταβλητές της εμπειρικής ανάλυσης

Μεταβλητή	Πηγή
Πιστώσεις Άνθρακα	-investing.com
Αργό Πετρέλαιο	-investing.com
Φυσικό Αέριο	-investing.com
Μαζούτ	-investing.com
Κηροζίνη	-investing.com
Βενζίνη	-investing.com
Goal	-investing.com

Όπως αναφέραμε, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα σε €/τόνο CO₂ εκπομπής από τον 3/2011 έως 12/2017. Οι ενεργειακές μεταβλητές, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 4, θα χρησιμοποιηθούν ως πιθανοί παράγοντες διαμόρφωσης της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής. Εκτός από την μεταβλητή “Κηροζίνη” ως καύσιμο για αερομεταφορές “jet fuel”, που θα χρησιμοποιηθεί για πρώτη φορά σε εργασία με τόσο πρόσφατες μετρήσεις για να δείξει αν και το κατά πόσο επηρεάζει την τιμή των δικαιωμάτων των ρύπων, όλες οι άλλες μεταβλητές αποτέλεσαν βασικές

μεταβλητές σε όλες σχεδόν τις έρευνες που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση). Η τιμή του αργού πετρελαίου “Crude” μετράται σε \$/βαρέλι, και είναι η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα, όπως διαπραγματεύεται στην Intercontinental Futures Exchange αγορά. Η τιμή του ακατέργαστου πετρελαίου “Brent” μετράται σε \$/βαρέλι, και είναι η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα, όπως διαπραγματεύεται στην Intercontinental Futures Exchange αγορά. Η τιμή του φυσικού αερίου, που θα την χρησιμοποιήσουμε ως “Ngas” μετράται σε €/ MWh και είναι η ημερήσια τιμή μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα, όπως διαπραγματεύεται στο Ιαπωνικό NIKKEI 225. Η τιμή του κάρβουνου “Coal” διαπραγματεύεται σε € /τόνο και η τελευταία μεταβλητή κηροζίνη “Kero” μετράτε σε Γιέν/Γαλόνι είναι η ημερήσια τιμή των μελλοντικών συμβολαίων ενός μήνα, όπως διαπραγματεύεται επίσης στην Intercontinental Futures Exchange αγορά.

Εικόνα 3: Τιμή του Μηνιαίου EUA τα Έτη 2011-2017



Στην εικόνα 3 διακρίνουμε την εξέλιξη της τιμής του δικαιώματος εκπομπής άνθρακα που θα χρησιμοποιηθεί, όπως αυτό αντλήθηκε μέσα από τα δεδομένα. Με μια γρήγορη ματιά, διακρίνουμε την πτωτική πορεία των τιμών των

πιστώσεων άνθρακα στα τέλη της δεύτερης φάσης του προγράμματος με την τιμή από τα περίπου 24 ευρώ/τόνο να καταρρακιά μέσα σε λιγότερο από 2 χρόνια περίπου στα 6 ευρώ/τόνο, ενώ καθ' όλη την πορεία μέχρι σήμερα της τρίτης φάσης να κυμαίνεται ποιο σταθερά χωρίς τόσο μεγάλες διακυμάνσεις με μέσο όρο περίπου στα 7 ευρώ/τόνο.

4.2 Περιγραφικά Στατιστικά

Στον παρακάτω πίνακα 6 αναφέρονται τα περιγραφικά στατιστικά των τιμών των μεταβλητών που αναλύθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην διαδικασία μοντελοποίησης που θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Στην Οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι μεταβλητές (Eua, Brent, Crude, Ngas, Kero, Gas) ενώ στον κάθετο τα αποτελέσματα των περιγραφικών στοιχείων μέσος, διάμεσος, μέγιστο, ελάχιστο, τυπική απόκλιση, ασυμμετρία, κύρτωση, αριθμός παρατηρήσεων.

Πίνακας 5: Περιγραφικά Στατιστικά

	Eua	Brent	Crude	Ngas	Kero	Coal
Mean	8,00027	82,76535	74,01271	3,260924	58114,85	55.94824
Median	6,92	98,845	84,91	3,145	60515	55
Max	23,03	126,65	113,52	6,149	86370	79.75
Min	3,15	27,88	2,916	1,5553	5066,81	33.3
Std.Dev	4.087928	29.78962	25.27421	.759873	18824.83	10.81387
Skew	2.069051	-.1768115	-.174544	.2821144	-.964117	-.088339
Kurt	7.044801	1.287625	1.43453	2.620449	3.742142	2.61859
N	1702	1702	1702	1702	1702	1702

Std.Dev: Standard Deviation, Skew: Skewness, Kurt: Kurtosis, N: Observations

5. Οικονομετρική Ανάλυση

5. 1. Εισαγωγή στην Ανάλυση Χρονολογικών Σειρών

Χρονολογικές σειρές ή χρονοσειρές είναι ο κλάδος της οικονομετρίας που αναπτύχθηκε από την ανάγκη για μοντελοποίηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα οικονομικά δεδομένα. Στην οικονομική θεωρία οι μεταβλητές δεν επιδρούν ακαριαία, απαιτούν χρόνο και οι επιδράσεις τους παραμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Γι' αυτό αναπτύχθηκε ο κλάδος των χρονοσειρών. Γενικά, ως χρονοσειρά ορίζουμε μια ακολουθία αριθμητικών δεδομένων που αποτελούν παρατηρήσεις για συγκεκριμένα μεγέθη (οικονομικά, χρηματοοικονομικά κτλ.) και μετριοούνται ως συνάρτηση του χρόνου. Η συχνότητα αυτών των παρατηρήσεων μπορεί να είναι ετήσια, τριμηνιαία, μηνιαία, ημερήσια κτλ.

Οι χρονοσειρές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες με βάση τις στατιστικές ιδιότητες που παρουσιάζει ο μέσος, η διακύμανση και η συν διακύμανση των τιμών τους:

1. Μη στάσιμες χρονοσειρές. Καλούνται αυτές που οι στατιστικές τους ιδιότητες μεταβάλλονται με τον χρόνο, και η μοντελοποίηση τους οδηγεί σε πλασματικά συμπεράσματα, στην ουσία “ακυρώνει” τους οικονομετρικούς ελέγχους.
2. Στάσιμες χρονολογικές σειρές. Στάσιμη λέγεται μια χρονοσειρά όταν η τιμή της ταλαντεύεται εκατέρωθεν της μέσης τιμής της προσεγγιστικά, μέσα σε ένα σταθερό διάστημα και τείνει στην μέση τιμή της. Επομένως, μια χρονοσειρά $\{Y_t\}$, $t = 1, 2, \dots, T$, είναι στάσιμη αν:
 - i. Η μέση τιμή της σειράς είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται διαχρονικά:
$$E(Y_t) = E(Y_{t-1}) = \dots = E(Y_{t-T}) = \mu.$$
 - ii. Η διακύμανση της σειράς είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται διαχρονικά:
$$\text{Var}(Y_t) = \text{Var}(Y_{t-1}) = \dots = \text{Var}(Y_{t-T}) = \sigma^2 = \gamma_0.$$
 - iii. Η συν διακύμανση των τιμών της σειράς σε δύο χρονικά σημεία εξαρτάται μόνο από την απόσταση μεταξύ των δύο σημείων και όχι από τα χρονικά σημεία:
$$\text{Cov}(Y_t, Y_{t-i}) = \text{Cov}(Y_{(t-1)-i}, Y_{(t-2)-i}) = \dots = \text{Cov}(Y_{(t-T)}, Y_{(t-T)-i}) = \gamma_i.$$
 με i θετικό ακέραιο δείκτη της απόστασης μεταξύ των χρονικών στιγμών.

Τα μ , σ^2 και γ_i είναι πεπερασμένοι αριθμοί που δεν εξαρτώνται από τον χρόνο t .

Με βάση τον συντελεστή αυτοσυσχέτισης, μια χρονολογική σειρά είναι:

1. Στάσιμη, αν η τιμή του συντελεστή τείνει στο μηδέν όσο η χρονική υστέρηση τείνει στο άπειρο, δηλαδή, $\rho_i \rightarrow 0$ όσο $i \rightarrow \infty$.
2. Μη στάσιμη, αν η απόλυτη τιμή του συντελεστή τείνει στην μονάδα όσο η χρονική υστέρηση τείνει στο άπειρο, δηλαδή, $|\rho_i| \rightarrow \infty$ όσο $i \rightarrow \infty$.

Οι πιο απλές δυνατές αυτοσυσχέτισης προκύπτουν από μια στάσιμη διαδικασία με μη σχετιζόμενες τυχαίες μεταβλητές ως παρατηρήσεις. Μια τέτοια διαδικασία $\{e_t\}$ καλείται Λευκός Θόρυβος και έχει τις εξής ιδιότητες:

- $E(e_t) = 0$
- $\text{Var}(e_t) = \sigma^2$
- $\text{Cov}(e_t, e_{t-i}) = 0, i \neq 0$
- $\rho_0 = 1$
- $\rho_i = 0, i > 0$

5.1.1 Στοχαστικά Υποδείγματα

Η μεγαλύτερη και βασικότερη κατηγορία μοντέλων χρονολογικών σειρών είναι τα στοχαστικά υποδείγματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα υποδείγματα: Λευκού Θορύβου, Τυχαίας Διαδρομής, Αυτοπαλίνδρομα, Κινητού Μέσου και Αυτοπαλίνδρομα-Κινητού Μέσου.

i. Υποδείγματα Λευκού Θορύβου

Μία χρονοσειρά $\{Y_t\}$ αποτελεί στοχαστικό υπόδειγμα Λευκού Θορύβου (White Noise) αν χαρακτηρίζεται από τις εξής ιδιότητες:

- i. Η μέση τιμή της σειράς είναι σταθερή: $E(Y_t) = E(Y_{t+i}) = E(Y_{t-i}) = \mu$.
- ii. Η διακύμανση της σειράς είναι σταθερή: $\text{Var}(Y_t) = \text{Var}(Y_{t+i}) = \text{Var}(Y_{t-i}) = \sigma^2$.
- iii. Οι μερικοί συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι μηδενικοί:
 $\text{Cov}(Y_t, Y_{t+i}) = \text{Cov}(Y_t, Y_{t-i}) = 0$

Τα υποδείγματα Λευκού Θορύβου είναι πάντα στάσιμα, όμως λόγω του ότι αποτελούν τυχαία στοχαστικά υποδείγματα χωρίς ύπαρξη δυναμικών σχέσεων

μεταξύ των παρατηρήσεων, δεν επιδέχονται μοντελοποίησης. Η υπόθεση (ii) της γραμμικής παλινδρόμησης απαιτεί τα κατάλοιπα της να είναι λευκός θόρυβος, δηλαδή, τυχαίες αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες τιμές του υποδείγματος της παλινδρόμησης που δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν και η πληροφόρηση τους δεν περιέχεται σε καμία ανεξάρτητη μεταβλητή. Μια διαδικασία Λευκού Θορύβου $\{e_t\}$ μηδενικού μέσου, $e_t \sim WN(0, \sigma^2)$, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων χρονολογικών σειρών και στοχαστικών διαδικασιών.

ii. Υποδείγματα Τυχαίας Διαδρομής

Η στοχαστική διαδικασία μιας χρονοσειράς $\{Y_t\}$ χαρακτηρίζεται ως Τυχαία Διαδρομή (Random Walk) αν ισχύει ότι:

$$Y_t = Y_{t-1} + e_t$$

με $e_t \sim WN(0, \sigma^2)$. Οι παρατηρήσεις σε αυτής της κατηγορίας τα υποδείγματα είναι απόλυτα συσχετισμένες και η διακύμανση τους αυξάνεται με τον χρόνο. Γι' αυτούς τους λόγους είναι μη στάσιμα υποδείγματα. Επομένως, η οποιαδήποτε μοντελοποίηση είναι εσφαλμένη και οι οικονομετρικοί έλεγχοι είναι πλασματικοί.

iii. Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα AR (p)

Το απλούστερο υπόδειγμα εξάρτησης μεταξύ δύο διαδοχικών παρατηρήσεων μιας χρονοσειράς $\{Y_t\}$ είναι το εξής:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + e_t$$

με e_t διαδικασία λευκού θορύβου. Η παραπάνω διαδικασία καλείται Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα (Autoregressive) τάξης (1) ή AR(1) και είναι στάσιμη αν ισχύει ότι $|\alpha_1| < 1$. Η γενική μορφή του υποδείγματος καλείται Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα τάξης (p) ή AR(p) και είναι η εξής:

$$AR(p) = Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t$$

Με χρήση του τελεστή χρονικής υστέρησης L , που ορίζεται από την σχέση $L^i Y_t = Y_{t-i}$ και εκφράζει τις παρελθοντικές τιμές της χρονοσειράς, το υπόδειγμα μετασχηματίζεται στην μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 L Y_t + \alpha_2 L^2 Y_t + \dots + \alpha_p L^p Y_t + e_t \Leftrightarrow$$

$$(1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p) Y_t - \alpha_0 = e_t$$

Στην μορφή αυτή ορίζεται η χαρακτηριστική εξίσωση του παραπάνω αυτοπαλίνδρομου υποδείγματος ως $1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p = 0$ η οποία μας παρέχει πληροφορίες για την στασιμότητα του. Η πληροφορία για την στασιμότητα προέρχεται από τις ρίζες της χαρακτηριστικής εξίσωσης οι οποίες καλούνται χαρακτηριστικές ρίζες ϕ_i . Υπό την υπόθεση ότι $|L| > 1$ τότε αν $|\phi_i| > 1 \Rightarrow \sum_{i=1}^p \alpha_i < 1$ οπότε η σειρά δεν έχει μοναδιαία ρίζα και συνεπώς είναι στάσιμη.

iv. Υποδείγματα Κινητού Μέσου MA (q)

Αν για μια χρονοσειρά $\{Y_t\}$ υποθέσουμε, για λόγους θεωρητικούς, ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα άπειρης τάξης με φθίνοντες συντελεστές επιρροής:

$$AR(\infty) = Y_t = \alpha_0 - \alpha_1 Y_{t-1} - \alpha_1^2 Y_{t-2} - \dots + e_t$$

τότε αποδεικνύεται πως το υπόδειγμα αυτό μπορεί να γραφεί ως γραμμική συνάρτηση των τρεχόντων και των αμέσως προηγούμενων διαταραχών e_i :

$$Y_t = \alpha_0 + e_t + \beta_1 e_{t-1}$$

αυτή η διαδικασία καλείται Υπόδειγμα Κινητού Μέσου (Moving Average) τάξης 1 ή MA(1) και είναι πάντα στάσιμη, αφού αποτελεί γραμμικό συνδυασμό διαδικασιών λευκού θορύβου.

Ένα υπόδειγμα MA(1) μπορεί αντίστροφα να μετατραπεί σε ένα υπόδειγμα AR(∞) το οποίο θα είναι στάσιμο μόνο αν $|\beta_1| < 1$. Η συνθήκη αυτή ονομάζεται συνθήκη αντιστρεψιμότητας.

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω υποδείγματα βλέπουμε πως ένα σοκ e_t σε μια διαδικασία MA(1) επηρεάζει την Y_t σε δύο μόνο μελλοντικές χρονικές παρατηρήσεις, ενώ αντίστοιχα το ίδιο σοκ σε μια διαδικασία AR(∞) επηρεάζει όλες τις μελλοντικές χρονικές παρατηρήσεις με φθίνοντα, όμως, ρυθμό. Στην γενική της μορφή μια διαδικασία κινητού μέσου είναι:

$$Y_t = \alpha_0 + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \dots + \beta_q e_{t-q}$$

και καλείται Υπόδειγμα Κινητού Μέσου (Moving Average) τάξης q ή MA(q).

v. Αυτοπαλίνδρομα – Κινητού Μέσου Υποδείγματα ARMA (p,q)

Για καλύτερη μοντελοποίηση μιας χρονολογικής σειράς $\{Y_t\}$ μπορούν να συνδυαστούν το αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα μαζί με του κινητού μέσου σε ένα ARMA(p,q) μοντέλο με την εξής γενική μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \dots + \beta_q e_{t-q}$$

Με χρήση του τελεστή χρονικής υστέρησης το υπόδειγμα μπορεί να γραφτεί σε πιο συνοπτική μορφή:

$$A(L)Y_t = B(L)e_t$$

με

$$A(L) = 1 - \alpha_1 L - \alpha_2 L^2 - \dots - \alpha_p L^p$$

$$B(L) = 1 - \beta_1 L - \beta_2 L^2 - \dots - \beta_q L^q$$

Για την στασιμότητα του υποδείματος απαιτείται οι χαρακτηριστικές ρίζες του πολυωνύμου $A(L)$ να είναι εκτός του μοναδιαίου κύκλου, δηλαδή σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερες της μονάδας. Η ίδια συνθήκη πρέπει να ισχύει για το πολυώνυμο $B(L)$ έτσι ώστε το υπόδειγμα να αντιστρέφεται.

Για να εντοπιστεί σε ποια από τις παραπάνω κατηγορίες στοχαστικών υποδειγμάτων ανήκει μια χρονοσειρά, ώστε να μοντελοποιηθεί κατάλληλα, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των Box και Jenkins (1976). Με βάση την μεθοδολογία αυτή οι πληροφορίες που χρειάζονται για την εξακρίβωση της διαδικασίας που ακολουθεί μια χρονοσειρά παρέχονται από τα διαγράμματα

αυτοσυσχέτισης (AC) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PAC) της. Ο παρακάτω Πίνακας 5 παρουσιάζει μια συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας των Box και Jenkins.

Πίνακας 6: Μεθοδολογία των Box και Jenkins

Σχήμα Συνάρτησης Αυτοσυσχέτισης AC	Ενδεικτικό Υπόδειγμα
Εκθετικά μειούμενη προς το μηδέν	AR, η τάξη του συμπεραίνεται από τις ακραίες τιμές του PAC
Θετικές και Αρνητικές τιμές με μείωση προς το μηδέν	AR, η τάξη του συμπεραίνεται από τις ακραίες τιμές του PAC
Μία ή περισσότερες ακραίες τιμές και οι υπόλοιπες σχεδόν μηδενικές	MA, η τάξη του συμπεραίνεται εκεί που μηδενίζονται οι τιμές του AC
Μείωση μετά από χρονικές υστερήσεις	ARMA
Όλες οι τιμές σχεδόν μηδέν	Τυχαίο υπόδειγμα, δεν επιδέχεται μοντελοποίησης
Υψηλές τιμές ανά διαστήματα	Περιοδικότητα, η σειρά περιέχει περιοδικό αυτοπαλίνδρομο όρο
Χωρίς μείωση προς το μηδέν	Μη στάσιμη χρονοσειρά

5.1.2 Υποδείγματα Υπό Συνθήκη Ετεροσκεδαστικότητας

Τα υποδείγματα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους υποθέτουν ότι οι όροι σφάλματος στις εκτιμήσεις έχουν σταθερή διακύμανση, δηλαδή είναι ομοσκεδαστικοί. Στην πραγματικότητα οι χρονοσειρές υψηλής συχνότητας τείνουν να εμφανίζουν μη σταθερή διακύμανση. Συγκεκριμένα εμφανίζεται το φαινόμενο της ομαδοποιημένης διακύμανσης, δηλαδή μικρά και μεγάλα σφάλματα τείνουν να εμφανίζονται ανά ομάδες. Για να μπορέσουν να εξηγηθούν αυτά τα φαινόμενα και να υπάρξουν ακριβέστερες εκτιμήσεις των υποδειγμάτων, ο Engle (1982) εισήγαγε τα υποδείγματα δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας.

i. Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Δεσμευμένης Ετεροσκεδαστικότητας ARCH (p)

Ο Engle (1982) για να εξηγήσει τις διακυμάνσεις στον πληθωρισμό της Μεγάλης Βρετανίας, χρησιμοποίησε ένα υπόδειγμα στο οποίο, επιπλέον της βασικής

εξίσωσης παλινδρόμησης εκτιμάται και μια ακόμη εξίσωση που δείχνει την εξάρτηση της διακύμανσης του διαταρακτικού όρου, της βασικής παλινδρόμησης, από τις παρελθοντικές τιμές του. Αποτελεί, δηλαδή, μια αυτοπαλίνδρομη εξίσωση της διακύμανσης των σφαλμάτων από τις παρελθοντικές τιμές τους. Το υπόδειγμα αναπτύσσεται γύρω από μια στάσιμη χρονοσειρά Y_t :

$$Y_t = \mu + u_t$$

όπου μ είναι ο μέσος της χρονοσειράς, που μπορεί να περιλαμβάνει ένα υπόδειγμα χρονοσειρών, όπως εκείνα που έχουν ήδη αναλυθεί, με μια σειρά από ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο διαταρακτικός όρος u_t αποτελεί μια ανεξάρτητη και ταυτόνομη (IID) μεταβλητή με μέσο μηδέν. Η υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα του διαταρακτικού όρου εκφράζεται ως αυτοπαλίνδρομη εξάρτηση της διακύμανσης του από τις p παρελθοντικές τιμές του ως εξής:

$$\sigma_{u_t}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2 \quad (1)$$

Εν συντομία το υπόδειγμα γράφεται ως ARCH(p) - Autoregressive Conditional Heteroscedasticity - και εκφράζεται ως:

$$Y_t = \mu + u_t$$

$$u_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\sigma_{u_t}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p u_{t-p}^2$$

όπου ε_t είναι μια κανονικής κατανομής IID τυχαία μεταβλητή.

ii. Γενικό Αυτοπαλίνδρομο Υπόδειγμα Δεσμευμένης Ετεροσκεδαστικότητας GARCH (p,q)

Ο Bollerslev (1986) επέκτεινε τα υποδείγματα ARCH προτείνοντας μια γενική δομή τους η οποία θα μπορούσε να περιγραφεί με την δομή ενός υποδείματος ARMA. Έτσι προκύπτουν τα γενικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας ή εν συντομία GARCH (Generalized ARCH).

Στην γενική μορφή των ARCH η εξίσωση της διακύμανσης του διαταρακτικού όρου αντικαθιστάται από την ακόλουθη:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Η εξίσωση αυτή εκφράζει ένα GARCH (p,q) υπόδειγμα. Αν το πλήθος q των υστερήσεων της διακύμανσης των σφαλμάτων είναι μηδέν, τότε το υπόδειγμα γίνεται ARCH. Είναι προφανές, ότι οι εκτιμήσεις των όρων α_i και β_j πρέπει να είναι θετικές λόγω του θετικού προσήμου της διακύμανσης. Σύμφωνα με το παραπάνω υπόδειγμα η υπό συνθήκη διακύμανση του διαταρακτικού όρου εξαρτάται από τα τετράγωνα του όρου για p παρελθοντικές περιόδους και από τις q παρελθοντικές υπό συνθήκη διακυμάνσεις. Το πιο συνηθισμένο και το πιο αντιπροσωπευτικό υπόδειγμα στην εμπειρική βιβλιογραφία είναι το GARCH (1,1):

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

5.1.3 Έλεγχοι Μοναδιαίας Ρίζας και Βαθμός Ολοκλήρωσης

Αν υποθέσουμε μια χρονολογική σειρά που είναι στην μορφή:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + u_t, \text{ με } u_t = \rho u_{t-1} + e_t$$

Οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας βασίζονται στον έλεγχο μιας μηδενικής υπόθεσης ότι $H_0: \rho = 1$ με την εναλλακτική $H_1: \rho < 1$. Η ονομασία τους προέρχεται από τον λόγο ότι η μηδενική τους υπόθεση ελέγχει την ισότητα της ρίζας του χαρακτηριστικού πολυωνύμου με την μονάδα. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, μια χρονοσειρά με μοναδιαία ρίζα είναι μη στάσιμη. Για τον λόγο αυτό οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μέθοδο για τον έλεγχο της στασιμότητας μιας χρονοσειράς. Οι κυριότεροι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας είναι οι ακόλουθοι:

I. Έλεγχος Dickey-Fuller

Έστω ότι η χρονοσειρά $\{Y_t\}$ ακολουθεί το υπόδειγμα:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \Leftrightarrow \Delta Y_t = (1-\rho)Y_{t-1} + u_t$$

με $u_t \sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$, δηλαδή ακολουθία τυχαίων μεταβλητών. Αν εκτιμηθεί το παραπάνω υπόδειγμα με OLS και βρεθεί ότι $\rho = 1$ τότε συμπεραίνουμε πως η χρονοσειρά έχει μοναδιαία ρίζα και συνεπώς δεν είναι στάσιμη. Δηλαδή, ό έλεγχος συνοψίζεται στις υποθέσεις $H_0: \rho = 1$ έναντι $H_1: \rho < 1$.

II. Επαυξημένος Έλεγχος Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller)

Αποτελεί γενικευμένη περίπτωση του DF ελέγχου με την διαφορά ότι ο ADF περιλαμβάνει έναν αριθμό υστερήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής Y_t σκοπός των οποίων είναι η διόρθωση για τυχόν λανθασμένη εξειδίκευση του υποδείγματος. Η γενική μορφή του είναι:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^s \Delta Y_{t-i} + u_t$$

με $\delta = \rho - 1$ και t : δείκτης χρόνου. Ο έλεγχος επικεντρώνεται στην στατιστική σημαντικότητα του συντελεστή δ και επομένως, αν η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί, τότε η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη.

Ο πρώτος έλεγχος που πρέπει να γίνει για την μοντελοποίηση μιας χρονοσειράς είναι να βρεθεί ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών της. Δηλαδή, πρέπει να βρεθούν οι ρίζες του χαρακτηριστικού πολυωνύμου της. Ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών του χαρακτηριστικού πολυωνύμου είναι και ο αριθμός των διαφορών που θα πρέπει να εφαρμόσουμε στις παρατηρήσεις της χρονοσειράς για να μετατραπεί σε στάσιμη.

Μια χρονοσειρά $\{Y_t\}$ αν έχει ρ μοναδιαίες ρίζες τότε είναι ολοκληρωμένη βαθμού ρ και συμβολίζεται ως $Y_t \rightarrow I(\rho)$, ενώ εάν η χρονοσειρά είναι στάσιμη συμβολίζεται ως $Y_t \rightarrow I(0)$. Ο αριθμός των μοναδιαίων ριζών μιας χρονοσειράς ονομάζεται βαθμός ολοκλήρωσης της. Για την μοντελοποίηση μιας χρονοσειράς, εάν δεν είναι στάσιμη, πρώτα βρίσκουμε τον βαθμό ολοκλήρωσης της και έπειτα την εκφράζουμε σε μορφή διαφορών, δηλαδή με βαθμό ολοκλήρωσης ρ η Y_t εκφράζεται ως:

$$\Delta^\rho Y_t = Y_{t-\rho} - Y_{(t-\rho)-1}$$

με Δ^p συμβολίζεται ο τελεστής διαφορών. Για πολυμεταβλητή παλινδρόμηση απαιτείται να βρούμε τον βαθμό ολοκλήρωσης όλων των μεταβλητών και να εκφραστούν σε μορφή διαφορών ως προς τον μέγιστο βαθμό.

5.1.4 Έλεγχοι για εσφαλμένα αποτελέσματα

Μία από τις υποθέσεις της εκτίμησης ελαχίστων τετραγώνων είναι ότι τα κατάλοιπα της παλινδρόμησης χαρακτηρίζονται από μη αυτοσυσχέτιση και ομοσκεδαστικότητα (ίδια διακύμανση για όλες τις παρατηρήσεις). Αν σε μια παλινδρόμηση τα κατάλοιπα αυτοσυσχετίζονται ή έχουν διαφορετική διακύμανση, τότε τα αποτελέσματα είναι εσφαλμένα. Οι εκτιμητές των συντελεστών βήτα είναι σωστοί, όμως τα τυπικά σφάλματα των εκτιμητών είναι λανθασμένα υπολογισμένα. Με συνέπεια οι t-έλεγχοι, οι F-έλεγχοι και οι αντίστοιχες πιθανότητες τους να είναι λάθος, και η παλινδρόμηση να μην έχει αξιόπιστα αποτελέσματα, όσον αφορά τη στατιστική σημαντικότητα των εκτιμητών.

Η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα ελέγχεται με τον Breusch–Godfrey έλεγχο. Η ομοσκεδαστικότητα ελέγχεται με τον Breusch–Pagan έλεγχο ή τον έλεγχο ARCH. Η χρήση υστερήσεων (lags) της εξαρτημένης μεταβλητής διορθώνει την τυχόν ύπαρξη αυτοσυσχέτισης, ενώ η ετεροσκεδαστικότητα μπορεί να διορθωθεί με χρήση υποδειγμάτων ARCH. Εναλλακτικά, η χρήση του εκτιμητή Newey-West διορθώνει και τα δύο προβλήματα.

I. Breusch-Godfrey έλεγχος

Έστω ότι έχουμε το ακόλουθο γραμμικό υπόδειγμα,

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$$

Ο έλεγχος Breusch-Godfrey (Breusch, Godfrey, 1978) εξετάζει την αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων για τις p υστερήσεις,

$$\varepsilon_t = c_1 \varepsilon_{t-1} + c_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + c_p \varepsilon_{t-p} + u_t$$

για την υπόθεση: $H_0: c_1 = c_2 = \dots = c_p = 0$ (μη ύπαρξη αυτοσυσχέτισης). Η εναλλακτική είναι η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης τάξης p .

II. Breusch-Pagan έλεγχος

Στο ίδιο γραμμικό υπόδειγμα,

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$$

Ο έλεγχος Breusch-Pagan (Breusch & Pagan, 1979) εξετάζει την ομοσκεδαστικότητα των καταλοίπων μέσω της παλινδρόμησης,

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 z_t + u_t$$

όπου, $z_t = [\hat{\varepsilon}_{t-1}^2, \dots, \hat{\varepsilon}_{t-p}^2]$, για την υπόθεση: $H_0: \alpha_1 = 0$ (ομοσκεδαστικότητα). Η εναλλακτική είναι η ετεροσκεδαστικότητα (μη σταθερή διακύμανση στα κατάλοιπα).

III. Έλεγχος για ARCH υπόδειγμα

Στο γραμμικό υπόδειγμα,

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_t^2)$$

$$\text{με } \sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

ο έλεγχος για ARCH υπόδειγμα εξετάζει μέσω της παλινδρόμησης,

$$\hat{\varepsilon}_t^2 = c_0 + c_1 \hat{\varepsilon}_{t-1}^2 + \dots + c_p \hat{\varepsilon}_{t-p}^2 + u_t$$

για την υπόθεση $H_0: c_1 = c_2 = \dots = c_p = 0$ (όχι ARCH). Η εναλλακτική είναι η ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητα στα κατάλοιπα και η ανάγκη για χρήση μοντέλων (G)ARCH.

IV. Newey-West εκτιμητής

Στο γραμμικό υπόδειγμα,

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$$

οι Newey-West (1987) πρότειναν τη χρήση ενός εκτιμητή τυπικών σφαλμάτων που διορθώνει την ύπαρξη αυτοσυσχέτισης και ετεροσκεδαστικότητα στα κατάλοιπα. ο εκτιμητής αυτός για τη διακύμανση του συντελεστή β είναι,

$$\widehat{\text{Var}}(\beta) = (X'X)^{-1}(X'SX)(X'X)^{-1}$$

όπου το στοιχείο (i,j) του πίνακα S ορίζεται ως $S_{ij} = w_{|i-j|} e_i e_j$ με

$$w_k = \begin{cases} 1 - \frac{k}{L+1} & \text{αν } k < L + 1 \\ 0 & \text{αν } k \geq L + 1 \end{cases}$$

με $L = T^{1/4}$, όπου T το μέγεθος του δείγματος.

5.2 Μεθοδολογία της Εργασίας

Έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια ότι σκοπός της εργασίας είναι μέσα από συγκεκριμένες ενεργειακές μεταβλητές που έχουν αναλυθεί από την βιβλιογραφία που αναλύθηκαν να ελέγξουμε κατά πόσο έχουν επηρεάσει το ποσοστό της απόδοσης των πιστώσεων άνθρακα EU ETS για την δεύτερη και τρίτη φάση του προγράμματος. Η απόδοση στις χρηματοοικονομικές χρονοσειρές υπολογίζεται ως η ποσοστιαία μεταβολή στην τιμή δυο διαδοχικών χρονικών περιόδων:

$$\% \Delta EUA_t = \frac{EUA_t - EUA_{t-1}}{EUA_{t-1}}$$

Ισοδύναμος υπολογισμός των αποδόσεων γίνεται με χρήση του νεπέριου λογαρίθμου:

$$\% \Delta EUA_t = \ln EUA_t - \ln EUA_{t-1}$$

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι με τον παραπάνω υπολογισμό αποδόσεων αν η χρονοσειρά της τιμής περιέχει μια μοναδιαία ρίζα, τότε οι αποδόσεις είναι στάσιμες. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι διαφορές των λογαρίθμων των τιμών για τον υπολογισμό της απόδοσης που θα αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή. Στην συνέχεια ερευνάται ο βαθμός ολοκλήρωσης της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών αφού μετατραπύνε σε στάσιμες για την εκτίμηση των υποδειγμάτων. Στις στάσιμες πλέον μεταβλητές ελέγχεται η συσχέτιση μεταξύ τους που θα προκαλέσει πολυσυγγραμμικότητα. Ερευνάται το βέλτιστο υπόδειγμα που θα χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τη μέθοδο των Box-Jenkins και σε αυτό γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι για ετεροσκεδαστικότητα και αυτοσυσχέτιση στα κατάλοιπα. Χρησιμοποιείται ο εκτιμητής Newey-West στις εκτιμήσεις των τυπικών σφαλμάτων για τη διόρθωση των παραπάνω προβλημάτων στα κατάλοιπα, όπως και στους Alberola, et al.(2008a). Ακολουθώντας την έρευνα τους εκτιμάται ένα υπόδειγμα GARCH που μας δίνει καλύτερη ανάλυση στη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής μας.

6. Αποτελέσματα της εμπειρικής ανάλυσης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οικονομετρικής ανάλυσης πάνω στα EUAs και στις ανεξάρτητες μεταβλητές, που έχουν περιγραφεί, για να εντοπιστούν ποιες από αυτές επηρέασαν την απόδοση των δικαιωμάτων στην δεύτερη και τρίτη περίοδο του EU ETS. Στην πρώτη ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που έχουν παρουσιάσει οι προηγούμενες έρευνες της βιβλιογραφίας, για την επιρροή που είχαν οι συγκεκριμένες ανεξάρτητες μεταβλητές στην τιμή των πιστώσεων άνθρακα. Στην δεύτερη ενότητα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, με το συγκεκριμένο δείγμα και την συγκεκριμένη μεθοδολογία που έχουν αναλυθεί. Τέλος, στην τρίτη ενότητα συγκρίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης με εκείνα της βιβλιογραφίας για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

6.1. Αποτελέσματα της Βιβλιογραφίας

Στον Πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των μεταβλητών της παρούσας εργασίας στην διαμόρφωση της τιμής των EUAs, όπως προκύπτουν από προηγούμενες έρευνες. Συγκεκριμένα, αναφέρεται το πρόσημο της επιρροής των ανεξάρτητων μεταβλητών καθώς και η στατιστική σημαντικότητα της επιρροής τους.

Πίνακας 7: Βιβλιογραφικά Αποτελέσματα για την Επιρροή των Μεταβλητών στην Εξέλιξη της Τιμής των EUA 's.

Μεταβλητή	Πρόσημο Επιρροής	Στατιστική Σημαντικότητα
Brent	Θετικό	Ναι
Crude	Θετικό	Ναι
Ngas	Θετικό	Ναι
Gas	-	-
Kero	-	-
Coal	Αρνητικό	Ναι

Όσον αφορά τις ενεργειακές μεταβλητές, ο Chevallier (2009) δείχνει πως τα εμπορεύματα του αργού πετρελαίου (Brent/Crude/Gas) και του φυσικού αερίου (Ngas) είναι στατιστικά σημαντικά στην διαμόρφωση της τιμής των EUAs με θετικό πρόσημο επιρροής. Αντίστοιχα, οι Alberola, Chevallier και Chéze (2008a) δείχνουν πως η χρονοσειρά εμπορευμάτων του κάρβουνου (Coal) είναι στατιστικά σημαντική με αρνητικό πρόσημο.

6.2. Αποτελέσματα της Οικονομετρικής Ανάλυσης

Όπως έχει αναφερθεί η εξαρτημένη μεταβλητή, τις μεταβολές τις οποίες ερευνούμε, είναι ο λογάριθμος των EUAs που σε πρώτες διαφορές μας δίνει την απόδοση των δικαιωμάτων. Για συντομία στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα αναφέρεται ως **Eua**. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές θα αναφέρονται ως εξής: **Crude** (αργό πετρέλαιο), **Brent** (μαζούτ ακατέργαστο), **Ngas** (φυσικό αέριο), **Coal** (κάρβουνο), **Gas** (Βενζίνη), **Kero** (Κηροζίνη). Στους πίνακες των αποτελεσμάτων το σύμβολο (***) δηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 1%, το (**) δηλώνει σημαντικότητα σε επίπεδο 5% και το (*) σημαντικότητα σε επίπεδο 10%.

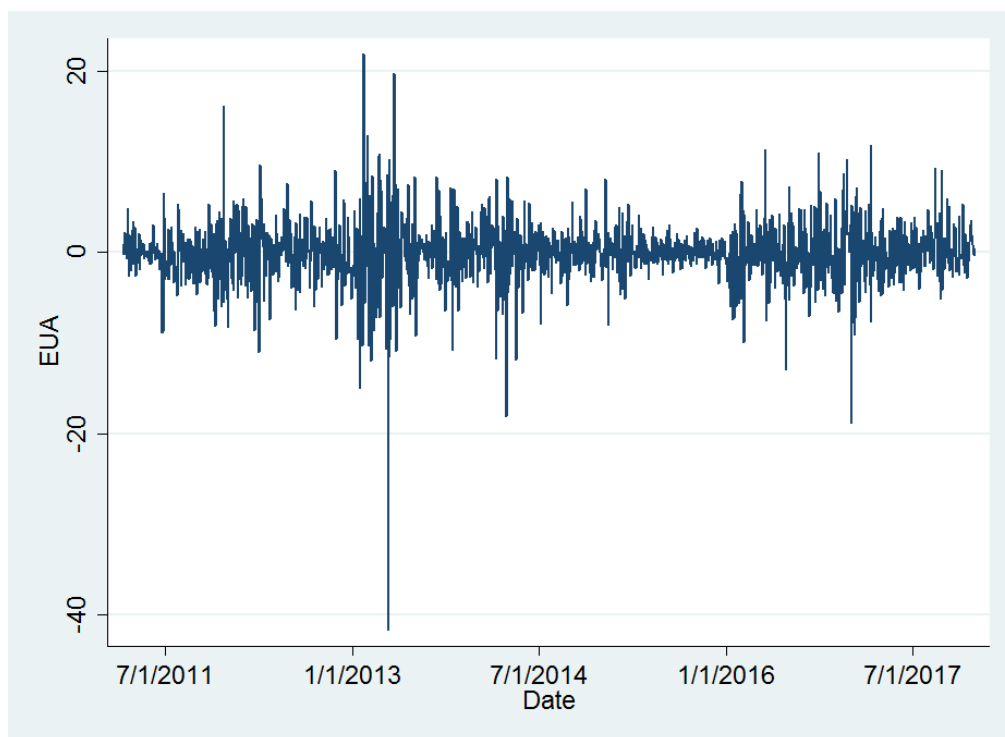
Πίνακας 8: Έλεγχος Augmented Dickey-Fuller για τον Βαθμό Ολοκλήρωσης

Μεταβλητές	Augmented Dickey-Fuller Έλεγχος		Μηδενική Υπόθεση: Μοναδιαία Ρίζα		
	Τιμές		Πρώτες Διαφορές		Βαθμός Ολοκλήρωσης
	t-stat	p-value	t-stat	p-value	I(1)
Eua	-2.320	0.4429	-20.567	0.000***	I(1)
Brent	-1.320	0.8829	-20.461	0.000***	I(1)
Crude	-1.554	0.8100	-20.853	0.000***	I(1)
Gas	-2.095	0.5487	-20.949	0.000***	I(1)
Ngas	-2.675	0.2465	-21.492	0.000***	I(1)
Coal	-1.112	0.9271	-19.547	0.000***	I(1)
Kero	-1.600	0.7925	-32.247	0.000***	I(1)

Σε όλες τις μεταβλητές, χρησιμοποιούνται λογαριθμικές πρώτες διαφορές για να γίνουν αποδόσεις και στάσιμες, έτσι ώστε οι οικονομετρικές τεχνικές που θα

πραγματοποιηθούν στην συνέχεια, να μην προσφέρουν πλασματικά αποτελέσματα. Επομένως, όλες οι μεταβλητές που εμφανίζονται στα επόμενα αποτελέσματα έχουν μετατραπεί σε στάσιμες και είναι $I(0)$. Οι αποδόσεις του EUA που θα χρησιμοποιήσουμε ως εξαρτημένη μεταβλητή φαίνονται στην εικόνα 4.

Εικόνα 4: Αποδόσεις EUA



Το επόμενο βήμα είναι να ελεγχθούν οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ όλων των μεταβλητών του δείγματος. Όλες οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών είναι θετικές, εκτός της κηροζίνης με το κάρβουνο και την βενζίνη. Η μεγαλύτερη συσχέτιση των δικαιωμάτων εκπομπής, παρατηρείται με τις τιμές των πετρελαίων Brent (0.1677) και Crude (0.1640). Στις ανεξάρτητες μεταβλητές, η μόνη υψηλές συσχετίσεις είναι μεταξύ των προαναφερθέντων τιμών των δυο πετρελαίων Brent και Crude (0.8910), μεταξύ Brent-Gas (0.7225) και Crude-Gas (0.6644).

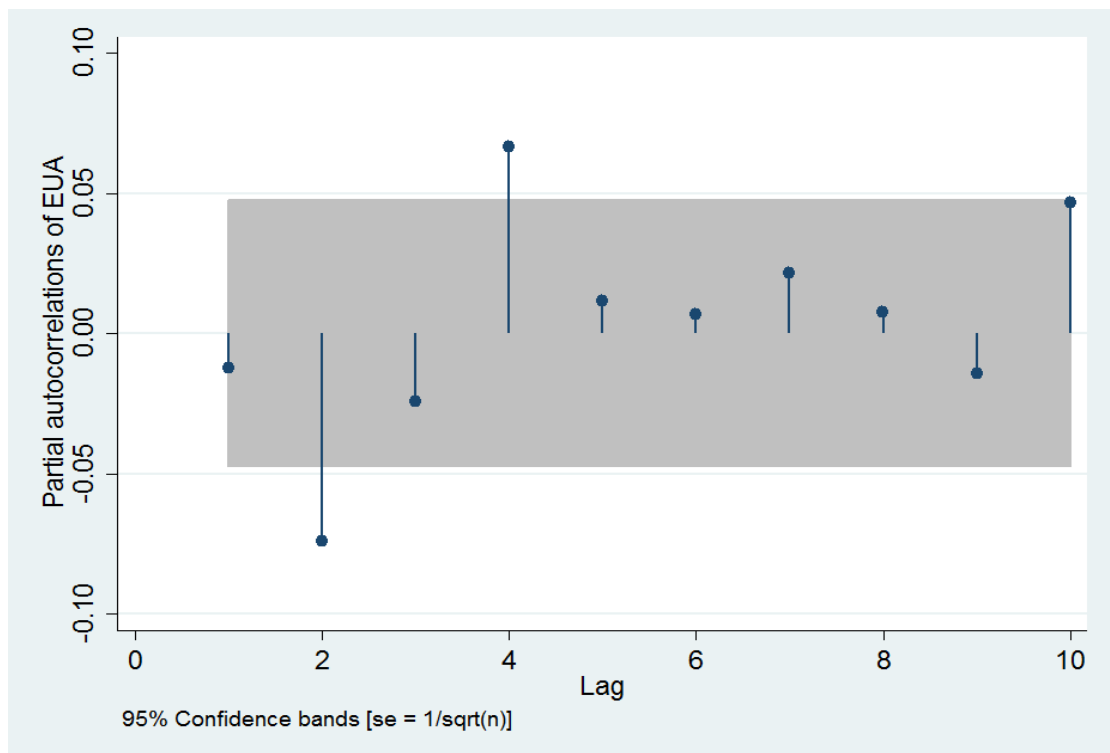
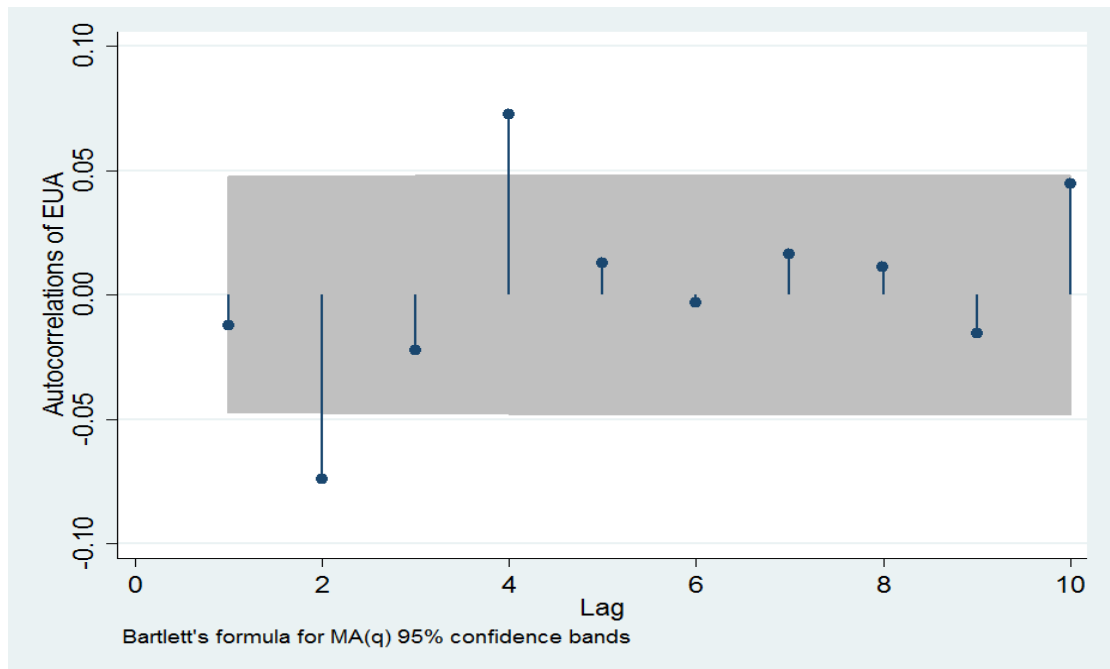
Λόγω του ότι η συσχέτιση αυτή είναι πολύ υψηλή και τείνει στην μονάδα, οι μεταβλητές αυτές παρέχουν παρόμοια πληροφόρηση, που ίσως να επηρεάζει την στατιστική σημαντικότητα τους στα υποδείγματα, γι' αυτό στα υποδείγματα το Brent πετρέλαιο χρησιμοποιείται με μια χρονική υστέρηση. Οι υπόλοιπες συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών δεν ξεπερνούν το 0.2.

Πίνακας 9: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών

	EUA	Coal	Brent	Crude	Ngas	Gas	Kero
EUA	1						
Coal	0.0507	1					
Brent	0.1677	0.0242	1				
Crude	0.1640	0.0154	0.8910	1			
Ngas	0.0486	0.0553	0.1315	0.1421	1		
Gas	0.1418	0.0246	0.7225	0.6644	0.0986	1	
Kero	0.0124	-0.038	0.0051	0.0102	0.0014	-0.003	1

Στην Συνέχεια, ελέγχουμε την αυτοσυσχέτιση και την μερική αυτοσυσχέτιση σύμφωνα με την μέθοδο Box-Jenkins μέσα από τα διαγράμματα Εικόνα 5, όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Εικόνα 5: Διάγραμμα Αυτοσυσχετίσεων και Μερικών Αυτοσυσχετίσεων του EUA



Από το γράφημα Διάγραμμα Αυτοσυσχετίσεων και Μερικών Αυτοσυσχετίσεων του EUA διαπιστώνεται ότι υπάρχουν δυο τιμές που είναι πέρα από το όριο για την χρονική υστέρηση $lag = 2, 4$. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται 4 χρονικές υστερήσεις. Καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι η καλύτερη τεχνική είναι ARMA (4,4).

Στο επόμενο βήμα τρέχουμε μια απλή παλινδρόμηση (Παράρτημα 1) και στην συνέχεια πραγματοποιούμε ελέγχους που μας υποδεικνύουν την ποιότητα των παλινδρομήσεων μας και μας κατευθύνουν σχετικά με το πως ελέγχουμε την πιθανή αυτοσυσχέτιση μέσα από το τεστ *Breusch-Godfrey* και με το τεστ *Breusch-Pagan*, το οποίο εξετάζει την ομοσκεδαστικότητα των καταλοίπων μέσω της παλινδρόμησης όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα Breusch-Godfrey, Breusch-Pagan και ARCH ελέγχων

Breusch-Godfrey		Breusch-Pagan		ARCH LM test	
χ^2 τιμή	p-value	χ^2 τιμή	p-value	χ^2 τιμή	p-value
0.008	0.9292	4.66	0.0308	15.871	0.0001
H0: no serial correlation		Ho: Constant variance		H0: no ARCH effects	

Στον Πίνακα 9 από τα τεστ που πραγματοποιήσαμε θα αποδειχθεί, ότι δεν υπάρχει σταθερή διακύμανση (ετεροσκεδαστικότητα) στα κατάλοιπα μας, αλλά δεν υπάρχει και αυτοσυσχέτιση, λόγω των χρονικών υστερήσεων που υπάρχουν. Για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα, όταν υπάρχει απόδειξη για ετεροσκεδαστικότητα, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την παλινδρόμηση που αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο με *Newey-West* εκτιμητή για τα τυπικά σφάλματα *NW OLS* (Παράρτημα 2) όπως χρησιμοποιήθηκε από τους *Alberola, Chevallier και Chéze (2008a)*. Με ένα συνοπτικό πίνακα μπορούμε να διακρίνουμε τον βαθμό σημαντικότητας του συντελεστή β καθώς και το πρόσημο επηρεασμού των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη στην *Newey-West* παλινδρόμηση, τέλος διακρίνουμε την σημαντικότητά τους.

Πίνακας 10: Newey-West OLS

<i>EUA</i>	<i>Coefficient</i>	<i>P-value</i>
Const.	-0.0002118	0.541
AR(1)	-0.0094185	0.803
AR(2)	-0.0728334	0.047**
AR(3)	-0.020681	0.509
AR(4)	0.0678632	0.067*
Coal	.1311498	0.046**
Brent_{t-1}	-0.084432	0.024**
Crude	0.1859544	0.000***
Gas	0.0867225	0.048**
Ngas	0.0309153	0.313
Kero	0.0006695	0.623
F-stat.	7.47	
P-value	0.000***	
R²	0.0453	

Στη συνέχεια, εκτιμάται το μοντέλο ARMAX(4,4), με robust τυπικά σφάλματα λόγω των χαρακτηριστικών ετεροσκεδαστικότητας που υπάρχουν στα κατάλοιπα αλλά και το μοντέλο ARMAX(4,4)-GARCH(1,1) λόγω του αποτελέσματος για ARCH effects, (Παράρτημα 3) ARCH LM test, όπου φαίνεται ότι τα κατάλοιπα έχουν χαρακτηριστικά δεσμευμένης ετεροσκεδαστικότητας.

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα: ARMAX(4,4), ARMAX(4,4)-GARCH(1,1)

EUA	ARMAX(4,4)		ARMAX(4,4)-GARCH(1,1)	
	Coefficient	P-value	Coefficient	P-value
Const.	-0.0001937	0.606	0.0002565	0.434
AR(1)	0.9867408	0.000***	0.7526709	0.254
AR(2)	-0.4401006	0.133	-0.4271488	0.025**
AR(3)	0.8051061	0.000***	1.127545	0.000***
AR(4)	-0.6963867	0.000***	-0.4651083	0.479
MA(1)	-0.9835758	0.000***	-0.7740013	0.232
MA(2)	0.3724523	0.156	0.4298464	0.020**
MA(3)	-0.7690527	0.000***	-1.132658	0.000***
MA(4)	0.7548049	0.000***	0.4905062	0.447
Coal	0.1452972	0.022**	0.1502499	0.001***
Brent _{t-1}	-0.0763139	0.047**	-0.0364598	0.163
Crude	0.2034169	0.000***	0.1880947	0.000***
Gas	0.0697262	0.122	-0.0109078	0.677
Ngas	0.0340627	0.281	0.0428531	0.031**
Kero	0.0006127	0.659	0.0011027	0.134
Const.	-	-	0.000002	0.000***
ARCH(1)	-	-	0.1329344	0.000***
GARCH(1)	-	-	0.8713377	0.000***
Wald- χ^2	730.89		241755.19	
P-value	0.000***		0.000***	
Log-Likel.	4812.705		5104.074	
AIC	-9593.41		-10172.15	
BIC	-9506.39		-10074.26	
R ²	0.0546		0.0356	

6.3. Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Μετά την εφαρμογή των οικονομετρικών ελέγχων, την εκτίμηση των υποδειγμάτων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στην προηγούμενη ενότητα, προκύπτουν τα τελικά συμπεράσματα που μπορούν να συγκριθούν με εκείνα που έχουν προκύψει από προηγούμενες έρευνες. Όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν ως παράγοντες επιρροής της απόδοσης των EUAs είχαν συμβολή στην εξέλιξη της, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο.

Η τιμές των πετρελαίων είναι πρωταγωνιστές με την μεγαλύτερη επιρροή αυτή του Crude πετρελαίου, που φάνηκε πως ασκεί την μεγαλύτερη επίδραση στις αποδόσεις των δικαιωμάτων από όλους τους άλλους συντελεστές με θετικό συντελεστή. Ο θετικός συντελεστής βήτα έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας. Στην συνέχεια, η τιμή του πετρελαίου Brent έδειξε να έχει και αυτή σημαντική μεταβλητότητα στην επίδραση της τιμής των δικαιωμάτων με 5% σημαντικότητα, αλλά με αρνητικό συντελεστή. Επίσης και από την τιμή της βενζίνης Gas μπορούμε να δούμε την σημαντικότητα της σε επίπεδα 10%, η οποία δεν είναι τόσο μεγάλη όσο των πρωτογενών πετρελαίων, καθώς και να δούμε τον θετικό συντελεστή.

Η πιο ισχυρά σημαντική μεταβλητή μετά το Crude φάνηκε πως είναι η εξέλιξη της τιμής του κάρβουνου Coal, οι οποίες σε όλες σχεδόν τις εκτιμήσεις παρουσίαζε στατιστική σημαντικότητα. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο, καθώς μια αύξηση της ζήτησης για κάρβουνο από τις παραγωγικές μονάδες θα οδηγήσει σε αύξηση των ρύπων και σε αυξημένη ζήτηση για δικαιώματα εκπομπής. Τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων φανέρωσαν αυτή την θετική σχέση, μέσω των συντελεστών βήτα, σε αντίθεση με αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που φανέρωναν αρνητική σχέση.

Ελάχιστη στατιστική σημαντικότητα παρουσιάζει η τιμή του φυσικού αερίου με θετικό συντελεστή, όπως έχει διατυπωθεί στην βιβλιογραφία. Το γεγονός αυτό, πιθανόν, οφείλεται στους λιγότερους ρύπους που εκλύει η καύση του φυσικού αερίου και στην μη αλλαγή της παραγωγικής διαδικασίας των ρυπαντών για χρήση φυσικού αερίου. Μικρή σημαντικότητα παρουσιάζει επίσης και η τιμή της

Κηροζίνης με Θετικό συντελεστή επιρροής. Τα κριτήρια πληροφόρησης AIC και BIC δείχνουν ως το καλύτερο μοντέλο το ARMA(4,4)-GARCH(1,1), το οποίο είναι αναμενόμενο ως αποτέλεσμα λόγω του ότι το εν λόγω μοντέλο αναλύει καλύτερα τη μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής.

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με σκοπό να ερευνηθεί ποιοι κύριοι παράγοντες της βιβλιογραφίας είχαν επίδραση στην τιμή των δικαιωμάτων για την χρονική περίοδο 2011–2017. Με χρήση οικονομετρικών ελέγχων για την ανάλυση χρονολογικών σειρών, εξετάστηκε η επίδραση ενεργειακών παραγόντων όπως το αργό πετρέλαιο, το μαζούτ, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο, η βενζίνη. Επιπλέον, ως επέκταση στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, ελέγχθηκε η υπόθεση ότι σημαντική επιρροή στην τιμή διαπραγμάτευσης των δικαιωμάτων εκπομπής ασκεί και η τιμή της κηροζίνης ως καύσιμο των αεροσκαφών στον τομέα των αερομεταφορών.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φανέρωσαν πως τα δικαιώματα εκπομπής επηρεάστηκαν έντονα την περίοδο 2011–2017 από τις τιμές του κάρβουνου, του αργού πετρελαίου και του μαζούτ, αφού αποτελούν τα κύρια πρωτογενή ορυκτά καύσιμα για τις βαριές Ευρωπαϊκές βιομηχανίες, που παρουσιάζουν και τις μεγαλύτερες εκπομπές στην ατμόσφαιρα κατά την καύση τους, ενώ οι τιμές του φυσικού αερίου και της βενζίνης επηρεάζουν λιγότερο τις τιμές των ρύπων αφενός όντας χαμηλότερα σε ποσοστό εκπομπών, και αφετέρου εμφανίζοντας περιορισμένη χρήση στην ευρωπαϊκή ήπειρο συγκριτικά με τα ορυκτά πετρέλαια και το κάρβουνο. Τέλος, η κηροζίνη φαίνεται να είναι αυτή που έχει το μικρότερο βαθμό στατιστικής σημαντικότητας στις τιμές των ρύπων και αυτό μπορεί να οφείλεται στην καθυστερημένη εισαγωγή στο πρόγραμμα του τομέα των αερομεταφορών.

Η ασθενής εξήγηση της μεταβλητότητας της τιμής των δικαιωμάτων εκπομπής από τα οικονομετρικά υποδείγματα, επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, πως δηλαδή η εξεταζόμενη αγορά εξαρτάται από παράγοντες που η ακαδημαϊκή έρευνα δεν έχει ακόμα ανακαλύψει, ή είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Ο δεσμευτικός χαρακτήρας της αγοράς, το αυστηρό θεσμικό πλαίσιο που την διέπει, και η εξάρτηση από τις αποφάσεις των αρχών που είναι υπεύθυνες για την διαχείριση της, είναι ορισμένοι από τους παράγοντες που δύσκολα ποσοτικοποιούνται για να προκύψουν συμπεράσματα

για την επίδραση τους στις τιμές της αγοράς. Η αγορά των δικαιωμάτων εκπομπής προβλέπεται να γνωρίσει άνθιση στο μέλλον τόσο στην Ευρώπη, τουλάχιστον μέχρι το 2030 σύμφωνα με τις αποφάσεις των αρμόδιων αρχών, όσο και παγκόσμια, καθώς κάθε χρόνο έρχονται σε λειτουργία παρόμοιες αγορές. Επομένως, η ακαδημαϊκή κοινότητα θα αποκτήσει τις πληροφορίες για την μελέτη αυτής της αγοράς, που είναι πρωτόγνωρη για την χρηματοοικονομική βιβλιογραφία.

Πρόσθετη έρευνα, ως επέκταση της παρούσας εργασίας, μπορεί να γίνει στην επίδραση που έχουν στην τιμή των δικαιωμάτων τα structural breaks για την παρούσα περίοδο, όπως έχει συμβεί και στην πρώτη φάση του προγράμματος όπου η βιβλιογραφία έχει αναλύσει την επίδραση των ανακοινώσεων για αλλαγές στο σύστημα πάνω στην τιμή των δικαιωμάτων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

8. Aatola P., Ollikainen M., and Toppinen A. (2013), *Price Determination in the EU ETS Market: Theory and Econometric Analysis with Market Fundamentals*, Energy Economics, 36, pp.380--395.
9. Alberola E., Chevallier J., and Chéze B. (2007), *European Carbon Prices Fundamentals in 2005-2007: The effects of Energy Markets, Temperatures and Sectorial Production*.
10. Alberola E., Chevallier J., and Chéze B. (2008a), *Price Drivers and Structural Breaks in European Carbon Prices, (2005—2007)*, Energy Policy, 36(2), pp.787--797.
11. Alberola E., Chevallier J., and Chéze B. (2008b). *Disentangling the Effects of Industrial Production and CO₂ Emissions of Carbon Prices*. Citeseer.
12. Bollerslev T. (1986). *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*. Journal of Econometrics, 31(3), pp.307--327.
13. Box G., and Jenkins G., (1976), *Time Series Analysis*, 1st ed. San Francisco: Holden-Day.
14. Bredin D., and Muckley C., (2009), *An Analysis of the EU Emission Trading Scheme*, University College Dublin. School of Business. Centre for Financial Markets.
15. Brohe A., Eyre N., and Howarth N., (2009). *Carbon Markets An International Business Guide Environmental Market Insights*. 1st ed. London: Earthscan.
16. Chevallier J., (2009), *Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: A View from the EU ETS*, Energy Economics, 31(4), pp.614--625.
17. Chevallier J., (2011a), *Carbon Price Drivers: An Updated Literature Review*, Available at SSRN 1811963.
18. Chevallier J., (2011b), *Econometric Analysis of Carbon Markets*, 1st Ed. New York: Springer.
19. Chevallier J., (2011c), *Macroeconomics, Finance, Commodities: Interactions with Carbon Markets in a Data-Rich Model*, Economic Modelling, 28(1), pp.557-567.

20. Christiansen A., Arvanitakis A., Tangen K., and Hasselknippe H., (2005), *Price Determinants in the EU Emissions Trading Scheme*, *Climate Policy*, 5(1), pp.15-30.
21. Creti A., Jouvet P., and Mignon V., (2012), *Carbon Price Drivers: Phase I versus Phase II Equilibrium?* *Energy Economics*, 34(1), pp.327--334.
22. Engle R., and Granger C., (1987), *Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing*, *Econometrica*, pp.251--276.
23. Engle R., (1982). *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation*. *Econometrica*: pp.987--1007.
24. Granger C., and Newbold P., (1974), *Spurious Regressions in Econometrics*, *Journal of Econometrics*, 2(2), pp.111--120.
25. Granger C., (1969), *Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods*, *Econometrica*: pp.424--438.
26. Granger C., (1981), *Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification*, *Journal of Econometrics*, 16, pp.121-130.
27. Gudbrandsdottir H., and Haraldsson H., (2011), *Predicting the Price of EU ETS Carbon Credits*, *Systems Engineering Procedia*, 1, pp.481--489.
28. Keppler J, and Mansanet-Bataller M., (2010), *Causalities between CO₂, Electricity, and Other Energy Variables during Phase I and Phase II of the EU ETS*, *Energy Policy*, 38(7), pp.3329--3341.
29. Kim H., and Koo W., (2010), *Factors Affecting the Carbon Allowance Market in the US*, *Energy Policy*, 38(4), pp.1879--1884.
30. Kozhan R., (2010), *Financial Econometrics - with Eviews*. 1st ed. Roman Kozhan & Ventus Publishing ApS.
31. Mansanet-Bataller M., Pardo A., and Valor E., (2007), *CO₂, Prices, Energy and Weather*, *The Energy Journal*, pp.73--92.
32. Maydybura A., and Andrew B., (2012), *A Study of the Determinants of Emissions Unit Allowance Price in the European Union Emissions Trading Scheme*, *Australasian Accounting Business and Finance Journal*, 5(4), pp.123--142.
33. Breusch T., (1978), *Testing for Autocorrelation in Dynamic Linear Models*, *Australian Economic Papers*, 17.

34. Breusch T., Pagan A., (1979), *A Simple Test for Heteroskedasticity and Random Coefficient Variation*, Econometrica. 47 (5), 1287–1294.
35. Godfrey L. G., (1978), *Testing Against General Autoregressive and Moving Average Error Models when the Regressors Include Lagged Dependent Variables*, Econometrica. 46, 1293–1301.
36. Newey W., West K., (1987), *A Simple, Positive Semi-definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix*, Econometrica 55(3), 703–708.

Ιστοσελίδες

The EU Emissions Trading System (EU ETS) - European Commission:
http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm.

Sustainability: University of Arkansas: <http://sustainability.uark.edu/>.

United Nations Framework Convention on Climate Change:
<http://unfccc.int/2860.php>.

Παράρτημα

Παράρτημα 1 : Απλή παλινδρόμηση

```
. regress EUA 1.EUA 12.EUA 13.EUA 14.EUA Coal 1.Brent Crude Gas Ngas Kero
```

Source	SS	df	MS			
Model	.016598816	10	.001659882	Number of obs =	1697	
Residual	.349195019	1686	.000207114	F(10, 1686) =	8.01	
Total	.365793835	1696	.00021568	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.0454	
				Adj R-squared =	0.0397	
				Root MSE =	.01439	

EUA	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
EUA						
L1.	-.0094185	.0242551	-0.39	0.698	-.0569918	.0381548
L2.	-.0728334	.023876	-3.05	0.002	-.1196632	-.0260036
L3.	-.020681	.0239135	-0.86	0.387	-.0675843	.0262222
L4.	.0678632	.0238908	2.84	0.005	.0210044	.114722
Coal	.1311498	.064447	2.04	0.042	.0047452	.2575545
Brent						
L1.	-.084432	.0413882	-2.04	0.042	-.1656096	-.0032543
Crude	.1859544	.050892	3.65	0.000	.0861363	.2857726
Gas	.0867225	.0471737	1.84	0.066	-.0058027	.1792476
Ngas	.0309153	.0295614	1.05	0.296	-.0270656	.0888962
Kero	.0006695	.0011993	0.56	0.577	-.0016828	.0030218
_cons	-.0002118	.0003496	-0.61	0.545	-.0008975	.000474

Παράρτημα 2 : Τεστ αυτοσυσχέτισης/ ετεροσκεδαστικότητας

```
. estat hettest
```

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: fitted values of EUA

chi2(1) = 4.66

Prob > chi2 = 0.0308

```
. estat bgodfrey
```

Breusch-Godfrey LM test for autocorrelation

lags(p)	chi2	df	Prob > chi2
1	0.008	1	0.9292

H0: no serial correlation

Παράρτημα 3 : Τεστ ελέγχου ARCH

```
. estat archlm, force
```

LM test for autoregressive conditional heteroskedasticity (ARCH)

lags(p)	chi2	df	Prob > chi2
1	15.871	1	0.0001

H0: no ARCH effects vs. H1: ARCH(p) disturbance

Παράρτημα 5 : Παλινδρόμηση ARMA

ARIMA regression

Sample: 2 - 1701

Number of obs = 1700

Wald chi2(14) = 730.89

Log pseudolikelihood = 4812.705

Prob > chi2 = 0.0000

EUA	Semirobust		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
EUA						
Coal	.1452972	.0636191	2.28	0.022	.0206061	.2699882
Brent						
L1.	-.0763139	.038471	-1.98	0.047	-.1517157	-.000912
Crude						
Gas	.2034169	.0478522	4.25	0.000	.1096283	.2972055
Ngas	.0697262	.0450648	1.55	0.122	-.0185992	.1580515
Kero	.0340627	.0316182	1.08	0.281	-.0279078	.0960333
_cons	.0006127	.0013863	0.44	0.659	-.0021045	.0033298
	-.0001937	.0003761	-0.52	0.606	-.0009308	.0005433
ARMA						
ar						
L1.	.9867408	.2412697	4.09	0.000	.513861	1.459621
L2.	-.4401006	.2929617	-1.50	0.133	-1.014295	.1340939
L3.	.8051061	.1270995	6.33	0.000	.5559958	1.054216
L4.	-.6963867	.1292878	-5.39	0.000	-.9497861	-.4429874
ma						
L1.	-.9835758	.2296364	-4.28	0.000	-1.433655	-.5334967
L2.	.3724523	.2625988	1.42	0.156	-.1422319	.8871365
L3.	-.7690527	.1190669	-6.46	0.000	-1.002419	-.5356859
L4.	.7548049	.1336305	5.65	0.000	.4928939	1.016716
/sigma	.0142642	.0007493	19.04	0.000	.0127956	.0157327

Note: The test of the variance against zero is one sided, and the two-sided confidence interval is truncated at zero.

```
. estat ic
```

Akaike's information criterion and Bayesian information criterion

Model	Obs	ll (null)	ll (model)	df	AIC	BIC
.	1700	.	4812.705	16	-9593.41	-9506.395

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [\[R\] BIC note](#)

```
. predict EUAa if e(sample)
(option xb assumed; predicted values)
(5 missing values generated)
```

```
. corr EUA EUAa if e(sample)
(obs=1700)
```

	EUA	EUAA
EUA	1.0000	
EUAA	0.2337	1.0000

```
. di r(rho)^2
.05461232
```

Παράρτημα 6 : Παλινδρόμηση GARCH

ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 - 1701
 Distribution: Gaussian
 Log likelihood = 5104.074

Number of obs = 1700
 Wald chi2(14) = 241755.19
 Prob > chi2 = 0.0000

EUA		OPG		z	P> z	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.					
EUA							
Coal	.1502499	.0471883	3.18	0.001	.0577625	.2427372	
Brent							
L1.	-.0364598	.0261235	-1.40	0.163	-.087661	.0147413	
Crude	.1880947	.0301208	6.24	0.000	.129059	.2471305	
Ngas	.0428531	.0198168	2.16	0.031	.0040129	.0816933	
Gas	-.0109078	.02616	-0.42	0.677	-.0621804	.0403649	
Kero	.0011027	.0007362	1.50	0.134	-.0003402	.0025455	
_cons	.0002565	.000328	0.78	0.434	-.0003865	.0008994	
ARMA							
ar							
L1.	.7526709	.6592931	1.14	0.254	-.5395199	2.044862	
L2.	-.4271488	.1903285	-2.24	0.025	-.8001858	-.0541119	
L3.	1.127545	.1917306	5.88	0.000	.7517598	1.50333	
L4.	-.4651083	.6566347	-0.71	0.479	-1.752089	.821872	
ma							
L1.	-.7740013	.6473266	-1.20	0.232	-2.042738	.4947355	
L2.	.4298464	.184958	2.32	0.020	.0673354	.7923575	
L3.	-1.132658	.1867069	-6.07	0.000	-1.498597	-.7667194	
L4.	.4905062	.6447426	0.76	0.447	-.773166	1.754178	
ARCH							
arch							
L1.	.1329344	.0125334	10.61	0.000	.1083694	.1574995	
garch							
L1.	.8713377	.0110945	78.54	0.000	.8495929	.8930825	
_cons	1.98e-06	4.33e-07	4.57	0.000	1.13e-06	2.83e-06	

```
. estat ic
```

Akaike's information criterion and Bayesian information criterion

Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	1700	.	5104.074	18	-10172.15	-10074.26

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [\[R\] BIC note](#)

```
. predict EUAg if e(sample)
(option xb assumed; linear prediction)
(5 missing values generated)
```

```
. corr EUA EUAg if e(sample)
(obs=1700)
```

	EUA	EUAg
EUA	1.0000	
EUAg	0.1888	1.0000

```
. di r(rho)^2
.03564669
```

Συντομογραφίες

ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ADF	Augmented Dickey-Fuller Test
CH₄	Μεθάνιο
CER'S	Certified Emission Reductions
CO₂	Διοξείδιο του Άνθρακα
EU	European Union
EUA'S	European Emission Allowances
ETS	Emissions Trading System
FAVAR	A-Factor –Augmented Vector Autoregressive
ICAO	International Civil Aviation Organization
N₂O	Υποξείδιο του Αζώτου
OLS	Ordinary Least Squares
UNFCC	United Nations Framework Convention on Climate Change