



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μοντελοποίηση Αγοράς Δικαιωμάτων Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπέκος Δημήτριος

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μοντελοποίηση Αγοράς Δικαιωμάτων Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπέκος Δημήτριος

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2^η Σεπτεμβρίου 2016

.....

Παντελής Κάπρος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Πάυλος Γεωργιλάκης

Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π

.....

Γεώργιος Κορρές

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

.....
Μπέκος Δημήτριος

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπέκος Δημήτριος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η προσπάθεια για μείωση των αρνητικών εξωγενών επιδράσεων ξεκίνησε μετά τη βιομηχανική επανάσταση και είχε ως στόχο την αύξηση της απόδοσης των συστημάτων στο κοινωνικά βέλτιστο. Αρκετά χρόνια μετά, το Πρωτόκολλο του Κιότο έθεσε τις βάσεις για το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και των ισοδυνάμων του. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής αναπτύσσεται ένα δυναμικό μοντέλο για τον υπολογισμό των μελλοντικών τιμών των αδειών το οποίο βασίζεται κατά κύριο λόγο σε Καμπύλες Οριακού Κόστους Μόνιμης Μείωσης Εκπομπών. Ο χρονικός ορίζοντας του μοντέλου είναι 35 έτη και επιλύεται ετησίως, μεταφέροντας τις τιμές από τη μία χρονιά στην επόμενη έως το 2050. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε σε περιβάλλον GAMS και επιλύεται με χρήση Μη Γραμμικού Προγραμματισμού. Στα πλαίσια του μοντέλου περιλαμβάνεται και το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς ενώ για τη βέλτιστη προσομοίωση της αγοράς των αδειών, η αγορά χωρίζεται σε 1160 παραγωγούς οι οποίοι διανέμονται σε 6 βιομηχανικούς τομείς: Τον τομέα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τις Λοιπές Βιομηχανίες Καύσης, τα Διυλιστήρια, τις Βιομηχανίες Μεταποίησης Μετάλλων, τις Τσιμεντοβιομηχανίες, τον τομέα των Αερομεταφορών και τον τομέα που περιλαμβάνει όλους τους Υπόλοιπους Βιομηχανικούς Τομείς. Στους παραπάνω τομείς και κατ' επέκταση στους παραγωγούς μοιράζεται το πλεόνασμα της προηγούμενης χρονιάς και οι συνολικές πανευρωπαϊκές εκπομπές οι οποίες αυξάνονται ετησίως, αν δε ληφθεί υπόψη η μόνιμη μείωση των εκπομπών, σύμφωνα με προβλέψεις για το Ευρωπαϊκό Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν. Κάθε βιομηχανικός τομέας πραγματοποιεί μείωση εκπομπών σύμφωνα με την καμπύλη οριακού κόστους που του αντιστοιχεί. Τα σενάρια που εξετάζονται επιλύονται με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος θεωρεί δεδομένες ετήσιες πανευρωπαϊκές εκπομπές και βελτιστοποιεί τη λύση κοντά στη ζητούμενη περιοχή με χρήση τετραγωνικής ποινής. Ο δεύτερος τρόπος επίλυσης λαμβάνει υπόψη συμπεριφορές παραγωγών οι οποίοι δρουν ατομιστικά εμφανίζοντας συμπεριφορές ανταλλαγής και αποθήκευσης αδειών, κερδοσκοπίας αλλά και περεταίρω επένδυσης για μόνιμη μείωση εκπομπών. Για την πραγματοποίηση επενδύσεων και κερδοσκοπίας, οι παραγωγοί βασίζονται σε προβλέψεις οι οποίες προέρχονται από κανονική κατανομή, της οποίας η διασπορά εξαρτάται από την επιτυχία προηγούμενων προβλέψεων και σε γραμμική παλινδρόμηση για τις τιμές των 10 τελευταίων ετών του ETS. Και στην περίπτωση αυτή, η αντικειμενική συνάρτηση χρησιμοποιεί τετραγωνική τιμωρία μειώνοντας την απόκλιση των παραγωγών από τη προγραμματισμένη συμπεριφορά.

Λέξεις Κλειδιά: Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών, Μοντέλο πρόβλεψης τιμής αδειών, Μη Γραμμικός Προγραμματισμός, Καμπύλη Οριακού Κόστους, Κόστος Άνθρακα, Μαθηματικός Προγραμματισμός, Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα, Περιβαλλοντική Πολιτική, Ενεργειακή Οικονομία

Abstract

Initial efforts to diminish negative externalities began after the Industrial Revolution and focused on increasing the efficiency of the financial frameworks to the social optimum. Several years later the Kyoto Protocol implemented the fundamental framework for the European Emissions Trading Scheme. In this dissertation a dynamic model for the computation of the future price of the European Emission Allowances, based on Marginal Abatement Cost Curves, is developed. The model is annually calculated, with a 35-year time range, transferring the solution variables from one year to the next until 2050. The GAMS Integrated Development Environment was used for the implementation and Non-Linear Programming solution of the model. Features modeled in this dissertation include the framework of the Market Stability Reserve while the European Allowance Market is divided into 1160 producers who operate in 6 sectors: Electricity Production, Rest of Combustion, Refineries, Iron and Steel, Cement, Aviation and the Rest of Industry. These producers share the initial year's surplus and the annual European emissions, without regarding abatement, which grows annually in proportion to European Gross Domestic Product predictions by E3MLab. Every producer belonging to a particular Industrial Sector minimizes his emissions based on their sector's MAAC. The problem is solved using two different methods. The first method considers emission forecasts from the E3MLab and uses quadratic penalty to optimize the objective function near the prediction area. The second method sets atomistic behaviors for the producers such as allowance banking, speculation and further investment in emissions reductions. For the producers to speculate and invest, predictions are created randomly from a normal distribution whose variance depends on previous prediction success and on the linear regression of the previous 10 year EUA prices. The objective function of this method also utilizes quadratic penalty so that the producers can deviate from their allocation schedule when it is not optimal.

Key Words: European Emission Allowance Trading Scheme, Allowance pricing model, Non-Linear Programming, Marginal Abatement Cost Curves, Carbon Price, Carbon Dioxide Emissions, Environmental Economics, Energy Economics

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους οι οποίοι συνέβαλλαν στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Παντελή Κάπρο, ο οποίος με ενέπνευσε και με εισήγαγε στον κόσμο του μαθηματικού προγραμματισμού είτε μέσα από τις διαλέξεις είτε κατά την επίβλεψη της διπλωματικής αυτής εργασίας. Φυσικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και όλα τα μέλη του Εργαστηρίου και ειδικά τη Μ. Τσίμα για τη βοήθεια και τη στήριξή τους.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω και άτομα τα οποία ίσως να μη με βοήθησαν στο ακαδημαϊκό κομμάτι της διπλωματικής αλλά μου έδωσαν τα εφόδια και την ψυχολογική ενθάρρυνση όλα αυτά τα χρόνια για να φτάσω στο σημείο αυτό. Τους γονείς μου, τα δύο αδέρφια μου, τον παππού και τη γιαγιά μου, άτομα τα οποία ήταν εκεί για μένα για όλες τις υπόλοιπες ανάγκες μου, πίστεψαν σε μένα και με στήριξαν με όλες τους τις δυνάμεις. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Βασιλική-Αθανασία Χαϊτίου, η οποία με την υπομονή και την επιμονή της με ενθάρρυνε μέχρι το τέλος των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	5
1.2 Για τον έλεγχο εκπομπών ρύπων και τις αγορές αδειών εκπομπών	7
2. Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	9
2.1 Μηχανισμός Κοινής Εφαρμογής.....	10
2.2 Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης.....	10
3. Δράσεις της Ε.Ε. για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	11
3.1 Πλαίσιο 2030.....	12
3.2 Ιστορία και Μέλλον του EU Emissions Trading Scheme	13
3.2.1 Η πρώτη φάση (Ιανουάριος 2005 – Δεκέμβριος 2007):	14
3.2.2 Η δεύτερη φάση (Ιανουάριος 2008 – Ιανουάριος 2012):.....	17
3.2.3 Η τρίτη φάση (2013 – 2020):.....	20
3.2.4 Η τέταρτη φάση (2021-2030):.....	22
3.3 Back-loading	22
3.4 Εισαγωγή του Market Stability Reserve.....	23
3.5 Free Allocation and Caps in the EU ETS	24
3.6 Τα τρία επίπεδα ελαστικότητας που προσφέρει το EU ETS.....	26
3.7 Διαμόρφωση της ζήτησης για το πλεόνασμα των αδειών από το EU ETS.....	27
3.7.1 Εξισορροπητική Κερδοσκοπία (Arbitrage)	27
3.7.3 Το Hedging στις αγορές άνθρακα	27
3.7.4 Κερδοσκοπία	28
3.8 Κριτική για το EU ETS.	29
4. Μαθηματικό Μοντέλο	31
4.1 Αρχικοποίηση Προβλήματος - Παραδοχές	31
4.2 Σετ.....	39
4.3 Παράμετροι Μοντέλου	40
4.4 Μεταβλητές Απόφασης	42
4.4.1 Θετικές μεταβλητές	42
4.4.2 Μεταβλητές	42
4.5 Τρόπος υπολογισμού αδειών διαθέσιμων για δημοπρασία.	43
4.6 Εξισώσεις Συμπεριφοράς Παραγωγών	45
4.6.1 Επένδυση για μόνιμη μείωση εκπομπών	45

4.6.2 Banking/Borrowing.....	49
4.6.3 Speculation	50
4.7 Περιορισμοί – Εξισώσεις μοντέλου	52
4.8 Ανάλυση αντικειμενικής συνάρτησης	54
4.8.1 Το κόστος των αδειών	54
4.8.2 Το κόστος επένδυσης	54
4.8.3 Το αναμενόμενο κέρδος επένδυσης.....	56
4.9 Η Αντικειμενική Συνάρτηση ανά περίπτωση	58
4.9.1 Προσέγγιση δεδομένων πανευρωπαϊκών εκπομπών	58
4.9.2 Συγκεκριμένη στρατηγική για τον κάθε παραγωγό	59
4.10 Σενάρια Επίλυσης.....	60
4.10.1 Κατασκευή σεναρίου Αδειών Adjusted Decarbonisation.....	61
5. Αποτελέσματα	62
5.1 Αποτελέσματα μοντέλου με δεδομένες πανευρωπαϊκές εκπομπές	62
5.1.1 Baseline Σενάρια.....	64
5.1.2 Decarbonisation Σενάρια.....	77
5.1.3 Adjusted Decarbonisation Σενάρια	89
5.2 Αποτελέσματα μοντέλου ατομικών στρατηγικών παραγωγών	101
5.2.1 Baseline Σενάριο	102
5.2.2 Decarbonisation Σενάριο	108
5.2.3 Adjusted Decarbonisation Σενάριο	114
6. Ανάλυση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων μοντέλου	120
6.1 Baseline Σενάρια	121
6.2 Decarbonisation Σενάρια	124
6.3 Adjusted Decarbonisation Σενάρια	127
6.4 Συμπεράσματα	132
6.5 Δυνατότητες επέκτασης.....	134
Βιβλιογραφία	135

Πίνακας Διαγραμμάτων-Σχεδιαγραμμάτων

Figure 1 Παγκόσμια Ζήτηση Ενέργειας σε σχέση με το Παγκόσμιο ΑΕΠ.....	1
Figure 2 Η Αύξηση των εκπομπών Θερμοκηπίου και οι Κατά-κεφαλήν εκπομπές Θερμοκηπίου	2
Figure 3 World Energy Consumption since 1820.....	3
Figure 4 Global Temperature Anomaly σε βαθμούς Κελσίου (1880-2014)	4
Figure 5 Σχηματική Απεικόνιση Μηχανισμού του Φαινομένου του Θερμοκηπίου	5
Figure 6 Η επίδραση κύριων Βιομηχανικών Τομέων στα αέρια του Θερμοκηπίου	6
Figure 7 Ο δρόμος για την Αειφόρο Ανάπτυξη.....	8
Figure 8 Αρχική Δέσμευση των Ευρωπαϊκών χωρών για την έναρξη του EU ETS	13
Figure 9 Η τιμή των αδειών για την 1 ^η Φάση του EU ETS	14
Figure 10: Η επίδραση της 1 ^{ης} Περιόδου του EU ETS.....	16
Figure 11 Gross Inland Energy Consumption EU-28, για την περίοδο 1990-2014.....	18
Figure 12 Η τιμή των αδειών κατά τη 2 ^η Φάση του EU ETS	18
Figure 13 Η τιμή των αδειών από την αρχή της 3 ^{ης} Φάσης του EU ETS.....	21
Figure 14 Free Allocation και Όρια για τις 3 Φάσεις του EU ETS	25
Figure 15 Ποσοστό των συνολικών Παραγωγών που αντιστοιχούν στον εκάστοτε Βιομηχανικό Τομέα.....	31
Figure 16 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	33
Figure 17 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα των Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης.....	33
Figure 18 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα των Διυλιστηρίων	34
Figure 19 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα Μεταποίησης Μετάλλων	34
Figure 20 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα των Τσιμεντοβιομηχανιών	35
Figure 21 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον υπόλοιπο Βιομηχανικό Τομέα..	35
Figure 22 Κατανομή πλεονάσματος αδειών για τον τομέα των Αερομεταφορών.....	36
Figure 23 Μερίδιο Εκπομπών ανά Βιομηχανικό Τομέα	37
Figure 24 Το ποσοστό των συνολικών Εκπομπών του Τομέα που αντιστοιχεί σε κάθε παραγωγό που ανήκει στις Λοιπές Βιομηχανίες Καύσης	38
Figure 25 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής.....	46
Figure 26 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης.....	46
Figure 27 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Διυλιστηρίων.....	47
Figure 28 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα Μεταποίησης Μετάλλων	47
Figure 29 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Τσιμεντοβιομηχανιών.....	48
Figure 30 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Αερομεταφορών.	48
Figure 31 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον Υπόλοιπο Βιομηχανικό Τομέα	49
Figure 32 Σενάρια εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050.....	60
Figure 33 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για τα σενάρια Baseline ...	62

Figure 34 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για τα σενάρια Decarbonisation και Adjusted Decarbonisation	63
Figure 35 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050	64
Figure 36 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1 ^ο σενάριο Baseline	65
Figure 37 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2 ^ο σενάριο Baseline	65
Figure 38 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	66
Figure 39 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	66
Figure 40 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	67
Figure 41 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές.....	67
Figure 42 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	68
Figure 43 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	68
Figure 44 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	69
Figure 45 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	69
Figure 46 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2016	70
Figure 47 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	70
Figure 48 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	71
Figure 49 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	72
Figure 50 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	72
Figure 51 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	73
Figure 52 Η ετήσια Προσφορά των αδειών σε σχέση με τις ετήσιες Εκπομπές.....	73
Figure 53 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	74
Figure 54 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	74
Figure 55 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	75
Figure 56 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	75
Figure 57 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	76
Figure 58 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	76
Figure 59 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050.....	77
Figure 60 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1 ^ο σενάριο Decarbonisation.....	78
Figure 61 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2 ^ο σενάριο Decarbonisation.....	78

Figure 62 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	79
Figure 63 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	79
Figure 64 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	80
Figure 65 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές.....	80
Figure 66 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	81
Figure 67 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	81
Figure 68 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	82
Figure 69 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	82
Figure 70 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	83
Figure 71 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	83
Figure 72 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	84
Figure 73 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	84
Figure 74 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	85
Figure 75 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές.....	85
Figure 76 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	86
Figure 77 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	86
Figure 78 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	87
Figure 79 Οι ετήσιες Εκπομπές αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα	87
Figure 80 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	88
Figure 81 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	88
Figure 82 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050.....	89
Figure 83 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1ο σενάριο Adjusted Decarbonisation.....	90
Figure 84 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2ο σενάριο Adjusted Decarbonisation.....	90
Figure 85 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	91
Figure 86 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	91
Figure 87 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	92
Figure 88 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές.....	92
Figure 89 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	93
Figure 90 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	93

Figure 91 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	94
Figure 92 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	94
Figure 93 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	95
Figure 94 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	95
Figure 95 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	96
Figure 96 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	96
Figure 97 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	97
Figure 98 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές.....	97
Figure 99 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	98
Figure 100 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	98
Figure 101 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών	99
Figure 102 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	99
Figure 103 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	100
Figure 104 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	100
Figure 105 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050.....	102
Figure 106 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	102
Figure 107 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	103
Figure 108 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	103
Figure 109 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές	104
Figure 110 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	104
Figure 111 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	105
Figure 112 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία	105
Figure 113 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	106
Figure 114 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	106
Figure 115 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	107
Figure 116 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	107
Figure 117 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050.....	108
Figure 118 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	108
Figure 120 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	109

Figure 121 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	109
Figure 122 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές	110
Figure 123 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	110
Figure 124 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	111
Figure 125 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία	111
Figure 126 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	112
Figure 127 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	112
Figure 128 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	113
Figure 129 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	113
Figure 130 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050	114
Figure 131 Ο ετήσιος αριθμός εκδιδόμενων αδειών	114
Figure 133 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050	115
Figure 134 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως	115
Figure 135 Ετήσια προσφορά αδειών σε σχέση με τις ετήσιες εκπομπές	116
Figure 136 Η μόνιμη μείωση εκπομπών και οι ετήσιες εκπομπές.....	116
Figure 137 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως	117
Figure 138 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία	117
Figure 139 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης.....	118
Figure 140 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα	118
Figure 141 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033	119
Figure 142 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050	119
Figure 143 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Baseline....	121
Figure 144 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Baseline	122
Figure 145 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Baseline	122
Figure 146 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Decarbonisation	124
Figure 147 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Decarbonisation	125
Figure 148 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Decarbonisation	125

Figure 149 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και δεν χρησιμοποιούνται για τα σενάρια Decarbonisation	126
Figure 150 Ο αριθμός των εκδιδόμενων αδειών από 2016 έως 2050.....	127
Figure 151 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.....	128
Figure 152 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation	128
Figure 153 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.....	129
Figure 154 Συγκριτική καμπύλη του ετήσιου πλεονάσματος των αδειών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.	129
Figure 155 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και είναι δεσμευμένες από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.....	130
Figure 156 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και δεν χρησιμοποιούνται για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.....	131

1. Εισαγωγή

Από τη βιομηχανική επανάσταση μέχρι σήμερα η κατανάλωση ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου. Η ζήτηση για ενέργεια σήμερα είναι τόσο μεγάλη που θεωρείται είδος πρώτης ανάγκης.

Ακόμα, με την εισβολή της σε κάθε παραγωγικό τομέα ο οποίος ήταν παραδοσιακά χειρωνακτικός, η αύξηση της ζήτησης για ενέργεια έγινε συνώνυμη της προόδου.

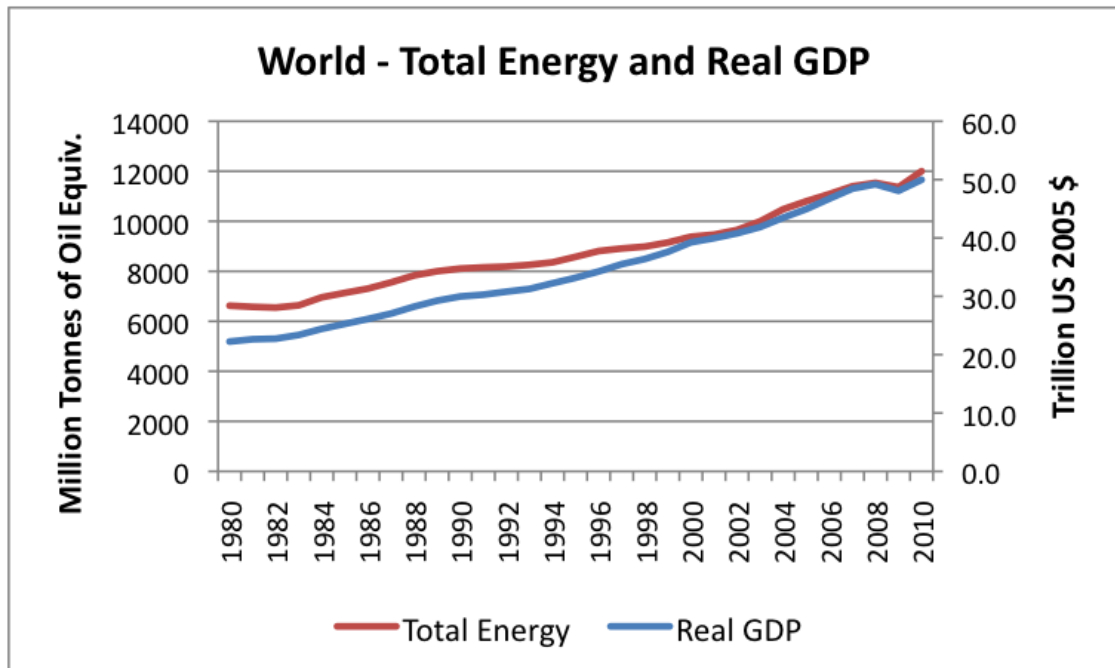


Figure 1 Παγκόσμια Ζήτηση Ενέργειας (σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) σε σχέση με το Παγκόσμιο ΑΕΠ (σε τρισεκατομμύρια δολάρια) (1980-2010) [3]

Η εξάρτηση των μοντέρνων κοινωνιών από την ενέργεια, η οποία βρίσκεται πια σε κάθε παραγωγικό τομέα και συνεχίζει να γιγαντώνεται, ενισχύεται από την εξάπλωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των συστημάτων αυτοματισμού, που αντικαθιστούν όλο και περισσότερο τον ανθρώπινο παράγοντα. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται το κόστος, αυξάνεται η αξιοπιστία αλλά και οι ανάγκες για ενέργεια.

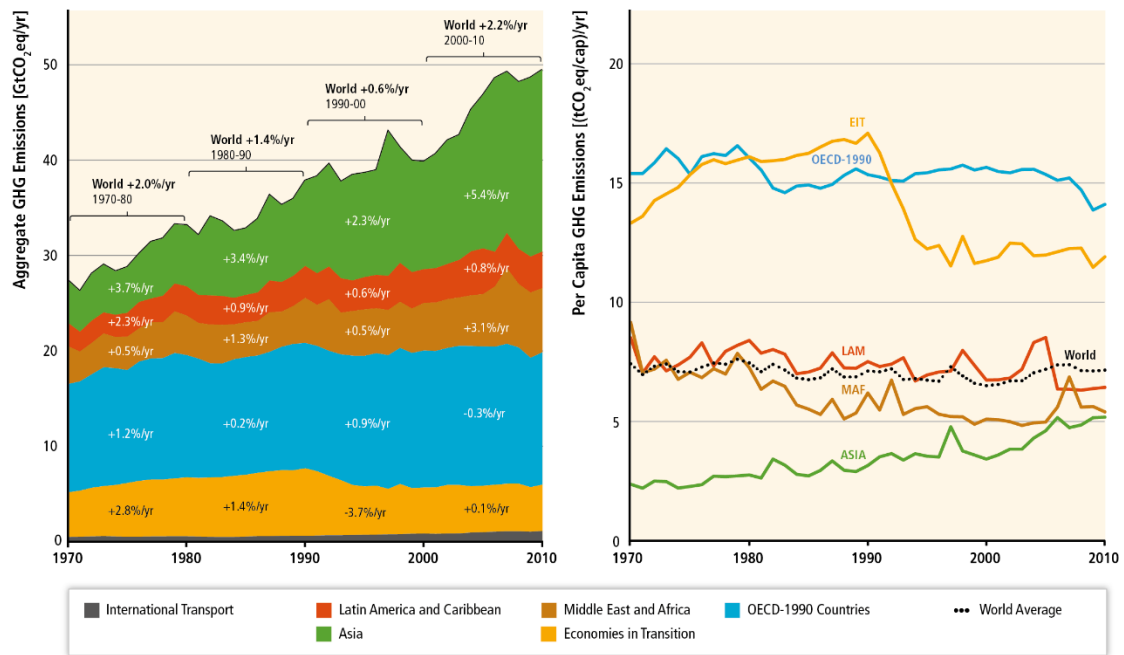


Figure 2 Η Αύξηση των εκπομπών Θερμοκηπίου σε GtCO₂ equivalent και οι Κατά-κεφαλήν εκπομπές Θερμοκηπίου σε τόνους ισοδύναμου CO₂ / άτομο από το 1970 έως το 2010 [4]

Μέχρι σήμερα όμως, κύρια πηγή της ενέργειας αυτής αποτελεί η καύση των ανθρακικών αλυσίδων που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Πρόκειται για μια φυσική διεργασία η οποία όταν γίνεται σε υπέρμετρο βαθμό επιφέρει ποικίλες αρνητικές συνέπειες. Μία από αυτές είναι η κλιματική αλλαγή. Η αλλαγή του κλίματος έχει ήδη εμφανή αποτελέσματα που εκτείνονται από την αύξηση της θερμοκρασίας, την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης λόγω της τήξης των πάγων, έως την πλήρη εξαφάνιση ειδών που δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις αλλαγές των οικοσυστημάτων τους.

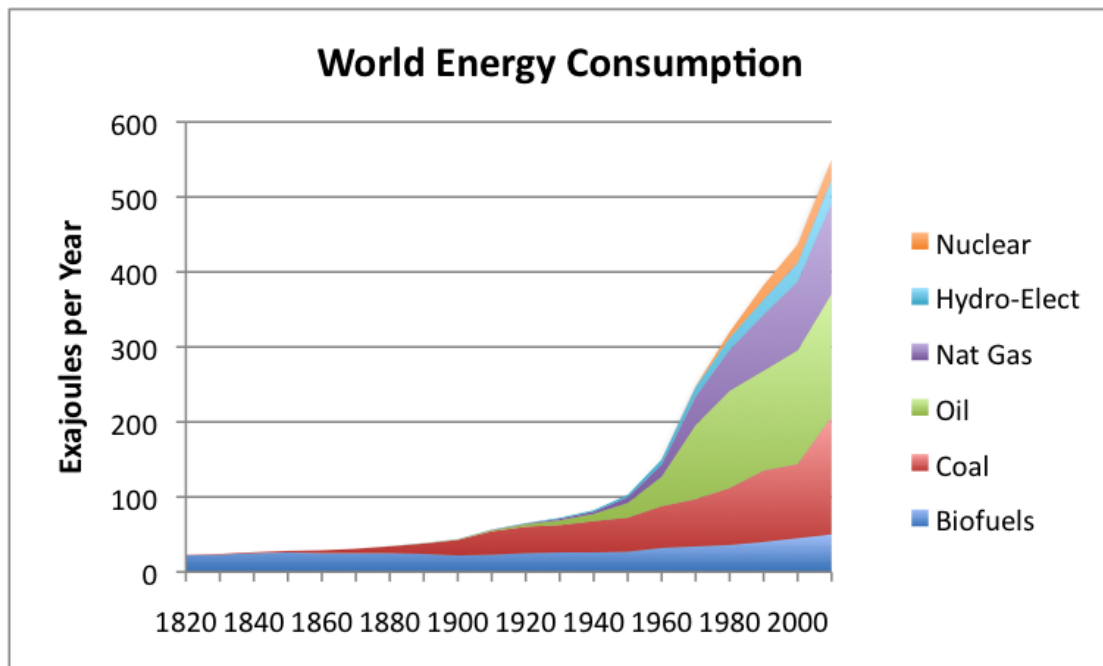


Figure 3 World Energy Consumption since 1820 [3]

Αρχικό ζήτημα είναι η βιωσιμότητα της χρήσης της ενέργειας αυτού του τύπου. Η δημιουργία υδρογονανθράκων είναι κυρίως αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης. Φυτοπλαγκτόν και φυτά δεσμεύουν ηλιακή ακτινοβολία, διοξείδιο του άνθρακα και νερό και τα μετατρέπουν σε οργανικές ενώσεις και οξυγόνο. Με τον τρόπο αυτό αποθηκεύεται ηλιακή ενέργεια σε ανθρακικές αλυσίδες. Μικρό μέρος των ανθρακικών αυτών αλυσίδων φτάνει μετά από επεξεργασία ετών στη μορφή των ορυκτών καυσίμων. Το κύριο πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η κατανάλωση των ορυκτών αυτών καυσίμων είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή τους. Επιπλέον, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων θερμοκηπίου –παραγώγων της ατελούς καύσης, οι οποίες ήταν δεσμευμένες εδώ και εκατομμύρια χρόνια σε ανθρακικές αλυσίδες χωρίς να δίνεται αρκετός χρόνος για την επαναφορά του οικοσυστήματος σε συνθήκες ισορροπίας. Έτσι εμφανίζεται αύξηση της ποσότητας των ρύπων αυτών στην ατμόσφαιρα.

«CO2 is the exhaling breath of our civilization, literally... Changing that pattern requires a scope, a scale, a speed of change that is beyond what we have done in the past».

Al Gore

Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την αλλαγή του κλίματος, μια ομάδα με 1300 ανεξάρτητους ερευνητές από όλο τον κόσμο υπό την αιγίδα των Ηνωμένων εθνών, κατέληξαν στο ότι υπάρχει πιθανότητα μεγαλύτερη του 90% η ευθύνη για την υπερθέρμανση του πλανήτη τα τελευταία χρόνια να οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι τα τελευταία 150 χρόνια έχουμε αύξηση του επιπέδου του διοξειδίου του άνθρακα από 280 σε 400 parts per million. Ένα μεγάλο μερίδιο ευθύνης για τη μεταβολή αυτή φέρουν οι βιομηχανίες στις οποίες βασίζεται ο μοντέρνος πολιτισμός. Η επιτροπή κατέληξε ακόμα στο γεγονός ότι υπάρχει πιθανότητα μεγαλύτερη του 90% οι ανθρωπογενείς ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και τα οξείδια του αζώτου να ευθύνονται για την αύξηση της θερμοκρασίας που έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 50 χρόνια.

Είναι πλέον εμφανές ότι κατά τη διάρκεια των 100 τελευταίων χρόνων έχει σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας της γης κατά $0.7 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ γεγονός που αποδίδεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

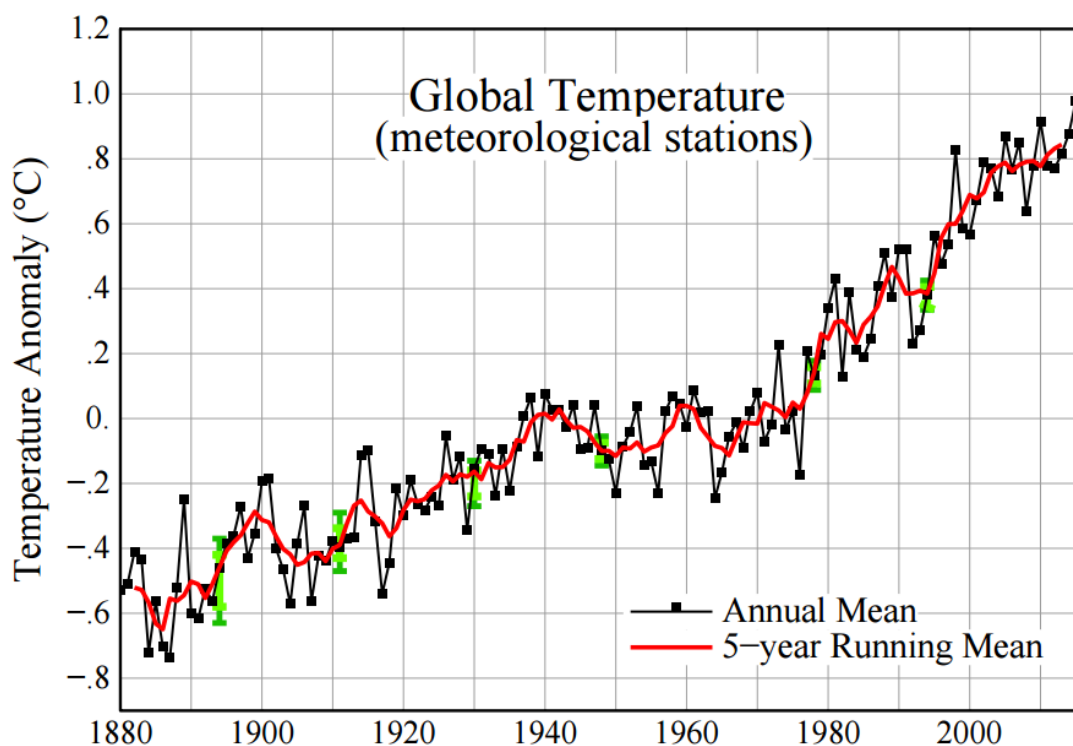


Figure 4 Global Temperature Anomaly σε βαθμούς Κελσίου (1880-2014) [5]

1.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

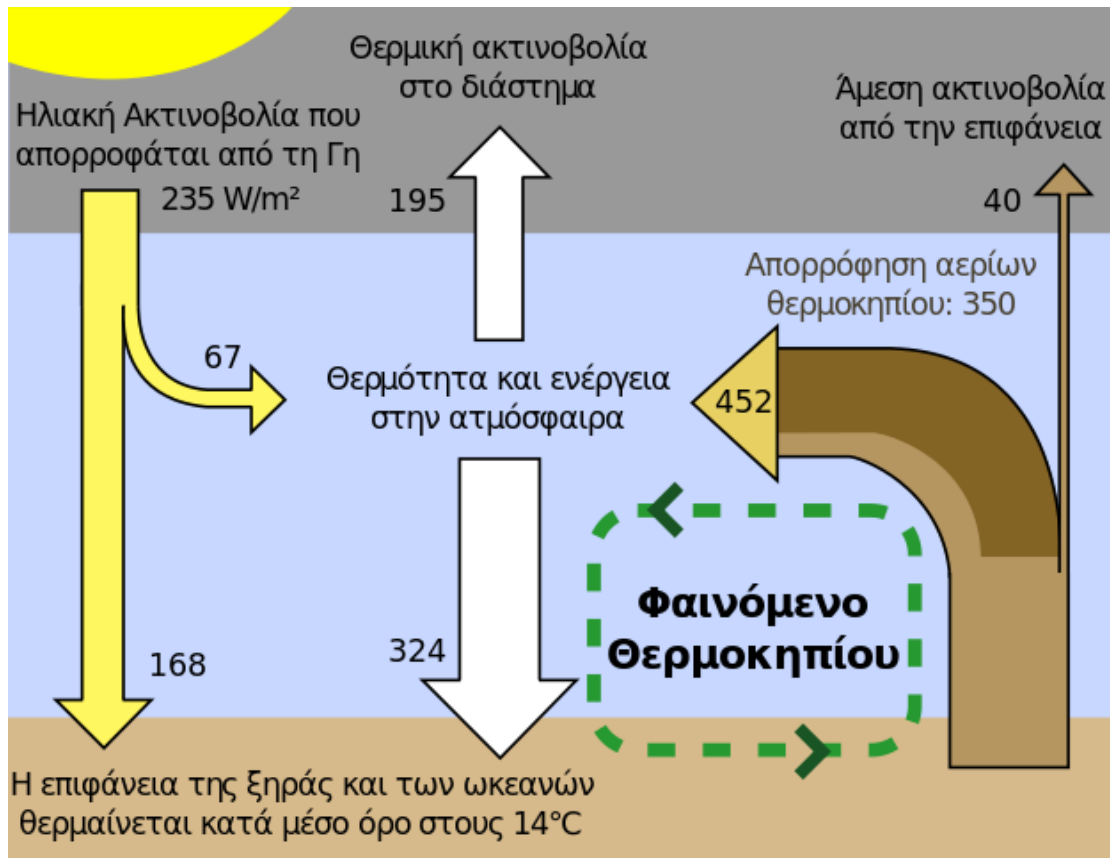


Figure 5 Σχηματική Απεικόνιση Μηχανισμού του Φαινομένου του Θερμοκηπίου [6]

Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αποτελεί μια φυσική διεργασία η οποία οφείλεται στα αέρια του Θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά δημιουργούν ένα στρώμα το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη γη, αλλά παράλληλα εμποδίζει μέρος της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας να διαφύγει. Το φαινόμενο αυτό καθιστά τη γη ικανή για ζωή, αφού χωρίς αυτό η μέση θερμοκρασία της γης υπολογίζεται ότι θα ήταν κατά 18 βαθμούς Κελσίου λιγότερη. Θεωρείται ότι όλα τα αέρια επηρεάζουν λίγο πολύ στο φαινόμενο αυτό, αλλά κάποια από αυτά προκαλούν μεγαλύτερο πρόβλημα από άλλα.

Τα κύρια αέρια θερμοκηπίου είναι: οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το όζον. Μπορεί το φαινόμενο του Θερμοκηπίου να είναι απαραίτητο για τη ζωή όπως την ξέρουμε, αλλά είναι προϊόν μιας εύθραυστης ισορροπίας την οποία ο άνθρωπος με την δραστηριότητα του διαταράσσει.

Annual Greenhouse Gas Emissions by Sector

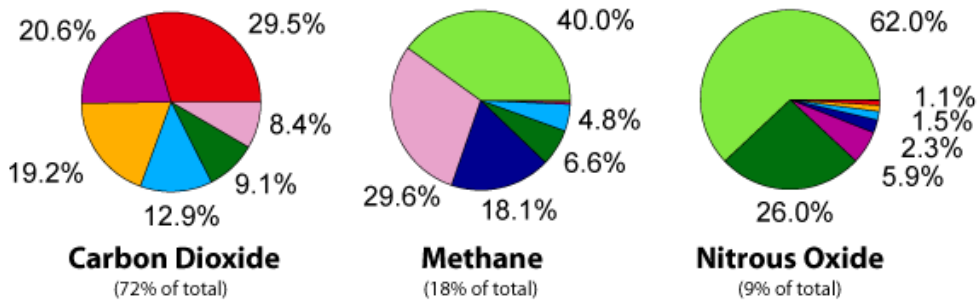
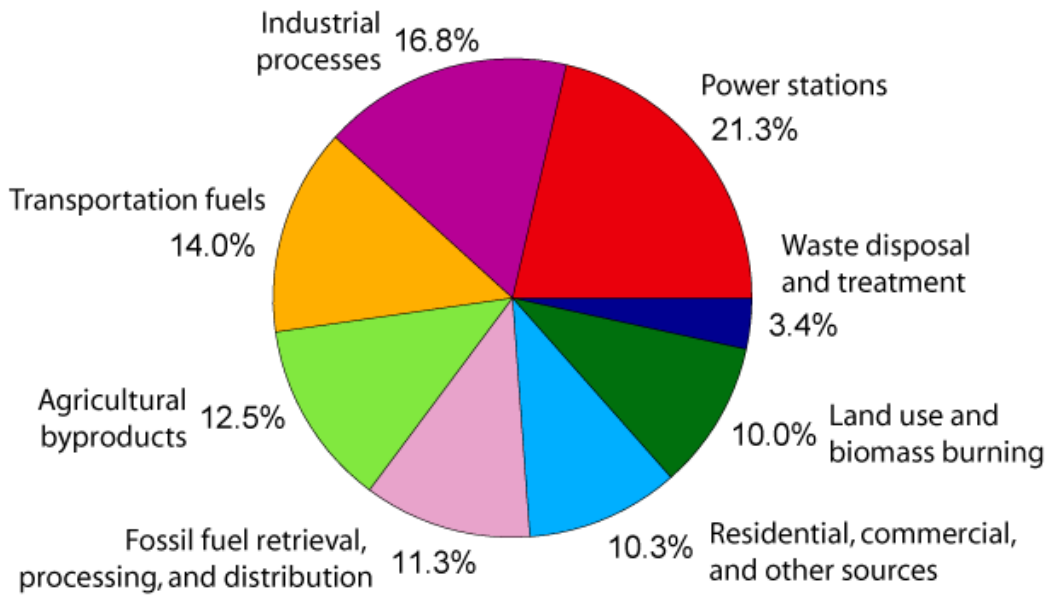


Figure 6 Η επίδραση των κύριων Βιομηχανικών Τομέων στα αέρια του Θερμοκηπίου [7]

1.2 Για τον έλεγχο εκπομπών ρύπων και τις αγορές αδειών εκπομπών

Μία εξωγενής επίδραση εμφανίζεται όταν ένας παίχτης λαμβάνει αποφάσεις, οι οποίες επηρεάζουν τους υπόλοιπους χωρίς ανάλογο κόστος για αυτόν. Μέχρι πρότινος, οι παίχτες ο οποίοι δημιουργούσαν τέτοιες εξωγενείς επιδράσεις δεν είχαν κίνητρα ώστε να λάβουν υπόψιν τις συνέπειες των πράξεων τους για τους γύρω τους. Ακόμα, το κόστος για τον ιδιώτη που ρυπαίνει το περιβάλλον -μια αρνητική εξωγενής επίδραση, είναι μικρότερο σε σχέση με το κόστος που έχει η δράση αυτή για την κοινωνία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα επίπεδα της ρύπανσης να είναι υψηλότερα από το κοινωνικά βέλτιστο και άρα το σύστημα να μη λειτουργεί αποδοτικά.

Για τους οικονομολόγους η λύση στο πρόβλημα αυτό βρίσκεται στην κοστολόγηση των εξωγενών επιδράσεων. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το ιδιωτικό κόστος όσον αφορά τη ρύπανση, με στόχο την επίτευξη του κοινωνικά βέλτιστου κόστους και άρα των κοινωνικά βέλτιστων εκπομπών ρύπων. Για την επίτευξη της εισαγωγής του κόστους αυτού κατά τη λήψη αποφάσεων έχουμε δύο κατηγορίες ευέλικτων φορολογιών. Το φόρο Πιγκού (Pigouvian Tax) και το σύστημα αγοράς αδειών εκπομπών. Η κεντρική ιδέα γύρω από τις τεχνικές αυτές είναι ότι ο κάθε παραγωγός θα έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα μειώσει τις εκπομπές του. Έτσι, παραγωγοί με χαμηλότερα κόστη μετάβασης σε καθαρότερες τεχνολογίες θα κάνουν ακόμα μεγαλύτερη μείωση στις εκπομπές τους και αντιστρόφως, μέχρι να φτάσουμε στη λύση με το ελάχιστο συνολικό κόστος.

Η ιδέα για το φόρο του Ρίγου εισήχθη από τον ίδιο το 1920 με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της αγοράς. Στο διάσημο παράδειγμα του νόμου αυτού φορολογούνται οι καταστροφές αγροτικών εκτάσεων από τις σιδηροδρομικές εταιρίες στην Αγγλία του 19^{ου} αιώνα μέσω της φορολόγησης του καπνού. Οι εταιρίες έπρεπε να μειώσουν τις σπίθες οι οποίες προέκυπταν από τη μετακίνηση των αμαξοστοιχιών αλλιώς ήταν υποχρεωμένες να πληρώσουν φόρο, τα έσοδα του οποίου πήγαιναν στην αναδάσωση των εκτάσεων που καταστρέφονταν από τη φωτιά.

Η ιδέα για την ανταλλαγή αδειών εκπομπών ρύπων ξεκίνησε από τον Dales (1968) και βασίστηκε στην επίλυση του Coase. Ο Coase (1960) πρότεινε μία λύση η οποία περιλάμβανε δικαιώματα ιδιοκτησίας για αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις όπως οι εκπομπές ρύπων. Έτσι με τις ανταλλαγές των δικαιωμάτων αυτών, οι παραγωγοί και η κοινωνία αλληλεπιδρούν μέχρι τελικά να πετύχουν την κοινωνικά βέλτιστη τιμή για τις εκπομπές των ρύπων. Αυτό συμβαίνει επειδή τελικά τα κέρδη που προκύπτουν από την εκπομπή των ρύπων θα εξισωθούν τελικά με το κόστος των αδειών.

Βασισμένα στην προσέγγιση του Coase, τα market-based instruments θεωρούνται πια ένας αποδοτικός τρόπος για τη μείωση της ρύπανσης. Μια κεντρική εξουσία θέτει ένα μέγιστο για τον αριθμό ρύπων των οποίων θα γίνει εκπομπή σε κάποιο χρονικό διάστημα. Το μέγιστο αυτό διαιρείται σε άδειες που δίνουν το δικαίωμα εκπομπής για συγκεκριμένη ποσότητα ρύπου. Οι άδειες διανέμονται σε κάποιους παραγωγούς και εμπορεύονται. Έτσι προκύπτει τιμή για την αγορά ή πώληση των αδειών εκπομπών ρύπων. Οι αγοραστές πληρώνουν την τιμή αυτή για να αγοράσουν άδειες και να αυξήσουν τις εκπομπές τους, ενώ αντίστοιχα οι πωλητές που έχουν περίσσεια αδειών τις πουλάνε με σκοπό το κέρδος. Με τον τρόπο αυτό, παραγωγοί με χαμηλά κόστη μείωσης εκπομπών έχουν κίνητρο να μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές τους, ενώ παραγωγοί με υψηλά κόστη μείωσης εκπομπών μπορούν να αγοράσουν περισσότερες άδειες. Έτσι τα εργαλεία άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής που βασίζονται στην αγορά, επιτυγχάνουν σε θεωρητικό τουλάχιστον βαθμό το ελάχιστο κοινωνικό κόστος.

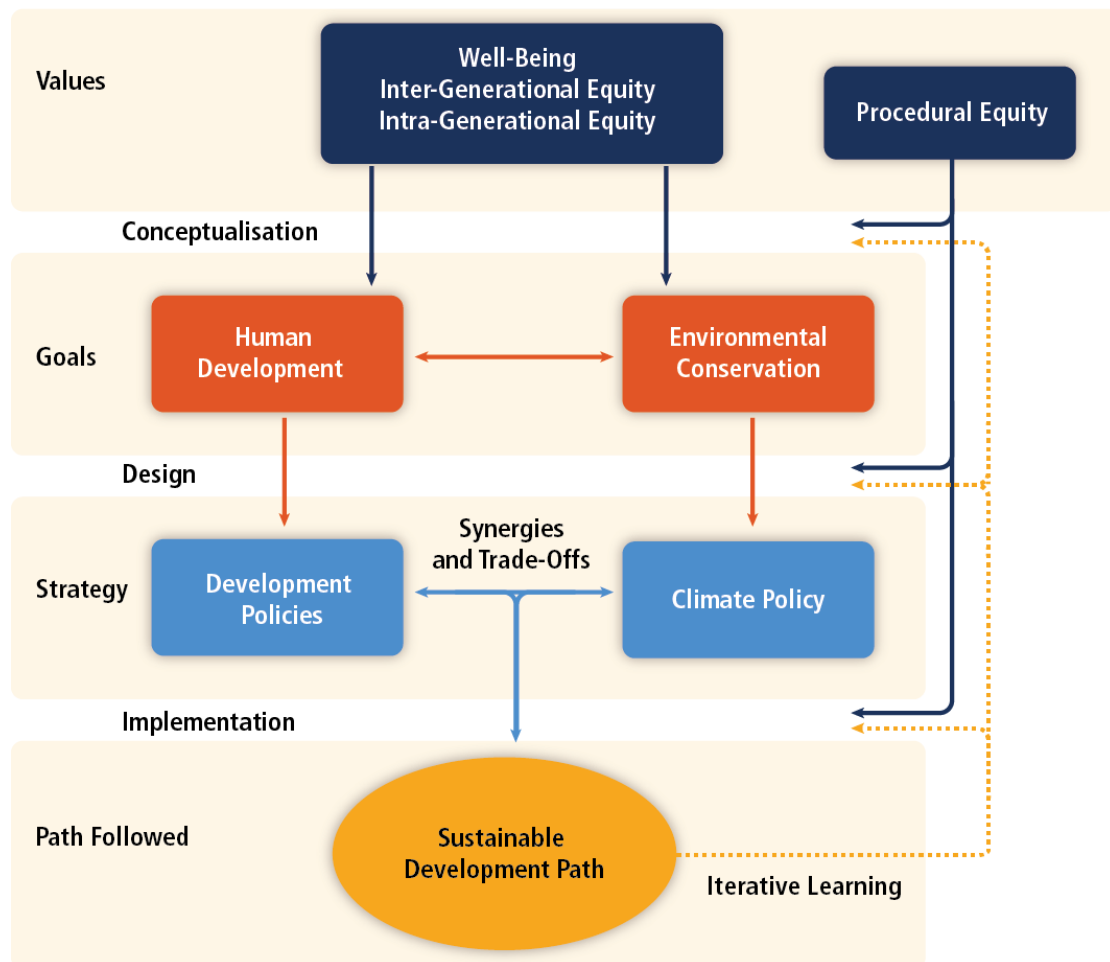


Figure 7 Ο δρόμος για την Αειφόρο Ανάπτυξη [4]

2. Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το πρωτόκολλο του Κιότο είναι μια διεθνής συμφωνία, η πρωτοβουλία της οποίας οφείλεται στα Ηνωμένα Έθνη με θέμα τη λήψη μέτρων για την κλιματική αλλαγή. Είχε δεσμευτικό χαρακτήρα για τις 15 Ευρωπαϊκές χώρες μέλη της τότε Ευρωπαϊκής κοινότητας και στόχευε στην μείωση των εκπομπών ρύπων. Σε αντίθεση με τη σύμβαση, το πρωτόκολλο επέβαλλε στις χώρες να πράξουν όσα συμφωνήθηκαν για την σταθεροποίηση κι στη συνέχεια μείωση των εκπομπών ρύπων. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο υιοθετήθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, όταν η ευρωζώνη είχε πια 25 κράτη μέλη. Οι λεπτομερείς κανόνες για την εφαρμογή του εκδόθηκαν στο Μαρρακές το 2001. Η συμφωνία αυτή έθεσε δεσμευτικούς στόχους για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Κεντρικός του άξονας ήταν σε πρώτη φάση (2008-2012) η μείωση των εκπομπών αερίων στις βιομηχανικές χώρες κατά 5,2% σε σχέση με τα επίπεδα το 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια). Το Νοέμβριο του 2004, έγινε αποδεκτό από την Ρωσία ενώ δεν έχει υπογραφεί από τις ΗΠΑ, το Μονακό, την Αυστραλία και το Λιχτενστάιν. Μέχρι σήμερα έχει επικυρωθεί από 191 κράτη συνολικά, τα οποία χωρίστηκαν σε παραρτήματα ανάλογα με την οικονομική τους κατάσταση και το πόσο ευάλωτα είναι στην κλιματική αλλαγή.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο θέτει στις αναπτυγμένες χώρες περιορισμού όσον αφορά τις εκπομπές των ακόλουθων αερίων θερμοκηπίου:

- Διοξείδιο του Άνθρακα : διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): εκλύεται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων, ξύλου ή άλλων υλικών από άνθρακα, αλλά επίσης απορροφάται από τα φυτά και τα δένδρα
- Μεθάνιο (CH_4): οι εκπομπές του προέρχονται από ευρύ φάσμα φυσικών πηγών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, όπως παραγωγή ορυκτών καυσίμων, δραστηριότητες εκτροφής ζώων, καλλιέργεια ρυζιού και διαχείριση αποβλήτων
- Υποξείδιο του αζώτου (N_2O): οι πηγές εκπομπών του είναι η χρήση λιπασμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και η βιομηχανική παραγωγή χημικών με χρήση αζώτου
- Τεσσάρων τύπων φθοριούχων αερίων που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για βιομηχανική χρήση: Υδροφθοράνθρακες (HFCs), Υπερφθοράνθρακες (PFCs), Εξαφθοριούχο Θείο (SF_6) και Τριφθορίδιο του Αζώτου.

Από το πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπονται ευέλικτοι μηχανισμοί που επιτρέπουν μείωση των παραπάνω αερίων με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο και είναι οι ακόλουθοι:

- Η Εμπορία Παγκόσμιων Δικαιωμάτων Εκπομπών (International Emissions Trading)
- Η Κοινή Εφαρμογή (Joint Implementation) για χώρες του Παραρτήματος Ι
- Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism) για τις χώρες εκτός Παραρτήματος Ι.

Σε πρώτη φάση θα γίνει περιγραφή των μηχανισμών της κοινής εφαρμογής και του μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης. Εκτενής ανάλυση για την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών θα γίνει στη συνέχεια.

Οι μηχανισμοί Κοινής Εφαρμογής (Joint Implementation) και Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism) βασίζονται σε έργα τα οποία μειώνουν τις εκπομπές ρύπων και δημιουργούν πιστωτικά μόρια (ERUs και CERs αντίστοιχα) που μπορούν να διοχετευτούν στην παγκόσμια αγορά άνθρακα. Η υλοποίηση έργων Joint Implementation και Clean Development Mechanism οδηγεί σε μεταφορά μονάδων μειώσεων εκπομπών από μια χώρα σε άλλη, αλλά οι συνολικές επιτρεπόμενες εκπομπές ανά χώρα παραμένουν ίδιες.

2.1 Μηχανισμός Κοινής Εφαρμογής

Το άρθρο 6 του πρωτοκόλλου δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης κοινών προγραμμάτων και δραστηριοτήτων μεταξύ των χωρών του Παραρτήματος Ι της Σύμβασης. Η χώρα που χρηματοδοτεί τις δραστηριότητες αυτές επωφελείται από τη μείωση των εκπομπών που θα προκύψει από την υλοποίηση του προγράμματος στην άλλη συμβαλλόμενη χώρα. Βασική προϋπόθεση είναι οι δραστηριότητες αυτές να επιφέρουν επιπλέον μείωση εκπομπών στην χώρα εφαρμογής.

2.2 Μηχανισμός καθαρής ανάπτυξης

Το άρθρο 12 προβλέπει τη δυνατότητα υλοποίησης προγραμμάτων από αναπτυσσόμενες χώρες (Παράρτημα Ι σύμβασης) σε αναπτυσσόμενες χώρες. Με προϋπόθεση την εθελοντική συμμετοχή οι αναπτυσσόμενες χώρες επωφελούνται από τις μειώσεις των εκπομπών που προκύπτουν για εκπλήρωση μέρους των υποχρεώσεών τους ενώ οι αναπτυσσόμενες ωφελούνται από την υλοποίηση των προγραμμάτων (χρηματοδότηση, τεχνολογία κλπ.). Απαραίτητη είναι η πιστοποίηση επιπλέον μείωσης εκπομπών και υπαρκτά οφέλη για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών στην αναπτυσσόμενη χώρα.

3. Δράσεις της Ε.Ε. για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Η ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική θεωρείται ότι ξεκίνησε το 1972. Στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο των Παρισίων, οι ευρωπαίοι αρχηγοί κρατών και κυβερνήσεων (μετά την πρώτη διάσκεψη του ΟΗΕ για το περιβάλλον) δήλωσαν την ανάγκη να πλαισιωθεί η οικονομική επέκταση από μια κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική και ζήτησαν ένα κοινό πρόγραμμα δράσης. Η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη του 1987 εισήγαγε ένα νέο περιβαλλοντικό κεφάλαιο το οποίο αποτέλεσε την πρώτη νομική βάση μιας κοινής περιβαλλοντικής πολιτικής με στόχο τη διαφύλαξη της ποιότητας του περιβάλλοντος, την προστασία της ανθρώπινης υγείας και τη διασφάλιση μιας ορθολογικής χρήσης των φυσικών πόρων. Οι αναθεωρήσεις των Συνθηκών που ήρθαν κάποια χρόνια αργότερα, ενίσχυσαν τη δέσμευση της Κοινότητας υπέρ της προστασίας του περιβάλλοντος και τον ρόλο του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου στην ανάπτυξη μιας περιβαλλοντικής πολιτικής. Η Συνθήκη του Μάαστριχτ (1993) καθιέρωσε το περιβάλλον ως ένα επίσημο πεδίο πολιτικής για την Ευρωπαϊκή Ένωση, εισήγαγε τη διαδικασία των από κοινού αποφάσεων και κατέστησε γενικό κανόνα στο Συμβούλιο την ειδική πλειοψηφία. Η Συνθήκη του Άμστερνταμ (1999) εισήγαγε την υποχρέωση ενσωμάτωσης της περιβαλλοντικής προστασίας σε όλες τις τομεακές πολιτικές της Ε.Ε. με σκοπό την προαγωγή της βιώσιμης ανάπτυξης. Η «αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής» έγινε ειδικός στόχος με τη Συνθήκη της Λισαβόνας (2009), όπως και η βιώσιμη ανάπτυξη στο πλαίσιο των σχέσεων με τις τρίτες χώρες. Έτσι έγινε η εισαγωγή μιας νέας νομικής μορφής που επιτρέπει στην Ευρωπαϊκή Ένωση να συνάπτει διεθνείς συμφωνίες.

Οι ηγέτες της Ε.Ε. έχουν θέσει για το 2020 ορισμένους από τους πλέον φιλόδοξους στόχους σχετικά με το κλίμα και την ενέργεια, και η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί την πρώτη περιοχή του κόσμου που έχει θεσπίσει δεσμευτική νομοθεσία για να διασφαλίσει την επίτευξη τέτοιων στόχων. Πιο συγκεκριμένα έχει τεθεί στόχος το 2020 να έχει γίνει μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου κατά 20% σε σχέση με τα αναφορικά επίπεδα του 1990 και κατά 30% αν τις ακολουθήσουν και οι υπόλοιπες αναπτυσσόμενες χώρες. Ένας πιο μακρινός στόχος της Ε.Ε. για το 2050 είναι η μείωση κατά 80% των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με τα αναφορικά επίπεδα του 1990.

3.1 Πλαίσιο 2030

Τον Οκτώβριο του 2014 εγκρίθηκε από τους ηγέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ένα πλαίσιο το οποίο θα συμβάλει στη συνεχή πρόοδο προς μία οικονομία χαμηλών εκπομπών και στην επικράτηση των φιλόδοξων στόχων της Ε.Ε. κατά τις διεθνείς διαπραγματεύσεις για το κλίμα. Στόχος του πλαισίου αυτού είναι η δημιουργία ενός οικονομικού συστήματος το οποίο εγγυάται οικονομικά προσιτή ενέργεια για τους καταναλωτές, αυξάνει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και μειώνει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ενέργειας, περιορίζει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και δημιουργεί νέες ευκαιρίες για πράσινη ανάπτυξη και απασχόληση. Το πλαίσιο αυτό προβλέπει έως το 2030 μείωση των πανευρωπαϊκών εκπομπών τουλάχιστον κατά 40% κάτω από τα επίπεδα του 1990.

Για την επίτευξη των κύριων στόχων του συστήματος ενέργειας καίριο λόγο στη μετάβαση αυτή έχουν οι πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Οι ηγέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης συμφώνησαν να αυξηθεί το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας σε τουλάχιστον το 27% της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2030. Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο για την προσέγγιση των στόχων που τέθηκαν είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Η μείωση των εκπομπών πρέπει ταυτόχρονα να συνοδεύεται και από χαμηλό κόστος ενέργειας τηρώντας απόλυτα την αποτελεσματική συμβολή του συστήματος ΣΕΔΕ της Ε.Ε. στην επίτευξη των συνολικών στόχων για το κλίμα. Το γεγονός αυτό καθιστά την αναδιαμόρφωση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών το κυριότερο μέσο επίτευξης των ορίων που τίθενται.

3.2 Ιστορία και Μέλλον του EU Emissions Trading Scheme

Το EU ETS, που αποτελεί το μεγαλύτερο σύστημα εμπορίας εκπομπών στον κόσμο και τη βάση της στρατηγικής της ΕΕ για το κλίμα. Ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2005 ως μια πανευρωπαϊκή προσπάθεια μείωσης αερίων θερμοκηπίου. Η θέσπισή του έλαβε χώρα με την οδηγία 2003/87/ΕΚ ενώ με την οδηγία 2004/101/ΕΚ έγινε σύνδεση των αδειών του EU ETS με τις άδειες που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο, δηλαδή των μονάδων μείωσης εκπομπών (ERUs) και των πιστοποιημένων μειώσεων εκπομπών (CER).

EU-15 Countries	CO2 Emissions (in Mt)	Reduction Requirement (in %)
Austria	55,1	13,0
Belgium	106,3	7,5
Denmark	52,8	21,0
Finland	53,2	0,0
France	354,1	0,0
Germany	943,0	21,0
Greece	71,1	-25,0
Ireland	29,7	-13,0
Italy	390,8	6,5
Netherlands	152,9	6,0
Portugal	39,0	-27,0
Spain	203,8	-15,0
Sweden	50,6	-4,0
UK	569,1	12,5
EU (Total)	3071,5	8,60

Figure 8 Αρχική Δέσμευση των Ευρωπαϊκών χωρών για την έναρξη του EU ETS

Κύριος στόχος του EU ETS είναι η επίτευξη μειώσεων των εκπομπών πανευρωπαϊκά με τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο. Επιπροσθέτως, προσφέρει μια τιμή στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Με τον τρόπο αυτό οι εκπομπές λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη επενδυτικών αποφάσεων.

3.2.1 Η πρώτη φάση (Ιανουάριος 2005 – Δεκέμβριος 2007):

Στην πρώτη φάση έλαβαν μέρος όλα τα 15 μέλη της Ε.Ε. και ως εισαγωγική φάση ο μεγαλύτερος αριθμός αδειών δόθηκε δωρεάν και κάλυπτε περίπου το 40% των συνολικών ευρωπαϊκών εκπομπών. Στόχος της πρώτης φάσης ήταν η εξέταση της τιμής των αδειών εκπομπών στην αγορά καθώς και η δοκιμή των μεθόδων εξακρίβωσης, ελέγχου και αναφοράς των εκπομπών. Στο σύστημα περιλαμβάνονταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από δραστηριότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και βιομηχανίες όπως διυλιστήρια πετρελαίου, εγκαταστάσεις καύσεως με ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20MW, βιομηχανίες παραγωγής και επεξεργασίας σιδηρούχων μετάλλων και βιομηχανίες επεξεργασίας ανόργανων υλικών. Το ανώτατο ετήσιο πανευρωπαϊκό όριο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που κατανεμήθηκε στις περίπου 12,000 εγκαταστάσεις που συμμετείχαν ήταν 2.3 δις τόνοι. Από αυτά, το 95% των αδειών κατανεμήθηκε δωρεάν, ενώ το υπόλοιπο 5% μέσω πλειστηριασμών.

Κύρια χαρακτηριστικά της πρώτης φάσης ήταν τα εξής:

- Το σύστημα ξεκίνησε σε πιλοτικό επίπεδο και υπήρχαν αρκετά σημάδια ελλιπούς οργάνωσης
- Έλλειψη επαρκών δεδομένων για το διαμοιρασμό των αδειών και την επιβολή ορίων
- Οι άδειες δεν μπορούσαν να μεταφερθούν σε μεταγενέστερες περιόδους

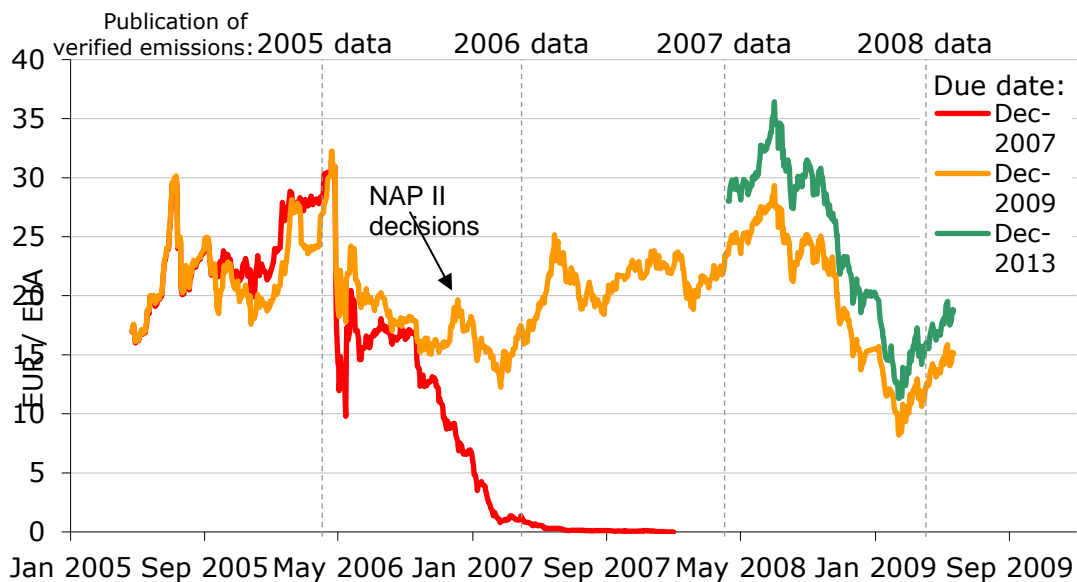


Figure 9 Η τιμή των αδειών για την 1η Φάση του EU ETS (κόκκινο χρώμα) [8]

Στο διάγραμμα, ακολουθώντας την κόκκινη χρονοσειρά παρατηρούμε τη διακύμανση της τιμής των αδειών στο χρόνο. Μπορούμε να παρατηρήσουμε επίσης, ότι στην αρχή του προγράμματος οι υψηλές προσδοκίες της αγοράς έφεραν την τιμή των αδειών στα 30€, η οποία ουσιαστικά να μηδενίζεται (0.1€/ton CO₂) προς το τέλος της πρώτης περιόδου.

Οι λόγοι που οδήγησαν στον μηδενισμό της τιμής των αδειών είναι οι εξής:

- Υπερπληθώρα εκδιδόμενων και δωρεάν αδειών
- Οι άδειες είχαν μηδενική αξία μετά το πέρας της περιόδου

Όπως μπορούμε να δούμε στον επόμενο πίνακα από τον ισότοπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η χαμηλή τιμή των αδειών και η αδυναμία θέσπισης κατάλληλων ορίων οδήγησε τελικά σε αύξηση των συνολικών ευρωπαϊκών εκπομπών για την 1^η φάση του EU ETS.









Country	Verified emissions		Change	
	2005	2006	2007	2005–2007
 Austria	33,372,826	32,382,804	31,751,165	-4.9%
 Belgium	55,363,223	54,775,314	52,795,318	-4.6%
 Cyprus	5,078,877	5,259,273	5,396,164	6.2%
 Czech Republic	82,454,618	83,624,953	87,834,758	6.5%
 Germany	474,990,760	478,016,581	487,004,055	2.5%
 Denmark	26,475,718	34,199,588	29,407,355	11.1%
 Estonia	12,621,817	12,109,278	15,329,931	21.5%
 Spain	183,626,981	179,711,225	186,495,894	1.6%
 Finland	33,099,625	44,621,411	42,541,327	28.5%
 France	131,263,787	126,979,048	126,634,806	-3.5%
 Greece	71,267,736	69,965,145	72,717,006	2.0%
 Hungary	26,161,627	25,845,891	26,835,478	2.6%
 Ireland	22,441,000	21,705,328	21,246,117	-5.3%
 Italy	225,989,357	227,439,408	226,368,773	0.2%
 Lithuania	6,603,869	6,516,911	5,998,744	-9.2%
 Luxembourg	2,603,349	2,712,972	2,567,231	-1.4%
 Latvia	2,854,481	2,940,680	2,849,203	-0.2%
 Netherlands	80,351,288	76,701,184	79,874,658	-0.6%
 Poland	203,149,562	209,616,285	209,601,993	3.2%
 Portugal	36,425,915	33,083,871	31,183,076	-14.4%
 Sweden	19,381,623	19,884,147	15,348,209	-20.8%
 Slovenia	8,720,548	8,842,181	9,048,633	3.8%
 Slovakia	25,231,767	25,543,239	24,516,830	-2.8%
 United Kingdom	242,513,099	251,159,840	256,581,160	5.8%
Total	2,012,043,453	2,033,636,557	2,049,927,884	1.9%

Figure 10: Η επίδραση της 1ης Περιόδου του EU ETS στην Ευρωπαϊκή Ένωση [9]

3.2.2 Η δεύτερη φάση (Ιανουάριος 2008 – Ιανουάριος 2012):

Στη δεύτερη φάση ήρθαν σημαντικές αλλαγές οι οποίες επέκτειναν ακόμα περισσότερο το ETS. Στις χώρες που λαμβάνουν μέρος προστέθηκαν η Ισλανδία, η Νορβηγία και το Λιχτενστάιν. Ακόμα, το σύστημα συμπεριέλαβε ρύπους όπως το διοξείδιο του αζώτου NO₂ ενώ από το 2012 και μετά εισήλθε στο σύστημα και ο τομέας της αεροπορικής βιομηχανίας.

Κύρια χαρακτηριστικά της φάσης αυτής ήταν τα εξής:

- Σημαντική μείωση στην παροχή ελεύθερων αδειών αλλά και στα όρια εκπομπών
- Δικαίωμα αποθήκευσης αδειών για χρήση σε επόμενες περιόδους
- Έναρξη δημοπρασιών για την αγορά αδειών σε συγκεκριμένες χώρες

Πιο συγκεκριμένα, η δεύτερη περίοδος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών συνέπιπτε χρονικά με τη λήξη της περιόδου που όριζε τους ευρωπαϊκούς στόχους σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο. Η ετήσια κατανομή των δικαιωμάτων ήταν 2.08 δις τόνοι CO₂, η οποία ήταν κατά 6.5% μικρότερη σε σχέση με το έτος αναφοράς (2005). Από αυτές, το 95% δόθηκε δωρεάν, εκ του οποίου το 5% αφορούσε τις νεοεισαχθείσες στο σύστημα εγκαταστάσεις. Η κατανομή του υπόλοιπου 5% έγινε μέσω πλειστηριασμών.

Παρόλες όμως τις αλλαγές αυτές το πρόβλημα πλεονάσματος των αδειών παρέμεινε. Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν κατάφερε να προβλέψει το μέγεθος της πτώσης στη ζήτηση ενέργειας λόγω της οικονομικής κρίσης η οποία συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με αποτέλεσμα η τιμή να παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα.

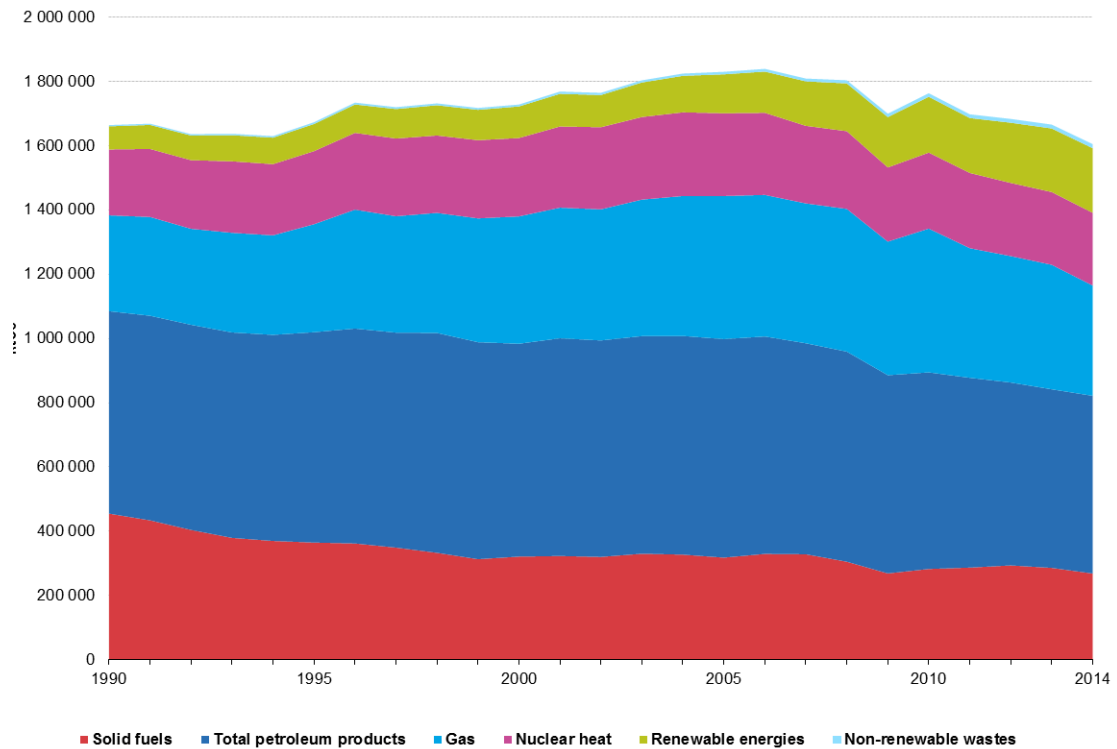


Figure 11 Gross Inland Energy Consumption EU-28, για την περίοδο 1990-2014 σε ktoe [10]

Αν και το μεγάλο πλεόνασμα αδειών που ήταν χαρακτηριστικό και της πρώτης περιόδου δεν άλλαξε, η τιμή δε μηδενίστηκε λόγω της δυνατότητας αποθήκευσης των αδειών για μελλοντική χρήση, αφού στην τρίτη περίοδο αναμένεται να υπάρξει έλλειψη στον αριθμό των αδειών.



Figure 12 Η τιμή των αδειών κατά τη 2η Φάση του EU ETS [11]

Αν αγνοήσουμε προς στιγμήν την οικονομική κρίση η οποία αποτελεί σημαντική παράμετρο, το ETS ήταν ο κύριος μηχανισμός χάρη στον οποίο η Ευρωπαϊκή Ένωση κατάφερε όχι μόνο να φτάσει αλλά και να ξεπεράσει τα όρια που είχαν τεθεί κατά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου του Κγγο. Όταν τα όρια για τα 15 μέλη που υπέγραψαν ήταν στο 8% μέχρι το 2012, η τελική μείωση των εκπομπών σε σχέση με τη χρονιά αναφοράς (1990) υπολογίζεται στο 12.2%. Αντίστοιχα για τα υπόλοιπα 11 μέλη τα οποία έγιναν μέλη της Ε.Ε. μέχρι το 2012 κατάφεραν να φτάσουν στα επίπεδα που επιβλήθηκαν από το πρωτόκολλο.

Από τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι μετά την οικονομική κρίση του 2009 η τιμή των αδειών καθώς και οι ευρωπαϊκές εκπομπές δεν κατάφεραν να φτάσουν στα προ κρίσης επίπεδα αφού η οικονομική κρίση αποτέλεσε σημαντικό πλήγμα για το ευρωπαϊκό ΑΕΠ αλλά και γενικότερα την παγκόσμια βιομηχανία. Η οικονομική κρίση έφερε μείωση στην παραγωγή και άρα μείωση στην ζήτηση των αδειών. Για το λόγο αυτό, η 2^η περίοδος έληξε με μεγαλύτερο αριθμό αδειών από τον προβλεπόμενο, γεγονός που χωρίς τη δυνατότητα αποθήκευσης των αδειών θα οδηγούσε σε μηδενισμό της τιμής τους.

3.2.3 Η τρίτη φάση (2013 – 2020):

Αυτή τη στιγμή διανύουμε την τρίτη φάση του μηχανισμού ETS. Η εμπειρία από τις δύο προηγούμενες φάσεις οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση σε σημαντικές αλλαγές στα κύρια χαρακτηριστικά του μηχανισμού, με στόχο την αύξηση και στη συνέχεια τη σταθεροποίηση της τιμής ώστε επιτευχθούν υψηλότερες επενδύσεις για καθαρότερη ενέργεια.

Οι κυριότερες αλλαγές είναι οι ακόλουθες:

- Ένα ενιαίο πανευρωπαϊκό όριο εκπομπών σε αντίθεση με το εθνικό όριο εκπομπών που υπήρχε στις προηγούμενες φάσεις
- Εισαγωγή νέων αερίων θερμοκηπίου στο σύστημα
- Ακόμα μεγαλύτερη μείωση των ελεύθερων αδειών ενώ δεν απονέμεται καμία ελεύθερη άδεια στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό συμβαίνει επειδή στις προηγούμενες φάσεις είχαμε εμφάνιση Windfall Profits στην ηλεκτροπαραγωγή η οποία επηρέαζε την τιμή της ενέργειας. Τα Windfall Profits όσον αφορά την αγορά αδειών, αναφέρονται στην αύξηση της τιμής της ενέργειας ανεξάρτητα του αν η ενέργεια αυτή παράχθηκε με παράγωγο το διοξείδιο του άνθρακα ή όχι.
- Χορήγηση 300 εκατομμυρίων αδειών για την επιδότηση καινοτόμων καθαρών τεχνολογιών με το New Entrants Reserve (NER 300)
- Υποδοχή Κροατίας στο μηχανισμό
- Δημιουργία Αποθεματικού για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς το 2018, το οποίο θα τεθεί σε ισχύ από το 2019 και θα περιλαμβάνει τις 900 εκατομμύρια άδειες που δεν δημοπρατήθηκαν (back-loaded allowances) το 2014-2016. Τα χαρακτηριστικά του Αποθεματικού για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς και του Back-Loading θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω.

Η ποσότητα των δικαιωμάτων που θα διανεμηθεί, ανέρχεται στους 2.04 δις τόνους για το 2013, ποσότητα η οποία θα ελαττώνεται κατά 1.74% ετησίως, με στόχο τη μείωση των εκπομπών κατά 21% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005 μέχρι το 2020.

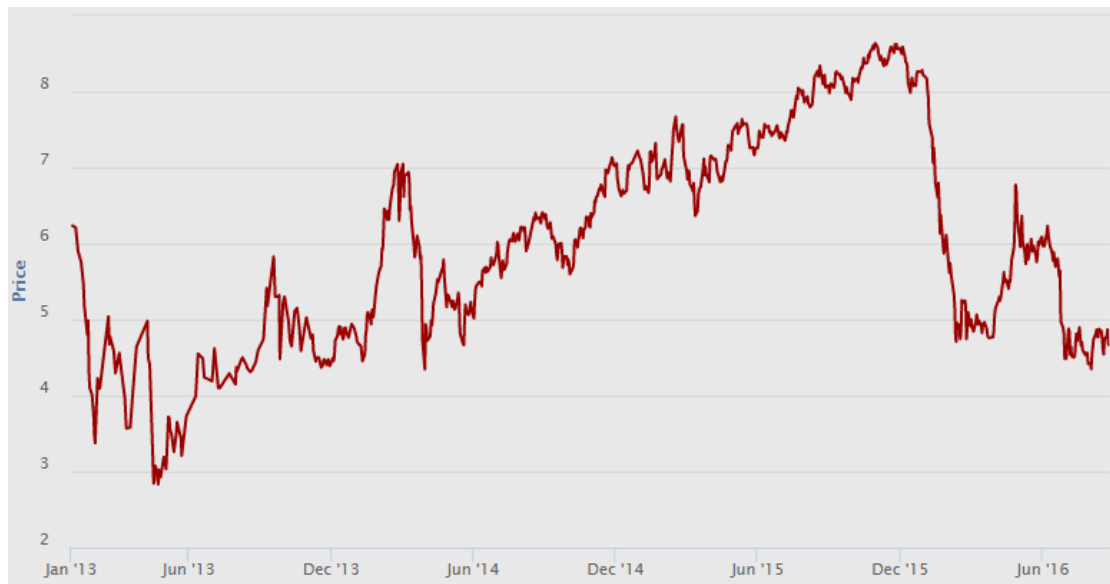


Figure 13 Η τιμή των αδειών από την αρχή της 3^{ης} Φάσης του EU ETS μέχρι τον Αύγουστο του 2016 [12]

Η εισαγωγή των νέων αερίων στο σύστημα, η μείωση των αδειών που παρέχονταν δωρεάν και η εισαγωγή της Κροατίας προκάλεσαν αύξηση στη ζήτηση των αδειών. Ταυτόχρονα, η μείωση των εκδιδόμενων αδειών κατά 1.74% ετησίως σε συνδυασμό με το Back-Loading και την εκκίνηση του MSR προς το τέλος της φάσης, συνεπάγονται μείωση της προσφοράς. Ως εκ τούτου, αναμέναμε αύξηση τιμής των αδειών για την περίοδο αυτή. Όπως είναι εμφανές και από το διάγραμμα παραπάνω οι παράγοντες αυτοί είχαν ήδη αρχίσει να προκαλούν αυξητική τάση στην τιμή των αδειών ενώ η διακύμανση της τιμής που παρατηρούνταν στις προηγούμενες περιόδους φαινόταν να έχει εκλείψει. Κανείς δε θα περίμενε όμως ότι η πτώση της τιμής του πετρελαίου θα έφερνε τέτοια μείωση στην τιμή των αδειών στις αρχές του 2016. Μια εξήγηση για το φαινόμενο αυτό είναι ότι η κατακρήμνιση της τιμής του πετρελαίου έφερε μεγάλη μείωση και στην τιμή του φυσικού αερίου. Έτσι, η μείωση του χάσματος κόστους μεταξύ των λιθανθράκων και του φυσικού αερίου ώθησε τους ηλεκτροπαραγωγούς να στραφούν στην πλέον οικονομικότερη και με λιγότερες εκπομπές εναλλακτική, γεγονός που προσέθεσε μεγάλο αριθμό αδειών στο ήδη υπάρχον πλεόνασμα, επιφέροντας αισθητές μειώσεις στην τιμή των αδειών.

3.2.4 Η τέταρτη φάση (2021-2030):

Όσον αφορά στην τέταρτη και τελευταία μέχρι στιγμής φάση θα έχουμε αύξηση του ρυθμού της μείωσης των εκπομπών σε σχέση με την τρίτη φάση ενώ προστίθεται ο μηχανισμός του αποθεματικού για τη σταθεροποίηση της αγοράς (Market Stability Reserve). Στην τέταρτη φάση αναμένεται να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της τάξης του 40% με αναφορά τις εκπομπές του 1990 μέχρι το 2030, όπως επιβάλλει το Πλαίσιο για το Κλίμα και την Ενέργεια έως το 2030.

Πιο συγκεκριμένα, από το 2021 θα έχουμε:

- Αύξηση από το 1.74% στο 2.2% στον ετήσιο αριθμό μείωσης των εκπομπών
- Εφαρμογή του Market Stability Reserve
- Νέα μέτρα για παροχή αδειών χωρίς κόστος με στόχο το μετριασμό της μετακίνησης των ρύπων σε χώρες εκτός Ε.Ε (Carbon Leakage)

Τα νέα αυτά μέτρα περιλαμβάνουν αναδιαμόρφωση της νομοθεσίας όσον αφορά τις άδειες που παρέχονται δωρεάν με στόχο τομείς με μεγαλύτερη πιθανότητα μεταφοράς σε περιοχές που δεν υφίσταται περιορισμός εκπομπών. Ακόμα, θα παρέχεται σημαντικός αριθμός αδειών σε νέες και αναπτυσσόμενες εγκαταστάσεις ενώ θα αναβαθμιστούν οι κανόνες όσον αφορά τις εκπομπές αναφοράς αντικατοπτρίζοντας καλύτερα την τεχνολογική πρόοδο, καθώς και όσον αφορά τη σύνδεση της παραγωγής με τις δωρεάν παρεχόμενες άδειες.

3.3 Back-loading

Στο τέλος του 2013 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ψήφισε υπέρ της εφαρμογής της πρότασης της Κομισιόν για το Back-Loading. Το Back-loading αποτελεί μηχανισμό για την ενίσχυση της τιμής των αδειών, ο οποίος δρα μειώνοντας την προσφορά των αδειών. Έτσι, αν για μια χρονιά αποφασιστεί μείωση των εκδιδόμενων αδειών μειώνεται η προσφορά οπότε αυξάνεται η τιμή δημοπρασίας. Ο κύριος λόγος που έλαβε χώρα αυτή η απόφαση ήταν η υπερπληθώρα πλεονάσματος αδειών που είχε συσσωρευθεί από τη δεύτερη φάση του ETS.

Έως τώρα έχουν δεσμευθεί:

- 400 εκατομμύρια άδειες για το 2014
- 300 εκατομμύρια για το 2015 και
- 200 εκατομμύρια για το 2016

Οι δημοπρασία των αδειών αυτών μεταφέρθηκε αρχικά για δημοπράτηση τις χρονιές 2019-2020 αλλά με νέα απόφαση του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου θα εισαχθούν στο Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της αγοράς το οποίο θα δημιουργηθεί το 2018.

3.4 Εισαγωγή του Market Stability Reserve

Τον Ιανουάριο του 2014 η ευρωπαϊκή επιτροπή κατέθεσε την πρόταση που συμπεριλάμβανε το Market Stability Reserve στο ευρωπαϊκό Συμβούλιο το οποίο στα μέσα του 2015 την επικύρωσε άτυπα και τελικά τον Ιούλιο του 2015 το Κοινοβούλιο την έθεσε σε ισχύ. Το MSR ή αλλιώς αποθεματικό για τη σταθερότητα της αγοράς αποτελεί ένα νέο εργαλείο το οποίο με την έναρξή του το 2019 αναμένεται να φέρει ακόμα μεγαλύτερη σταθεροποίηση στην τιμή των EUAs.

Το νομικό πλαίσιο στο οποίο κινείται το MSR με λίγα λόγια εκμεταλλεύεται το πλεόνασμα στην αγορά έτσι ώστε να δεσμεύσει ή να απελευθερώσει ανάλογο αριθμό αδειών. Έτσι δηλαδή αν υπάρχει πλεόνασμα αδειών –θεωρούμε πλεόνασμα τις άδειες που έχουν εκδοθεί και δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για να δικαιολογήσουν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου– πέρα από κάποιο συγκεκριμένο όριο, ο αριθμός των αδειών που θα ελευθερωθούν στην αγορά την επόμενη χρονιά μειώνεται αναλογικά με το πλεόνασμα και οι άδειες που δε θα εκδοθούν δεσμεύονται. Αντίστοιχα αν το πλεόνασμα είναι μικρότερο από κάποιο όριο απελευθερώνεται μέρος από τις άδειες που έχουν δεσμευτεί.

Με τον τρόπο αυτό αν το πλεόνασμα είναι μεγάλο (όπως στις δύο προηγούμενες φάσεις της αγοράς εκπομπών ρύπων) αποσύρονται μελλοντικές άδειες ώστε να μειωθεί το πλεόνασμα αυτό ενώ αντίστοιχα αν το πλεόνασμα δεν είναι αρκετά μεγάλο, ο αριθμός των αδειών που θα εκδοθούν μελλοντικά αυξάνεται ώστε να μην υπάρξει μεγάλο πρόβλημα έλλειψης. Η λογική της Ευρωπαϊκής Ένωσης πίσω από αυτή τη σταθεροποίηση της ποσότητας των αδειών βασίζεται στο ότι με σταθερά χαμηλές ποσότητες αδειών στην αγορά ετησίως θα προκύψει και σταθεροποίηση της τιμής και άρα μεγαλύτερη πιθανότητα για επενδύσεις σε καθαρότερη ενέργεια.

Πιο συγκεκριμένα, το MSR θα εκκινήσει το 2019 και θα έχει ως εξής:

-Αν ένα έτος πριν το 12% του πλεονάσματος των αδειών ήταν μεγαλύτερο των 100,000,000 αδειών, τότε θα δεσμευτούν τη χρονιά αυτή το 12% του πλεονάσματος που υπήρχε μια χρονιά πριν. Ή αλλιώς, αν το πλεόνασμα τη χρονιά t-1 ήταν μεγαλύτερο των 833,000,000 αδειών (το 12% των οποίων είναι 100,000,000) τότε τη χρονιά t θα δεσμευτεί το 12% του πλεονάσματος της χρονιάς t-2 δηλαδή 100,000,000 άδειες.

-Αν το πλεόνασμα των αδειών μία χρόνια πριν είναι μικρότερο του 5% τότε τη χρονιά αυτή απελευθερώνονται 100,000,000 άδειες από τις άδειες που έχουν ήδη δεσμευθεί. Σε περίπτωση που οι άδειες που έχουν δεσμευθεί είναι μικρότερες των 100,000,000 τότε ελευθερώνονται όλες οι δεσμευμένες άδειες.

-Τέλος αν το πλεόνασμα των αδειών δύο χρόνια πριν είναι μεταξύ του 5% και του 12% τότε τη χρονιά αυτή δεν υπάρχει κάποια αλλαγή από την προβλεπόμενη έκδοση αδειών.

3.5 Free Allocation and Caps in the EU ETS

“How to share the free allocation among the different industry sectors will likely be the most controversial issue in the legislative process. The Commission’s proposal suggests a steady decrease in the free allocation to all industry sectors. In addition, it includes a new formula to identify the sectors most exposed to the risk of carbon leakage. Both these elements will likely be contested as being too ambitious by affected stakeholders and could cause some intense political debate.”

Analysts at Thomson Reuters Point Carbon

Στην πρώτη και εισαγωγική φάση, το όριο εκπομπών ανέρχονταν στους 2300 Mt CO₂ ενώ, σε αντίθεση με κάθε επόμενη φάση, δεν ήταν δυνατή η μεταφορά αδειών από τη μία χρονιά στην άλλη. Από αυτά το 95% δόθηκε δωρεάν και η διανομή των αδειών αυτών βασίστηκε κατά βάση στο ιστορικό εκπομπών του κάθε παραγωγού.

Όσον αφορά στη δεύτερη φάση, το όριο έπεσε στους 2100 Mt (CO₂ και ισοδύναμου νεοεισαχθέντος NO₂). Ακόμα, ξεκινούν δημοπρασίες κυρίως σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο. Στη φάση αυτή παρέχεται δωρεάν το 90% των αδειών.

Από την τρίτη φάση και μετά τα μέγιστα, πανευρωπαϊκά πια, όρια μεταβάλλονται ετησίως. Με αναφορά το μέσο όρο των εκπομπών μεταξύ 2008-2012 προκύπτει όριο 2,084,301,856 αδειών για το 2013 στο οποίο επιβάλλεται μείωση κατά 1.74% κάθε επόμενο χρόνο μέχρι το τέλος της φάσης αυτής. Στη φάση αυτή οι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας αναγκάζονται να προμηθεύονται το σύνολο των αδειών που χρειάζονται στην αγορά (με εξαίρεση νεοεισαχθείσες χώρες και χώρες με GDP per capita κάτω του 60% του Ευρωπαϊκού μέσου). Όσον αφορά στον βιομηχανικό τομέα η απόδοση ελεύθερων αδειών θα βασίζεται πια σε κριτήρια αναφοράς (benchmarks) ενώ θα δίνεται έμφαση σε τομείς με υψηλή πιθανότητα διαρροής εκπομπών σε χώρες στις οποίες δεν ισχύει το ETS. Η απόδοση θα είναι της τάξης του 80% των αναγκών το 2013 και θα μειώνεται γραμμικά μέχρι το 30% το 2020. Οι τομείς που αναφέρθηκαν προηγουμένως και έχουν υψηλές πιθανότητες διαρροής ρύπων (carbon leakage) θα λαμβάνουν σε μερικές περιπτώσεις μέχρι και το 100% των εκπομπών τους σε άδειες. Όσον αφορά στον τομέα της αεροπλοΐας η ανάγκη για αγορά μέσω δημοπρασιών για τη φάση αυτή βρίσκεται στο 15% των συνολικών αναγκών. Τέλος, το 5% των δωρεάν αδειών θα κρατούνται σε αποθεματικό για στήριξη των νεοεισερχόμενων στο σύστημα παραγωγών.

Για την τέταρτη φάση όσον αφορά στα όρια θα έχουμε ακόμα μεγαλύτερη ετήσια μείωση των μέγιστων εκπομπών από 1.74% της τρίτης φάσης στο 2.2%. Θα συνεχιστεί η δωρεάν διανομή αδειών σε όλο και χαμηλότερο βαθμό ενώ στην περίπτωση παγκόσμιας συμφωνίας για μείωση εκπομπών η Ευρωπαϊκή Ένωση δεσμεύεται για ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις αφού μειώνεται και ο κίνδυνος για carbon leakage.

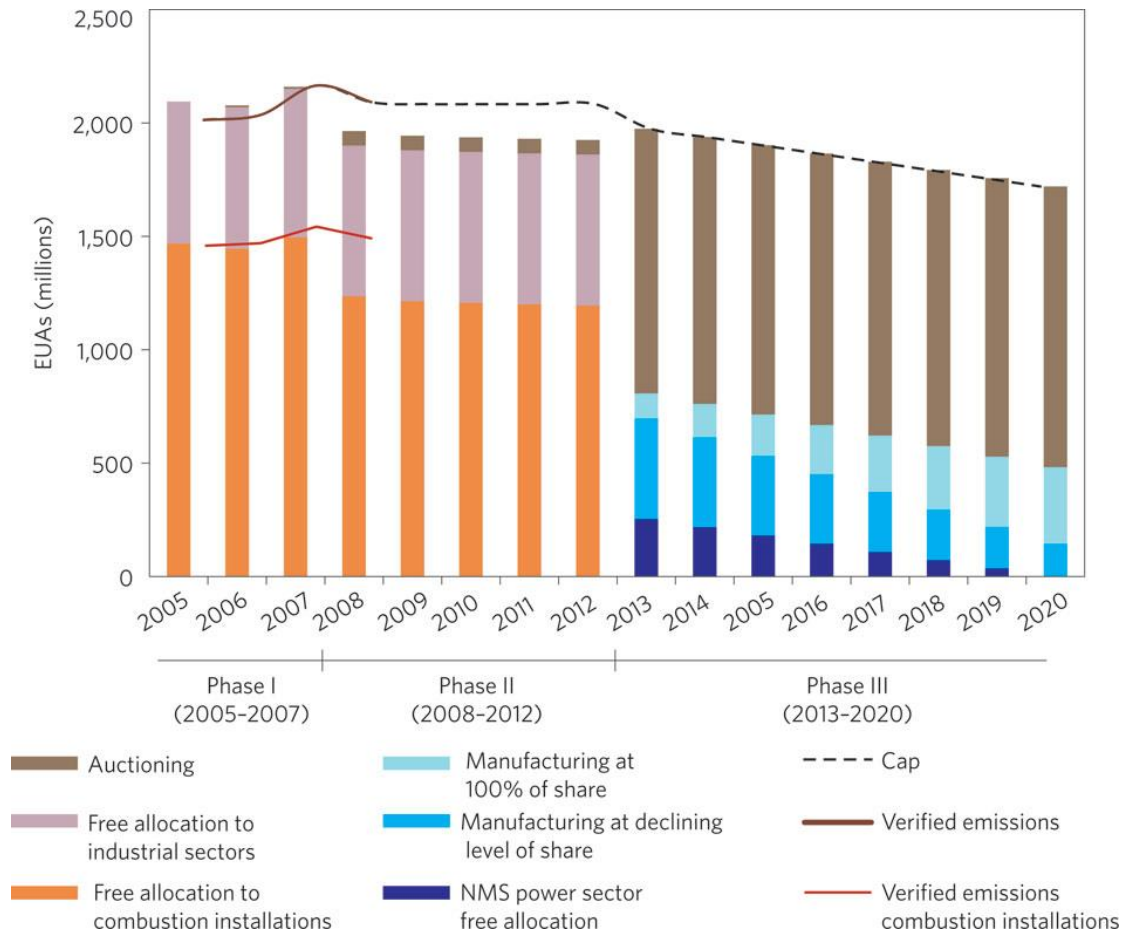


Figure 14 Free Allocation και Όρια για τις 3 Φάσεις του EU ETS

3.6 Τα τρία επίπεδα ελαστικότητας που προσφέρει το EU ETS

Η διαφορά της αγοράς αδειών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την επιβολή κάθετης φορολογίας και ελέγχου, έγκειται στην ευελιξία που παρέχεται. Η ευελιξία αυτή είναι αμφίπλευρη. Από την πλευρά των νομοθετών, δεν απαιτείται γνώση για τα κόστη μείωσης των εκπομπών στον κάθε τομέα ενώ επιτρέπει την ελάφρυνση του κόστους εκπομπών για κάποιους τομείς των οποίων η ανταγωνιστικότητα επηρεάζεται αισθητά με δωρεάν παραχώρηση αδειών. Για τους παραγωγούς από την άλλη, σε σχέση με τη κάθετη φορολόγηση ή ελέγχου εκπομπών, η αγορά αδειών προσφέρει 3 διαφορετικά είδη ελαστικότητας.

- Ανταλλαγές αδειών: Όσον αφορά στην ελαστικότητα αυτού του τύπου, παραγωγοί οι οποίοι δεν έχουν τη δυνατότητα ή την επιθυμία να μειώσουν τις εκπομπές τους, μπορούν να προμηθευτούν άδειες στην αγορά. Αντίστοιχα παραγωγοί με μεγαλύτερη ικανότητα μείωσης εκπομπών μπορούν να εξασφαλίσουν κέρδος με κάθε επιπλέον μείωση.
- Επιλογή πιστωτικού μορίου: Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει στους παραγωγούς τη δυνατότητα να καλύψουν μέρος των εκπομπών GHGs με χρήση πιστωτικών μορίων από τους ευέλικτους μηχανισμούς του Κιότο. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται πρώτον μείωση στη ζήτηση και άρα και η τιμή των ευρωπαϊκών αδειών και δεύτερον όσον αφορά στους παραγωγούς ακόμα μεγαλύτερη μείωση στο κόστος για την κάλυψη των ρύπων.
- Χρονική Ελαστικότητα: τα προγράμματα ανταλλαγών αδειών ρύπων προσφέρουν τη δυνατότητα αποθήκευσης και δανεισμού των αδειών για και από το μέλλον. Ο δανεισμός αναφέρεται στις άδειες που δίνονται δωρεάν από την Ε.Ε. Από τη δεύτερη φάση και μετά δίνεται η δυνατότητα να μεταφερθούν οι άδειες από τη μία περίοδο στην επόμενη. Το γεγονός αυτό μειώνει τη διασπορά της τιμής των EUAs αφού σε περίπτωση μεγάλης ζήτησης μπορεί να γίνει δανεισμός από το μέλλον ενώ σε περίπτωση μειωμένης ζήτησης μπορεί να γίνει αποθήκευση για μελλοντική χρήση. Έτσι, η τιμή δεν είναι δυνατό να μηδενιστεί αφού μελλοντικά τα όρια μειώνονται ενώ σε περίπτωση ξαφνικής αύξησης των τιμών είναι δυνατό να γίνει δανεισμός από το μέλλον.

3.7 Διαμόρφωση της ζήτησης για το πλεόνασμα των αδειών από το EU ETS.

Μια θετική τιμή άνθρακα στο τέλος μίας περιόδου συνεπάγεται ζήτηση αδειών για μελλοντική χρήση. Όπως και στα υπόλοιπα αγαθά, οι κύριοι λόγοι για αποθήκευση αδειών είναι οι παρακάτω:

3.7.1 Εξισορροπητική Κερδοσκοπία (Arbitrage)

Αναφέρεται σε ταυτόχρονη αγορά αδειών και στη συνέχεια πώληση τους με τη μορφή προθεσμιακών συμβολαίων (forwards), συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης (futures) ή συμβολαίων μελλοντικής προαίρεσης (options). Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιείται η έκθεση στο ρίσκο που συνδέεται με την τιμή των αδειών. Τέτοιου είδους τεχνικές απαιτούν δέσμευση κεφαλαίου και προσφέρουν απόδοση της τάξης του 5-7%.

Η τακτική αυτή ακολουθείται σχεδόν αποκλειστικά από παίχτες του χρηματοοικονομικού τομέα, όπως οι τράπεζες και τα hedge funds. Σύμφωνα με την τρέχουσα νομοθεσία για επενδύσεις τόσο μεγάλου ρίσκου, δεδομένης της μεγάλης διακύμανσης της τιμής των αδειών, με στόχο την κερδοσκοπία, όλοι οι χρηματοοικονομικοί φορείς είναι υποχρεωμένοι να εγγυώνται μέχρι και το 100% την αξίας της επένδυσης με κεφάλαιο. Το γεγονός αυτό οδηγεί τους χρηματοοικονομικούς παίχτες να αγοράζουν άδειες σχεδόν αποκλειστικά για εξισορροπητική κερδοσκοπία.

3.7.3 Το Hedging στις αγορές άνθρακα

Γενικά Hedging ή αντιστάθμιση πώλησης/αγοράς θεωρούμε την ανάληψη θέσης στη προθεσμιακή αγορά που να είναι αντίθετη με την ανειλημμένη θέση στην spot αγορά. Σε πρώτη φάση θα διαχωρίσουμε το Hedging για μείωση ρίσκου από την κερδοσκοπία που θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Όσον αφορά στην αντιστάθμιση ρίσκου, το συχνότερο φαινόμενο είναι η αγορά παραγώνων το οποία επιτρέπουν στους παραγωγούς να αγοράζουν άδειες σε μελλοντικό χρόνο σε τιμή αγοράς (spot price) τη χρονική στιγμή που έγινε το συμβόλαιο συν κάποιο ποσό για την υπηρεσία αυτή. Το γεγονός αυτό δίνει ευελιξία στους παραγωγούς με δύο τρόπους. Από τη μία ανεξαρτητοποιούνται από τυχόν διακυμάνσεις στην τιμή των αδειών και άρα από το ρίσκο της τιμής του άνθρακα. Από την άλλη πραγματοποιούν αγορές αδειών στο μέλλον χωρίς να γίνει δέσμευση του τρέχοντος κεφαλαίου που θα χρειάζονταν για την πραγματική αγορά των αδειών αυτών. Η κύρια χρήση μια long θέσης όπως αυτή έχει ως κύριο στόχο τη μείωση του ρίσκου που συνδέεται με την ιστορικά μεγάλη διακύμανση στην τιμή των αδειών στην spot αγορά.

Φυσικά σε ένα συμβόλαιο μια long θέση συνοδεύεται πάντα από μια short. Η λήψη μιας short θέσης όσον αφορά στην τιμή των αδειών έχει κατά κύριο λόγο κερδοσκοπικό χαρακτήρα. Στην περίπτωση αυτή πάλι θα δούμε δύο διαφορετικές συμπεριφορές. Η κύρια περίπτωση όσον αφορά στον τραπεζικό τομέα για τα forward contracts αλλά και τα υπόλοιπα παράγωγα, έχει να κάνει με τη μόχλευση (arbitrage) που τους επιτρέπει το κεφάλαιο που έχουν στη διάθεσή τους και την αναλύσαμε προηγουμένως. Πολλοί παραγωγοί δεν έχουν τη δυνατότητα να διαθέσουν προσεχές κεφάλαιο για αγορά αδειών που θα χρειαστούν στο μέλλον. Εδώ έρχονται οι τράπεζες και γενικότερα φορείς με μεγάλο κεφάλαιο οι οποίοι αναλαμβάνουν χωρίς ρίσκο την ταυτόχρονη αγορά των επιθυμητών αδειών με την υπογραφή του συμβολαίου. Έτσι, με ένα ποσοστό της τάξης του 5% ετησίως (hedging rate) επί του δεσμευμένου κεφαλαίου, επιτυγχάνουν έσοδα με το πέρασ του συμβολαίου με μοναδικό ρίσκο την αθέτηση του συμβολαίου.

3.7.4 Κερδοσκοπία

Από την αγορά των αδειών εκπομπών ρύπων δε λείπει η προσπάθεια για κερδοσκοπία. Οποιοδήποτε είναι κάτοχος κάποιου κεφαλαίου, είτε είναι κάποιος από τους παίχτες οι οποίοι εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου είτε όχι, αν έχει ενδείξεις για αύξηση ή μείωση της τιμής των αδειών μπορεί συμμετάσχει στο χρηματιστήριο των EUAs και των παραγώγων που συνδέονται με αυτά. Όπως είναι αναμενόμενο, παίχτες που αποσκοπούν σε κερδοσκοπία απαιτούν μεγαλύτερο επιτόκιο σε σχέση με το επιτόκιο αντιστάθμισης και είναι της τάξης του 10-15% ετησίως.

3.8 Κριτική για το EU ETS.

Το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών διοξειδίου το άνθρακα έχει δεχθεί δριμύτατες κριτικές από πολλά μέτωπα [13], ως μη αποτελεσματική πολιτική για τη μείωση των εκπομπών. Τα κύρια επιχειρήματα των πολέμιων του συστήματος αυτού είναι τα ακόλουθα:

1. Δεν προκάλεσε σημαντική μείωση στις εκπομπές.

Μπορεί οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου να μειώθηκαν τα 11 έτη που είναι σε ισχύ ο μηχανισμός, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών τομέων οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στο μηχανισμό, αλλά δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες που να υποδηλώνουν ότι έγιναν λόγω του μηχανισμού αυτού. Όσον αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγει την πλειονότητα των εκπομπών, οι μειώσεις στον τομέα αυτό σύμφωνα με έρευνα του Caisse des Dépôts et Consignations [14] οφείλονται κατά κύριο λόγο σε άλλες πολιτικές, όπως τα τιμολόγια παροχής (Feed-in Tariffs) και τα Πράσινα πιστοποιητικά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Green Certificates). Τα τιμολόγια παροχής αποτελούν κυβερνητική ρύθμιση βάσει της οποίας η εκάστοτε δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού αναγκάζεται να καταβάλλει ένα ελάχιστο χρηματικό ποσό ανά κιλοβατώρα (kWh) σε ιδιοκτήτη μονάδας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα Πράσινα Πιστοποιητικά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν μηχανισμό για εντατικότερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον Ευρωπαϊκό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο. Άλλες πηγές αναφέρουν ότι οι μειώσεις στους τομείς του ETS μπορούν να εξηγηθούν σχεδόν αποκλειστικά από την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την περίοδο μετά την οικονομική κρίση, την αύξηση της αποδοτικότητας στην παραγωγική διαδικασία, και τη μετάβαση από λιθάνθρακες σε φυσικό αέριο, γεγονότα που προκλήθηκαν από άλλες πολιτικές και οικονομικές παραμέτρους.

2. Δρα εις βάρος των υπόλοιπων περιβαλλοντικών νομοθεσιών.

Το ETS έφερε μεταρρυθμίσεις ή την πλήρη εγκατάλειψη άλλων ευρωπαϊκών οδηγιών για το περιβάλλον εξαιτίας του φόβου μείωσης της τιμής των αδειών όπως στην περίπτωση του IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) ή αυτή της οδηγίας για φορολόγηση της Ενέργειας (Energy Taxation Directive).

3. Βάζει ένα άνω φράγμα στη μείωση των εκπομπών.

Το EU ETS δρα ως «ταβάνι» στη φιλοδοξία μείωσης των εκπομπών. Δε δίνονται κίνητρα ώστε οι χώρες να επιτύχουν ακόμα μεγαλύτερη μείωση εκπομπών από την προβλεπόμενη, αφού το γεγονός αυτό θα ενθάρρυνε άλλες χώρες να τις αυξήσουν. Η αποτυχία αυτή δρα προσθετικά στο γεγονός ότι οι προσεχείς στόχοι για 20% μείωση εκπομπών ως το 2020 θεωρούνται πολύ χαμηλοί γεγονός που προκαλεί ένα μεγάλο πλεόνασμα αδειών το οποίο με τη σειρά του θα απειλήσει το σύστημα στην 4^η φάση. Το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς (Market Stability Reserve) θα μειώσει το πλεόνασμα αυτών των αδειών αλλά η δράση του θα είναι προσωρινή αφού οι άδειες αυτές δεν ακυρώνονται και θα παραμείνουν στο σύστημα με το πέρας του 2020.

4. Δεν είναι αποδοτικό και υποστήριξε οικονομικά τους ρυπαντές εις βάρος των φορολογούμενων (Windfall Profit).

Είναι σύνηθες για εταιρίες να μεταφέρουν στους καταναλωτές το κόστος των αδειών οι οποίες δίνονται στις εταιρίες δωρεάν, ενώ στην πραγματικότητα τέτοια κόστη δεν υπήρξαν ποτέ. Σύμφωνα με έρευνες [15] αρκετές μεγάλες εταιρίες απέκτησαν δισεκατομμύρια ευρώ με αυτόν τον τρόπο. Το μεγαλύτερο κέρδος τέτοιου είδους είχαν οι εταιρίες ηλεκτροπαραγωγής αλλά υπάρχουν ενδείξεις ότι και άλλες βιομηχανίες (ιδίως διυλιστήρια πετρελαίου) έδειξαν τέτοιου είδους κέρδη.

5. Παραμένει ευάλωτο σε απάτες και νομοθετικά κενά.

Όλες οι αγορές πρώτων υλών είναι ευάλωτες σε παράνομη δραστηριότητα και ιδιαίτερα οι άδειες εκπομπών. Ο κύριος λόγος είναι η το είδος της πρώτης ύλης που εμπορεύεται. Οι άδειες αυτές, σε αντίθεση με το καλαμπόκι ή το λάδι, δεν είναι απτό αγαθό. Οι άδειες εκπομπών αποτελούν άδειες εκπομπών ρύπων μελλοντικά, αγαθό η αξία του οποίου δεν μπορεί να υπολογιστεί, παρά μόνο να προβλεφθεί. Ακόμα, ύστερα από σκάνδαλα όπως αυτό της φορολογικής απάτης του ύψους των 5 δις, κλοπές, και επαναχρησιμοποιημένες άδειες, το Ελεγκτικό Συμβούλιο της Ε.Ε. [16] θεωρεί ότι η χρηματοοικονομική συμπεριφορά του EU ETS παραμένει ανεπαρκώς θεσμοθετημένη.

4. Μαθηματικό Μοντέλο

Για τη μοντελοποίηση της αγοράς, κατασκευάστηκε ένα μοντέλο Μη Γραμμικού Προγραμματισμού (Non Linear Programming) το οποίο επιλύεται σε ετήσια βάση ξεκινώντας το 2015 και τελειώνοντας το 2050. Στο μοντέλο περιλαμβάνεται μεταφορά δεδομένων και αποτελεσμάτων των προηγούμενων ετών από τη μία χρονιά στην επόμενη ενώ γίνεται ετησίως και ο υπολογισμός των αδειών που θα εκδοθούν την επόμενη χρόνια λόγω του Αποθεματικού για τη Σταθερότητα της Αγοράς (Market Stability Reserve).

4.1 Αρχικοποίηση Προβλήματος - Παραδοχές

Στα πλαίσια της διπλωματικής θεωρήσαμε 1160 παραγωγούς. Αριθμός αυτός αποτελεί το $1/10$ των περίπου 11,000 παραγωγών και βιομήχανων που λαμβάνουν μέρος στην αγορά του EU ETS και των 600 περίπου αεροπορικών εταιριών σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [17]. Η επιλογή του αριθμού αυτού είναι από τη μία αντιπροσωπευτική του ολικού αριθμού των παραγωγών ενώ ταυτόχρονα μειώνει εκθετικά το χρόνο που χρειάζεται το μοντέλο για να τρέξει ειδικά αν λάβουμε υπόψιν τον αριθμό των εξισώσεων στις οποίες περιλαμβάνεται το σύνολο των παραγωγών. Στη συνέχεια, χωρίζουμε τους παραγωγούς αυτούς τους σε βιομηχανικούς τομείς με την ακόλουθη αναλογία:

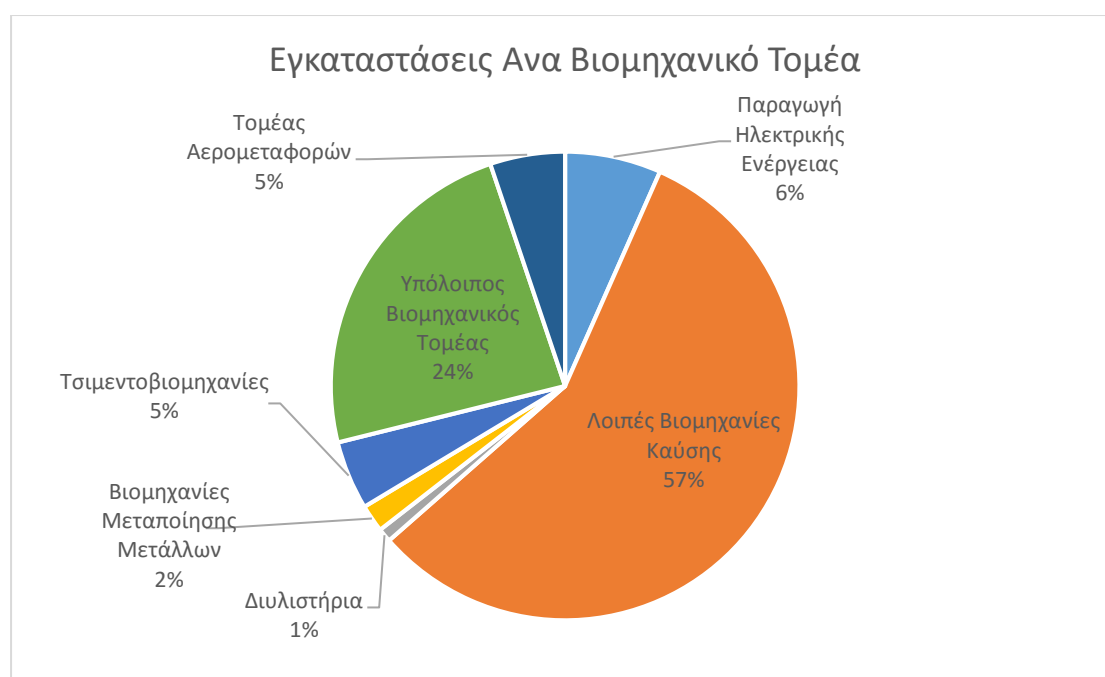


Figure 15 Ποσοστό των συνολικών (1160) Παραγωγών που αντιστοιχούν στον εκάστοτε Βιομηχανικό Τομέα [18]

Έτσι τελικά μοιράζουμε τους 1160 παραγωγούς ως εξής:

1. Electricity Production (77)
2. Rest of Combustion (660)
3. Refineries (11)
4. Iron and Steel (22)
5. Cement (55)
6. Rest of Industry (275)
7. Aviation (60)

Ακόμα για την μοντελοποίηση του προβλήματος είναι αναγκαία η γνώση του πλεονάσματος των αδειών για το έτος εκκίνησης του μοντέλου. Το πλεόνασμα των αδειών υπολογίστηκε από το E3MLab και ανέρχεται περίπου στις 1,750 εκατομμύρια άδειες ενώ υπάρχουν μικρές μεταβολές αναλόγως του σεναρίου που χρησιμοποιείται κάθε φορά . Επειδή δεν είναι γνωστή η κατανομή των αδειών στους παραγωγούς οι άδειες μοιράστηκαν σε αυτούς με τυχαίο τρόπο βάση της κανονικής κατανομής με την ακόλουθη μέθοδο:

Σε κάθε τομέα αναλογεί αριθμός αδειών ίσος με το πλεόνασμα των αδειών για την προηγούμενη χρονιά, επί το μερίδιο του τομέα αυτού στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Έτσι θεωρούμε ότι ο κάθε παραγωγός έχει αποθηκεύσει αριθμό εκπομπών ο οποίος σχετίζεται άμεσα με τις εκπομπές του τομέα στον οποίο ανήκει. Φυσικά δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλοι οι παραγωγοί ενός τομέα έχουν αποθηκευμένο τον ίδιο αριθμό εκπομπών. Για το λόγο αυτό θεωρήσαμε κανονική κατανομή, με διασπορά 25% επί των μέσων αδειών τομέα για να προσεγγίσουμε σε μεγαλύτερο βαθμό την τυχαιότητα της αγοράς.

$$Sector Allowances_{t0} = \frac{Sector Emissions}{Total GHG Emissions} Surplus_{t0}$$

$$Hold_{t0}(pro) = \max \left(Normal \left(\frac{Sector Allowances}{Sector Installations}, \frac{1}{4} \frac{Sector Allowances}{Sector Installations} \right), 0 \right)$$

Ακολουθούν οι κατανομές αδειών για ένα τυχαίο σενάριο στο οποίο μοιράζονται 1750 άδειες οι οποίες αποτελούν το πλεόνασμα της χρονιάς t_0-1 δηλαδή του 2015:

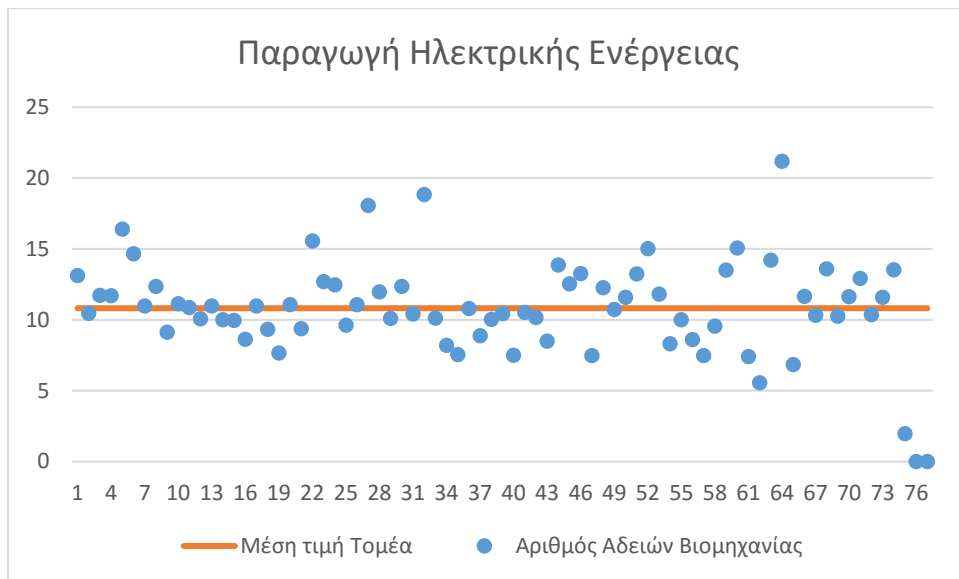


Figure 16 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα της Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

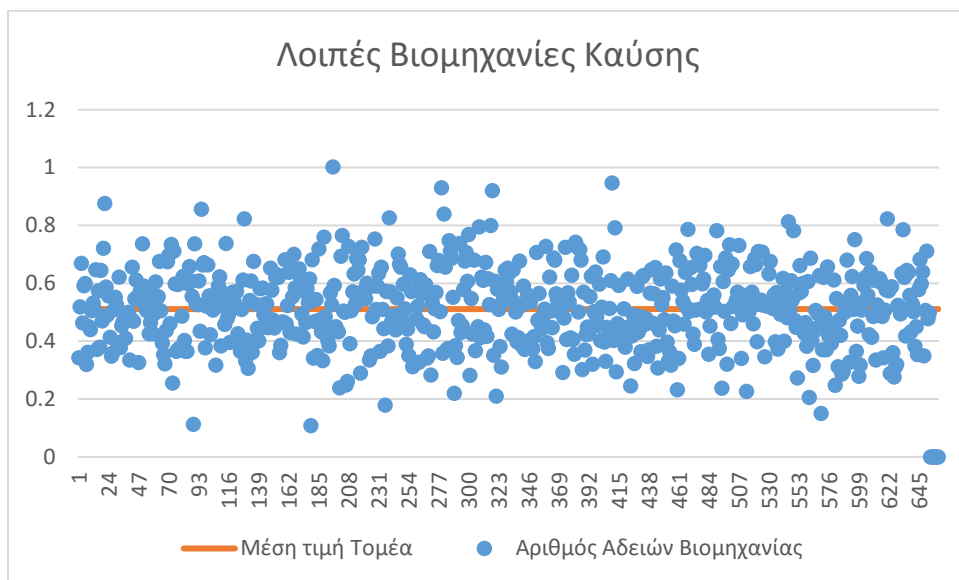


Figure 17 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα των Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης

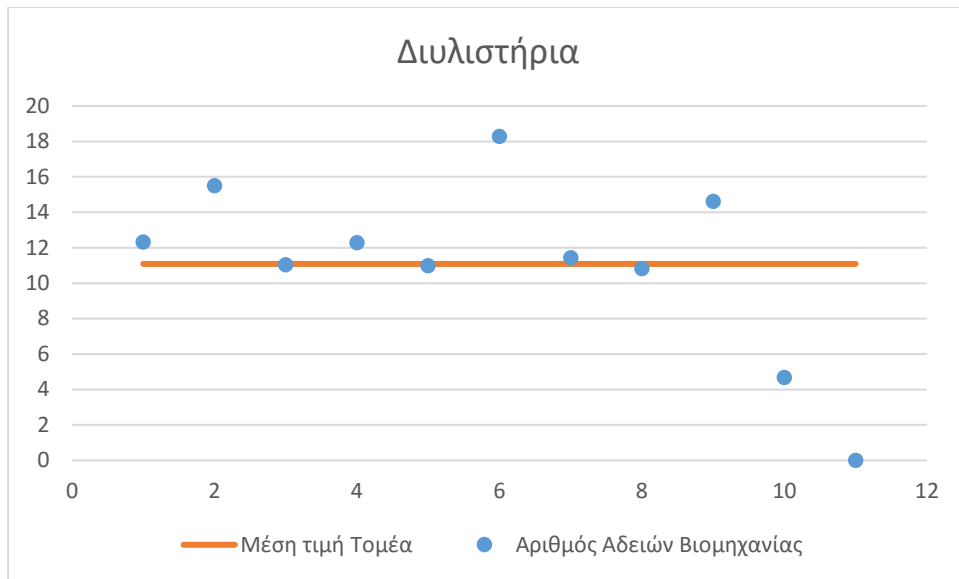


Figure 18 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα των Διυλιστηρίων

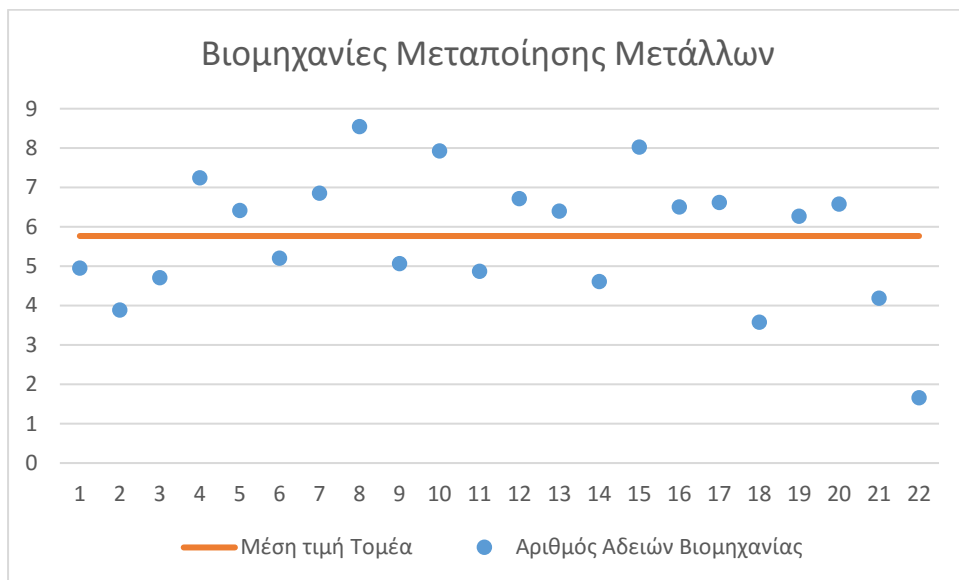


Figure 19 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα Μεταποίησης Μετάλλων

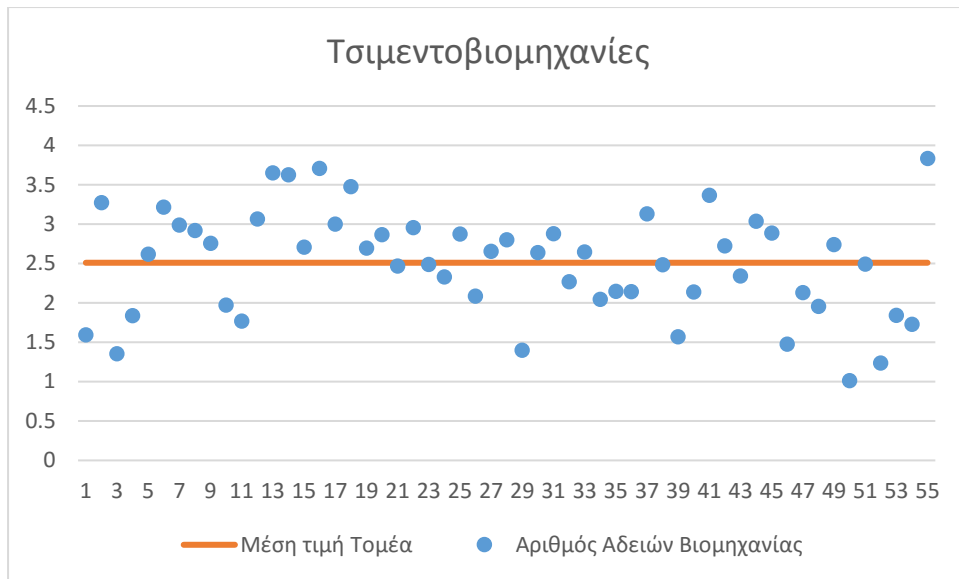


Figure 20 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα των Τσιμεντοβιομηχανιών

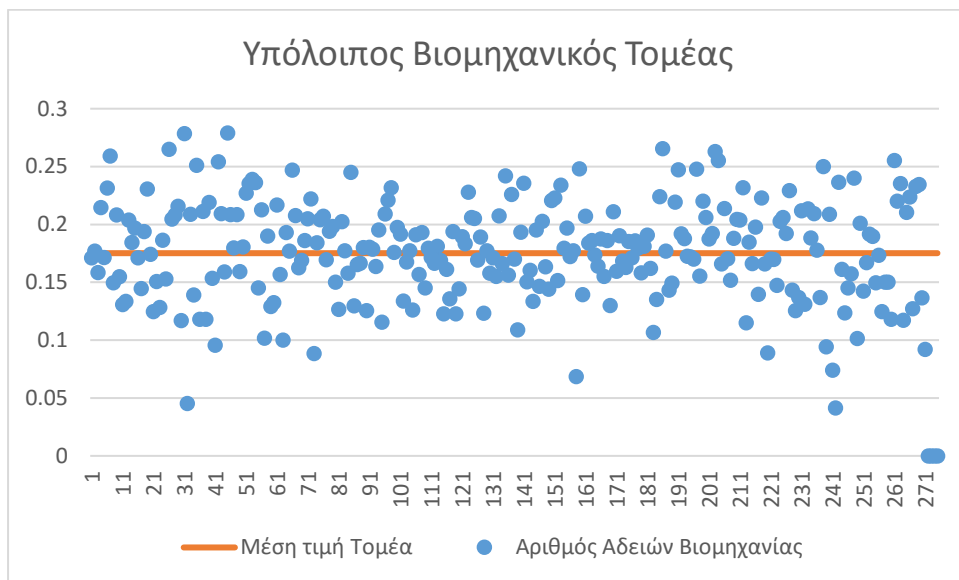


Figure 21 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον υπόλοιπο Βιομηχανικό Τομέα

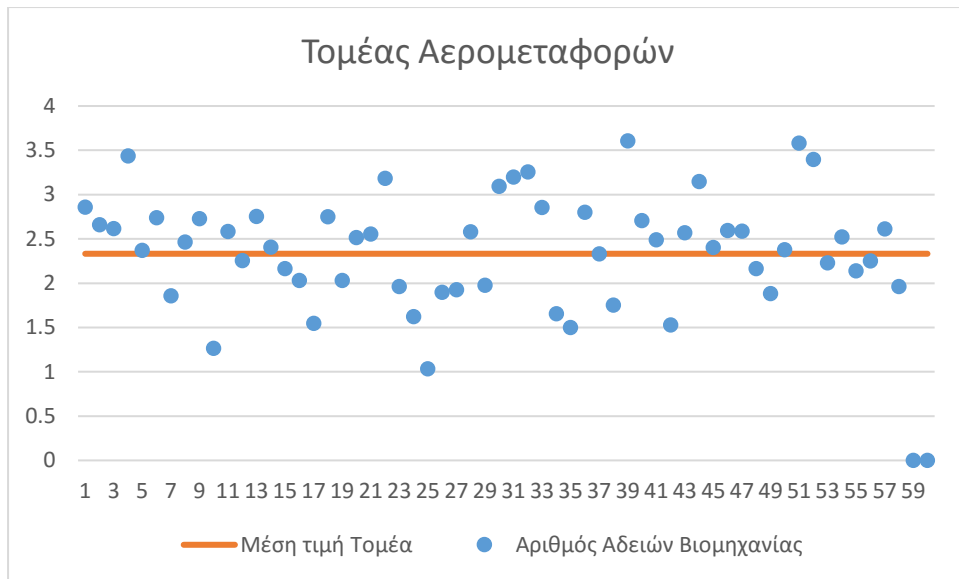


Figure 22 Κατανομή πλεονάσματος αδειών 2015 για τον τομέα των Αερομεταφορών

Στο μοντέλο γίνεται ακόμα πρόβλεψη των μελλοντικών εκπομπών των παραγωγών. Η πρόβλεψη αυτή βασίζεται στη μεταβολή του ευρωπαϊκού Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος και ένα έτος αναγωγής στο οποίο θεωρούμε μηδενική μείωση των εκπομπών. Έτσι θεωρούμε $NOA_{(pro,t)}$ τις εκπομπές για τις οποίες θεωρούμε μηδενικό abatement. Ενώ $Abatement_0$ θεωρούμε τη μείωση των εκπομπών που είχε γίνει πριν το 2015. Όσον αφορά το $Abatement_0$ στα πλαίσια του μοντέλου το θεωρούμε μηδενικό.

Το $NOA_{(pro,t)}$ προκύπτει αναδρομικά ως εξής:

$$NOA_{(pro,t)} = NOA_{(pro,t-1)} \left(1 + \left(\frac{GDP_t}{GDP_{t-1}} - 1 \right) * EtG \right)$$

Ο αναδρομικός αυτός τύπος ξεκινά το 2005 στο οποίο θεωρούμε μηδενική μείωση εκπομπών και τρέχει έως το 2015 προσεγγίζοντας βέλτιστα τις πραγματικές εκπομπές των προηγούμενων ετών ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε την αρχική μείωση εκπομπών για το μοντέλο μηδενική. Στη συνέχεια τρέχει από το 2015 έως και το 2050 με προβλέψεις του ΑΕΠ από το E3MLab.

GDP_t : Αποτελεί το ευρωπαϊκό ΑΕΠ για τη χρονιά t. Το ΑΕΠ αυτό είτε αποτελεί είτε πραγματικό ΑΕΠ όπως αναφέρθηκε προηγουμένως δηλαδή από το 2005 έως και το 2015 είτε αποτελεί πρόβλεψη μελλοντικού ΑΕΠ από το E3MLab για τα επόμενα έτη (2015-2050).

EtG : Αποτελεί παράμετρο σύμφωνα με την οποία το 10% της μεταβολής του ευρωπαϊκού ΑΕΠ από μία χρονιά στην επόμενη, μετατρέπεται σε αντίστοιχη μεταβολή των εκπομπών. (Emission to GDP growth). Παραδείγματος χάριν για μεταβολή στο ΑΕΠ κατά 3% οι εκπομπές σε αέρια θερμοκηπίου αν θεωρήσουμε ότι δεν γίνεται καμία μείωση των εκπομπών θα αυξηθεί κατά 0.3%.

Γνωρίζοντας τις πανευρωπαϊκές εκπομπές και την πρόοδο τους στο χρόνο, πρέπει να γίνει διαμοιρασμός των εκπομπών αυτών στους εκάστοτε παραγωγούς. Φυσικά, θα χρησιμοποιήσουμε της πληροφορίες από το διαχωρισμό των παραγωγών σε τομείς και από εκεί μοιράζουμε τις εκπομπές στους εκάστοτε παραγωγούς.

Βιομηχανικός Τομέας	Ποσοστό Συνολικών Εκπομπών CO₂
Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	47.74%
Λοιπές Βιομηχανίες Καύσης	19.32%
Διυλιστήρια	6.99%
Βιομηχανίες Μεταποίησης Μετάλλων	7.27%
Τσιμεντοβιομηχανίες	7.91%
Τομέας Αερομεταφορών	8.02%
Υπόλοιπος Βιομηχανικός Τομέας	2.76%

Figure 23 Μερίδιο Εκπομπών ανά Βιομηχανικό Τομέα που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο

Έτσι ο τελικός διαμοιρασμός των εκπομπών στους παραγωγούς θα γίνει με χρήση τη ομοιόμορφης κατανομής ως εξής:

$$NOA(pro, 0) = uniform \left(\begin{array}{l} (1 - offset) \frac{\text{εκπομπές τομέα}}{\text{σύνολο βιομηχανικών τομέα}} \\ (1 + offset) \frac{\text{εκπομπές τομέα}}{\text{σύνολο βιομηχανικών τομέα}} \end{array} \right)$$

Με άλλα λόγια οι εκπομπές θα μοιραστούν με χρήση ομοιόμορφης κατανομής μεταξύ του ποσοστού $(1 - offset)$ και $(1 + offset)$. Έτσι οι εκπομπές των παραγωγών κυμαίνονται μεταξύ του μέσου όρου όλων των παραγωγών $\pm offset$. Στο μοντέλο θεωρήθηκε $offset$ της τάξης του 70% για όλους τους βιομηχανικούς τομείς. Αυτό έγινε για προσεγγιστεί σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό η αγορά αφού δεν μπορούν όλες οι εγκαταστάσεις ενός βιομηχανικού τομέα να έχουν την ίδια κατανάλωση αλλά θα υπάρχει κάποια διασπορά από το μέσο όρο η οποία στο μοντέλο θεωρήθηκε ομοιόμορφη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρήση της παραπάνω τεχνικής για τους 600 πρώτους παραγωγούς που ανήκουν στον τομέα των Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης. Για την περίπτωση των Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης το μέσο ποσοστό εκπομπών είναι 15.15% ενώ για $offset$ 70% το μέγιστο δυνατό ποσοστό εκπομπών είναι 25.76% και το ελάχιστον 4.55%. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ποικιλία στις πιθανές συμπεριφορές των παραγωγών γεγονός που προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη σημερινή αγορά.

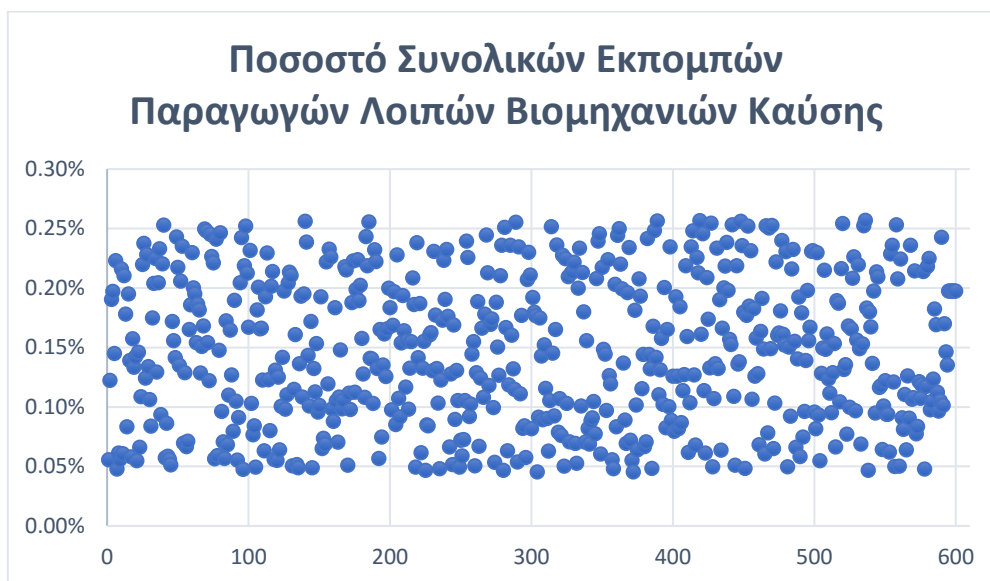


Figure 24 Το ποσοστό των συνολικών Εκπομπών του Τομέα που αντιστοιχεί στον κάθε παραγωγό που ανήκει στις Λοιπές Βιομηχανίες Καύσης ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή

Τέλος, στο μοντέλο είναι απαραίτητη η εύρεση των επιτοκίων μηδενικού ρίσκου έτσι ώστε να γίνουν μελλοντικές προβλέψεις βάση των τρεχόντων δεδομένων. Στα πλαίσια τη διπλωματική αυτής θεωρήθηκε επιτόκιο μηδενικού ρίσκου της τάξης του 4%.

Μοιράζοντας τις εκπομπές και τις πλεονάζουσες άδειες στους παραγωγούς και προβλέποντας τη μελλοντική ζήτηση για άδειες αν θεωρήσουμε μηδενική επένδυση για μόνιμη μείωση εκπομπών είναι δυνατή η κατασκευή του μοντέλου όπως θα δούμε παρακάτω.

4.2 Σετ

t : Τρέχον έτος επίλυσης (0-35) και αντιστοιχεί στο διάστημα από το 2015 έως το 2050.

Sc : (Scenario Number) Σετ το οποίο μεταβάλλει τα σενάρια (1,2,3) και τρέχει αναλόγως ποιο θέλουμε να τρέξουμε κάθε φορά.

Pro : (Producers) Τρέχων παραγωγός. Περιλαμβάνει όλους τους 1160 παραγωγούς του προβλήματος.

j(t) : Τρέχον έτος επίλυσης υποσύνολο του t (1-35).

s : Τρέχον έτος επίλυσης (1-45) με έναρξη το 2005 και λήξη το 2050 και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και κλίση των προηγούμενων τιμών των αδειών.

s1(s) : Βοηθητικό σετ. Υποσύνολο του s (1-45)

pps : (Percentages by Sector) χρησιμοποιείται ως είσοδος για την κατασκευή του πίνακα PBS ο οποίος βρίσκει συγκεκριμένο ποσοστό που αναφέρεται σε συγκεκριμένο βιομηχανικό τομέα. Παίρνει τιμές (tot_emissions, installations, GDP Sensitivity, , Tot_em_avi)

sec : (Sector) Τρέχων βιομηχανικός τομέας. Παίρνει τιμές (ep, roc, rf, is, ce, roi, avi)

Ep (pro) : (Electricity Producers (pro)). Περιλαμβάνει όλους τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από το υπερσύνολο των παραγωγών.

Roc (pro) : (Rest of Combustion (pro)). Περιλαμβάνει όλες τις λοιπές βιομηχανίες καύσης από το υπερσύνολο των παραγωγών.

Rf (pro) : (Refineries (pro)). Περιλαμβάνει όλα τα διυλιστήρια από το υπερσύνολο των παραγωγών.

Is (pro) : (Iron and Steel (pro)). Περιλαμβάνει όλες τις Βιομηχανίες Μεταποίησης Μετάλλων από το υπερσύνολο των παραγωγών.

Ce (pro) : (Electricity Producers (pro)). Περιλαμβάνει όλες τις τσιμεντοβιομηχανίες από το υπερσύνολο των παραγωγών.

RoI (pro) : (Electricity Producers (pro)). Περιλαμβάνει όλες τις βιομηχανίες που δεν ανήκουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες από το υπερσύνολο των παραγωγών.

Ani (pro) : (Electricity Producers (pro)). Περιλαμβάνει όλους τους παραγωγούς του τομέα των αεροπορικών μεταφορών από το υπερσύνολο των παραγωγών.

mp : (MACC Parameters). Περιλαμβάνει τις παραμέτρους a,b,z των Marginal Abatement Cost Curves οι οποίες μεταβάλλονται ανά βιομηχανικό τομέα.

lvi : (Linear Regression Success Level). Παίρνει τιμές (1-10) και αφορά το δείκτη εμπιστοσύνης των παραγωγών στη μέθοδο πρόβλεψης που χρησιμοποιείται στο μοντέλο.

4.3 Παράμετροι Μοντέλου

Report : Παράμετρος η οποία χρησιμοποιείται για προβολή και ταξινόμηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Et (sc,t) : Η ετήσια πρόβλεψη για τις εκπομπές GHG πλην του τομέα των αερομεταφορών από το E3MLab και είναι διαφορετική για κάθε σενάριο.

Ean (sc,t) : Η ετήσια πρόβλεψη για τις εκπομπές GHG για τον τομέα των αερομεταφορών από το E3MLab και είναι διαφορετική για κάθε σενάριο.

IA (sc,t) : Οι ετήσιος αριθμός των εκδιδόμενων αδειών για κάθε σενάριο.

IstSolut (t) : Αποτελέσματα πρόβλεψης για τις ετήσιες τιμές των αδειών από προηγούμενο τρέξιμο του μοντέλου με στόχο την ταχύτερη σύγκλιση σε αποτελέσματα.

Surp (t) : Αποτελέσματα πρόβλεψης για του πλεονάσματος των αδειών από προηγούμενο τρέξιμο του μοντέλου με στόχο την ταχύτερη σύγκλιση σε αποτελέσματα.

NoA (pro,t) : (No Abatement Emissions). Ο αριθμός των πανευρωπαϊκών εκπομπών GHG θεωρώντας μηδενική προσπάθεια μείωσης εκπομπών από τους παραγωγούς.

GDPre (t) : (GDP Prediction). Ετήσια πρόβλεψη Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος για το σύνολο της Ε.Ε έως το 2050.

Hold0 (pro) : (Allowances held at t=0). Αριθμός πλεονάσματος αδειών ή αριθμός αποθηκευμένων αδειών για τη χρονική στιγμή t=0.

Abat (pro,t) : (Abatement). Αριθμός τόνων εκπομπών GHG που μειώθηκαν μόνιμα από τον κάθε παραγωγό για χρόνο t.

Getse (sc, sec, t) : (Get Sector Emissions). Ετήσιος Αριθμός πανευρωπαϊκών εκπομπών που αντιστοιχούν σε κάθε βιομηχανικό τομέα για κάθε σενάριο.

Dist (pro) : (Emissions Distribution). Παίρνει τιμές από 0-1 και χρησιμοποιείται για την ομοιόμορφη κατανομή των αδειών του κάθε τομέα στους παραγωγούς που αντιστοιχούν στον εκάστοτε τομέα.

GDPrate (t) : (GDP Change Rate). Θεωρώντας GDP index το ευρωπαϊκό ΑΕΠ του 2005 βρίσκουμε την ετήσια μεταβολή του πανευρωπαϊκού ΑΕΠ που έχουμε ήδη από το E3MLab.

Bank (pro,t) : Αριθμός αποθηκευμένων αδειών του εκάστοτε παραγωγού για χρήση μετά το τέλος της χρονιάς t.

Hold (pro,t) : Αριθμός που αδειών που θα αποθηκεύσει ο παραγωγός για χρήση από τη χρονιά t+1 και μετά.

BankMult (t) : Βέλτιστο θεωρητικό ποσοστό αδειών που θα αγοραστούν για χρήση στα επόμενα έτη.

Noab (pro) : Βοηθητική μεταβλητή αποθήκευσης μεταβλητής: NOA (pro,t) , για την επίλυση του προβλήματος για το έτος j.

Holdb (pro) : Βοηθητική μεταβλητή αποθήκευσης μεταβλητής: Hold (pro,t) , για την ετήσια επίλυση του προβλήματος για το έτος j.

Bankb (pro) : Βοηθητική μεταβλητή αποθήκευσης μεταβλητής: Bank (pro,t) , για την ετήσια επίλυση του προβλήματος για το έτος j.

IAb (pro) : Βοηθητική μεταβλητή αποθήκευσης μεταβλητής: IA (t), για την ετήσια επίλυση του προβλήματος για το έτος j.

Abatb (pro) : Βοηθητική μεταβλητή αποθήκευσης μεταβλητής: Abat (pro,t) , για την ετήσια επίλυση του προβλήματος για το έτος j.

Aa (pro, j) : Βοηθητική μεταβλητή για υπολογισμό του a της MACC.

Bb (pro) : Βοηθητική μεταβλητή για υπολογισμό του b της MACC.

Zz (pro) : Βοηθητική μεταβλητή για υπολογισμό του z της MACC.

Surplus (t) : Πλεόνασμα αδειών που προβλέπει το μοντέλο για τη χρονιά j.

yE : (year j total Emissions). Αριθμός εκπομπών που προβλέπει το μοντέλο για τη χρονιά j.

MSRes (t) : (Market Stability Reserve Allowances). Αριθμός αδειών που βρίσκονται τη χρονιά j στο αποθεματικό για τη σταθερότητα της αγοράς.

PrP (s) : Περιέχει και αποθηκεύει τις τιμές των αδειών για τις χρονιές από t=0 έως την j-1.

Speculation (pro) : Αριθμός αδειών που αγοράζονται για κερδοσκοπία από τον κάθε παραγωγό τη χρονιά j.

Normc (pro) : Παράμετρος η οποία είναι αποτέλεσμα κανονικής κατανομής και αποτελεί συντελεστή που ρυθμίζει τον αριθμό αδειών που θα αγοραστούν από τον εκάστοτε παραγωγό για κερδοσκοπία τη χρονιά j.

Get_lvl : Διαβάζει και αποθηκεύει τον αριθμό στον οποίο βρίσκεται το σετ: lvl τη χρονιά j.

Betabuffer (t) : Περιέχει και αποθηκεύει τα αποτελέσματα της μεταβλητής beta, από την χρονιά t=0 έως την j-1.

Fa : (Free Allowances factor) Το ποσοστό των ετήσιων εκπομπών που δίδονται δωρεάν για όλους τους τομείς πλην του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής τη χρονιά j.

MSR (t) : (Allowances stored to the Market Stability Reserve). Αριθμός αδειών που θα προστεθούν/αφαιρεθούν στις άδειες που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν σύμφωνα με το Αποθεματικό για την Σταθεροποίηση της Αγοράς

Normtr (IvI) : (Producer's trust to Linear Regression). Παράμετρος που μεταβάλλεται αναλόγως του IvI, δηλαδή της εμπιστοσύνης των παραγωγών στη Γραμμική Παλινδρόμηση.

4.4 Μεταβλητές Απόφασης

4.4.1 Θετικές μεταβλητές

P : (Price). Η τιμή της άδειας σε € για το χρόνο j.

Ea (pro): (Extra Abatement). Η αύξηση της μόνιμης μείωσης εκπομπών για τον κάθε παραγωγό σε τόνους ισοδύναμου CO₂ τη χρονιά j.

E (pro) : (Producer Emissions). Οι εκπομπές GHG του κάθε παραγωγού σε τόνους CO₂ τη χρονιά j.

4.4.2 Μεταβλητές

Buy (pro) : (Allowances to Buy). Ο αριθμός αδειών που αγοράζονται ή πωλούνται από τον κάθε παραγωγό τη χρονιά j.

NBuy (pro) : (Nominal Volume to Buy). Ο αριθμός αδειών που είναι προγραμματισμένο να αγοράσει ο κάθε παραγωγός τη χρονιά j σε τόνους CO₂ τη χρονιά j.

Beta : Κλίση Γραμμικής Παλινδρόμησης για τα N τελευταία χρόνια έως και τη χρονιά j.

Totb : (Total Bought). Μεταβλητή που ελαχιστοποιείται στην αντικειμενική συνάρτηση τη χρονιά j. Αποτελεί το ολικό κόστος από την εφαρμογή του EU ETS σύμφωνα με την αντικειμενική συνάρτηση.

sE : (Emission Sum). Ολικός αριθμός εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από το σύνολο των παραγωγών του μοντέλου σε τόνους ισοδύναμου CO₂ τη χρονιά j.

4.5 Τρόπος υπολογισμού αδειών διαθέσιμων για δημοπρασία.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το χρονικό εύρος του μοντέλου είναι 35 έτη. Η επίλυση του προβλήματος γίνεται ετησίως, άρα είναι απαραίτητο να υπάρχουν εξισώσεις που να μεταφέρουν τις τιμές από τη μία χρονιά στην επόμενη ή εξισώσεις που θα καθορίζουν αρχικές τιμές της επόμενης χρονιάς που όμως εξαρτώνται από τις προηγούμενες. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις βασικότερες από αυτές τις εξισώσεις.

$$MSR(t) = \begin{cases} 0 & t < 2019, \\ 0.12 * Surplus_{t-1} & t \geq 2019 \text{ and } 0.12 * Surplus_{t-1} \geq 100,000,000, \\ \begin{cases} Reserve(t) > 100,000,000, & -100,000,000 \\ Reserve(t) \leq 100,000,000, & -Reserve(t) \end{cases} & t \geq 2019 \text{ and } Surplus_{t-1} < 400,000,000, \end{cases}$$

Η παραπάνω εξίσωση περικλείει τη νομοθεσία γύρω από το Market Stability Reserve. Ξεκινώντας από το 2019, αν το 12% του πλεονάσματος της προηγούμενης χρονιάς είναι μεγαλύτερο από 100,000,000 άδειες, τότε για την τρέχουσα χρονιά θα εκδοθούν 12% επί το πλεόνασμα της προηγούμενης χρονιάς λιγότερες άδειες. Αντίθετα αν το πλεόνασμα της προηγούμενης χρονιάς είναι λιγότερο από 400,000,000 άδειες, τότε προστίθενται 100,000,000 άδειες από το αποθεματικό για τη σταθεροποίηση της αγοράς σε αυτές που θα εκδοθούν την τρέχουσα χρονιά.

Οι άδειες αυτές προστίθενται ή αφαιρούνται στο αποθεματικό ως εξής:

$$Reserve_t = Reserve_{t-1} + MSR(t)$$

Θεωρούμε fa συντελεστή ο οποίος όταν πολλαπλασιάζεται με το σύνολο των εκπομπών ενός παραγωγού, όταν αυτός δεν ανήκει στον τομέα των ηλεκτροπαραγωγών, δίνει τα Free Allocated Allowances για τα οποία σύμφωνα με την Ε.Ε θα είναι το 70% των εκπομπών μέχρι το 2020. Στη συνέχεια έως το 2023 οι άδειες που θα παρέχονται μειώνονται γραμμικά στο 30% και από το 2023 και μετά το ποσοστό αυτό μειώνεται συνεχώς μέχρι να μηδενιστεί μετά το 2030. Η μαθηματική περιγραφή των προηγούμενων είναι η ακόλουθη:

$$fa = \begin{cases} 0.7, & t \leq 2020 \\ 1.9 - 0.2(t - 2015), & t > 2020 \text{ και } t \leq 2023 \\ 0.6 - 0.0375(t - 2015), & t > 2023 \text{ και } t \leq 2030 \\ 0, & t \geq 2030 \end{cases}$$

Άρα τελικά οι άδειες που είναι διαθέσιμες για δημοπρασία $AA(t)$ (Auctioned Allowances) είναι οι ακόλουθες:

$$AA(t) = IA(t) - \sum_{pro} (fa * E(pro)) - MSR(t)$$

όπου $IA(t)$ οι άδειες που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν.

4.6 Εξισώσεις Συμπεριφοράς Παραγωγών

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν 3 είδη συμπεριφορών για τον κάθε παραγωγό:

- Αγορά/Πώληση σε τιμή αγοράς (Spot Price)
- Επένδυση για μόνιμη μείωση εκπομπών
- Αποθήκευση/Δανεισμός αδειών (Banking/Borrowing) και
- Hedging/Speculation

4.6.1 Επένδυση για μόνιμη μείωση εκπομπών

Όσον αφορά στην επένδυση για μείωση των εκπομπών έγινε χρήση καμπυλών οριακού κόστους για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών (Marginal Abatement Cost Curves). Θεωρήσαμε οικογένεια ευθειών με τύπο:

$$P(eA) = z \left(-\log \left[1 - \frac{A + eA}{\alpha NOA_t} \right] \right)^{\frac{1}{b}}$$

Η μεταβλητή κατάστασης A_{t-1} η οποία αντιπροσωπεύει το ολικό Abatement, δηλαδή τη μόνιμη μείωση των εκπομπών που έχει επιτευχθεί έως και τη χρονική στιγμή $t-1$ προκύπτει ως εξής:

$$A_{t-1} = \sum_0^{t-1} eA(t)$$

Η μεταβλητή της συνάρτησης, eA , αφορά το Extra Abatement δηλαδή την περαιτέρω μείωση των εκπομπών για την τρέχουσα χρονιά ενώ τα z , α και β είναι σταθερές τις οποίες επιλέγουμε αναλόγως του βιομηχανικού τομέα του οποίου την καμπύλη οριακού κόστους θέλουμε να προσεγγίσουμε. Για τις παραμέτρους αυτές θεωρούμε $0 < \alpha < 1$ και $\beta, z > 0$ αντίστοιχα, έτσι ώστε οι καμπύλες που προκύπτουν να είναι γνησίως θετικές και να αυξάνονται με την αύξηση του οριακού κόστους. Το α αποτελεί το ποσοστό της μείωσης των ολικών εκπομπών στο οποίο το κόστος μείωσης των εκπομπών απειρίζεται. Ακόμα, $\beta > 1$ συνεπάγεται ότι θα υπάρχει σημείο καμπής του οποίου η θέση στον άξονα των x εξαρτάται από το z . Τέλος όπως εξηγήσαμε προηγουμένως η παράμετρος NOA_t αποτελεί τον αριθμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για την περίπτωση που δεν υπήρχε καμία μείωση των εκπομπών.

Στο μοντέλο χρησιμοποιείται και η αντίστροφη της MACC η οποία έχει ως εξής:

$$eA(P) = NOA_t \alpha \left(1 - e^{-\left(\frac{P}{z}\right)^\beta} \right) - A_{t-1}$$

Διακρίνουμε τις καμπύλες οριακής τιμής για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών αναλόγως τον βιομηχανικό τομέα ως εξής:

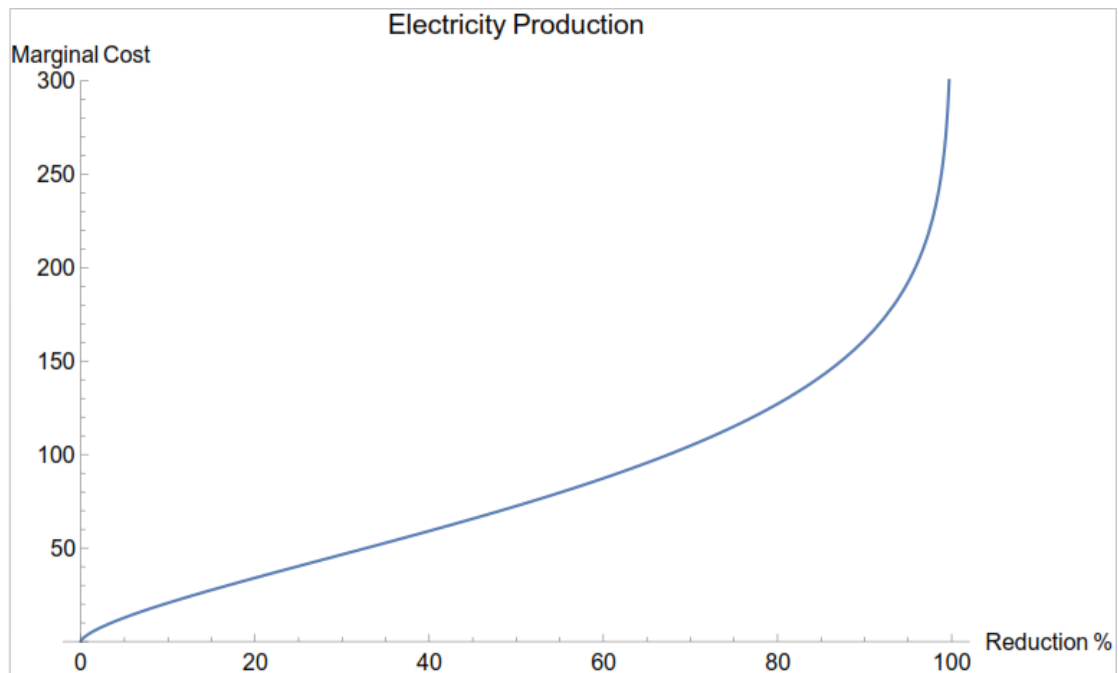


Figure 25 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

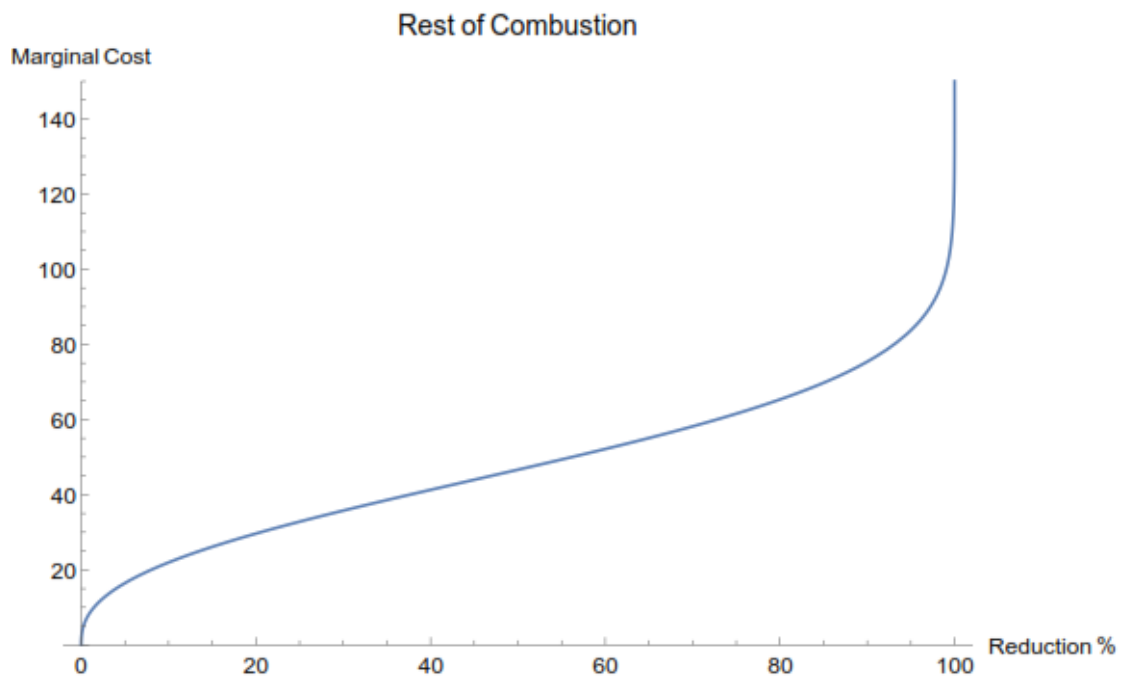


Figure 26 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Λοιπών Βιομηχανιών Καύσης. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

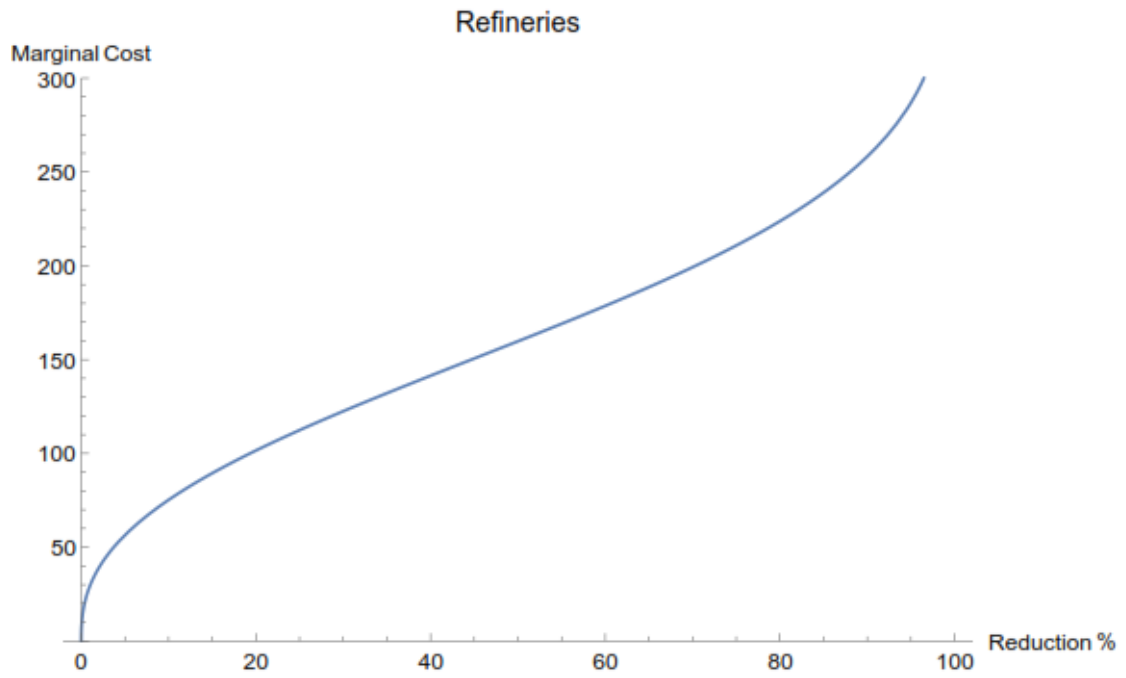


Figure 27 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Διυλιστηρίων. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

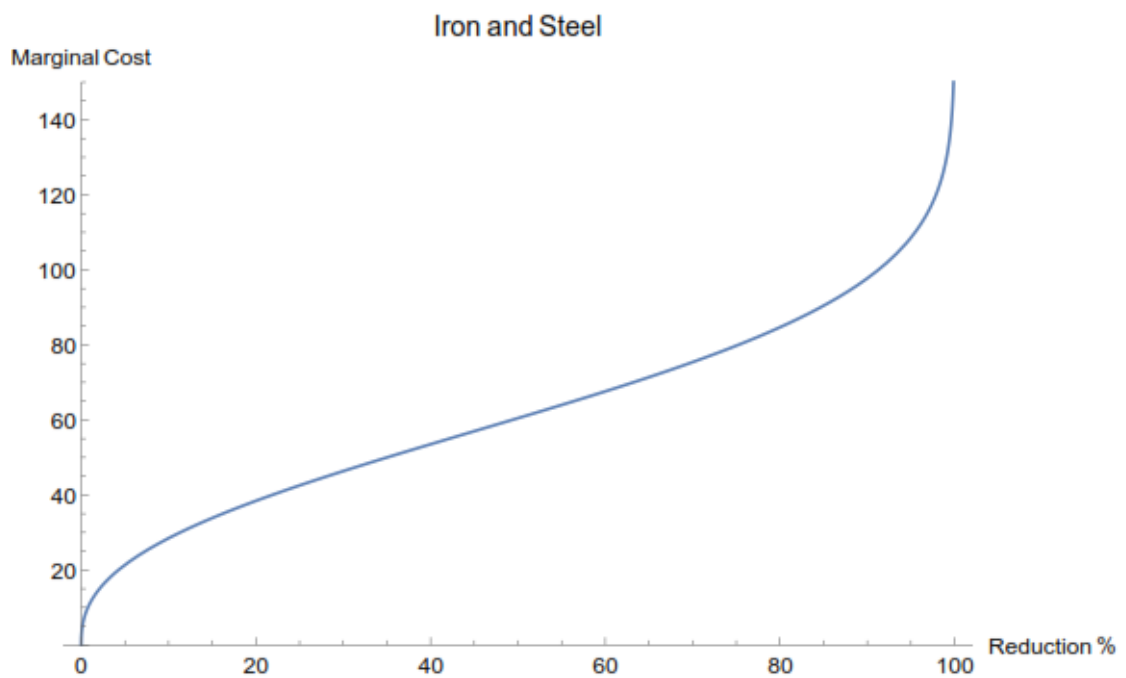


Figure 28 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα της Μεταποίησης Μετάλλων. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

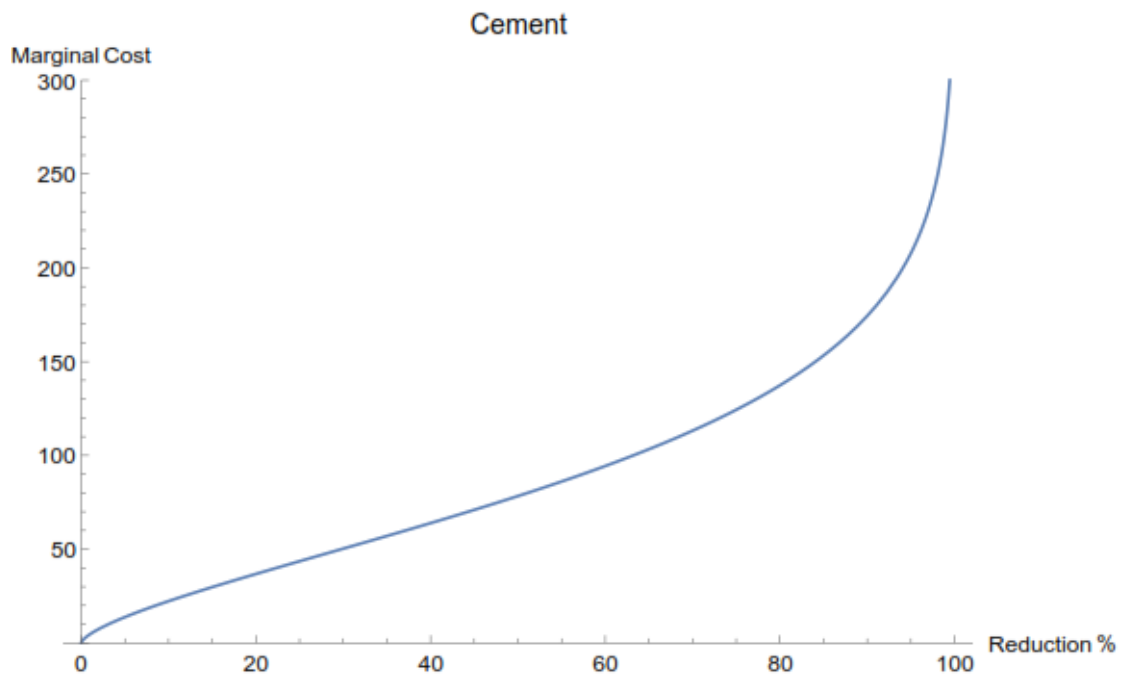


Figure 29 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Τσιμεντοβιομηχανιών. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

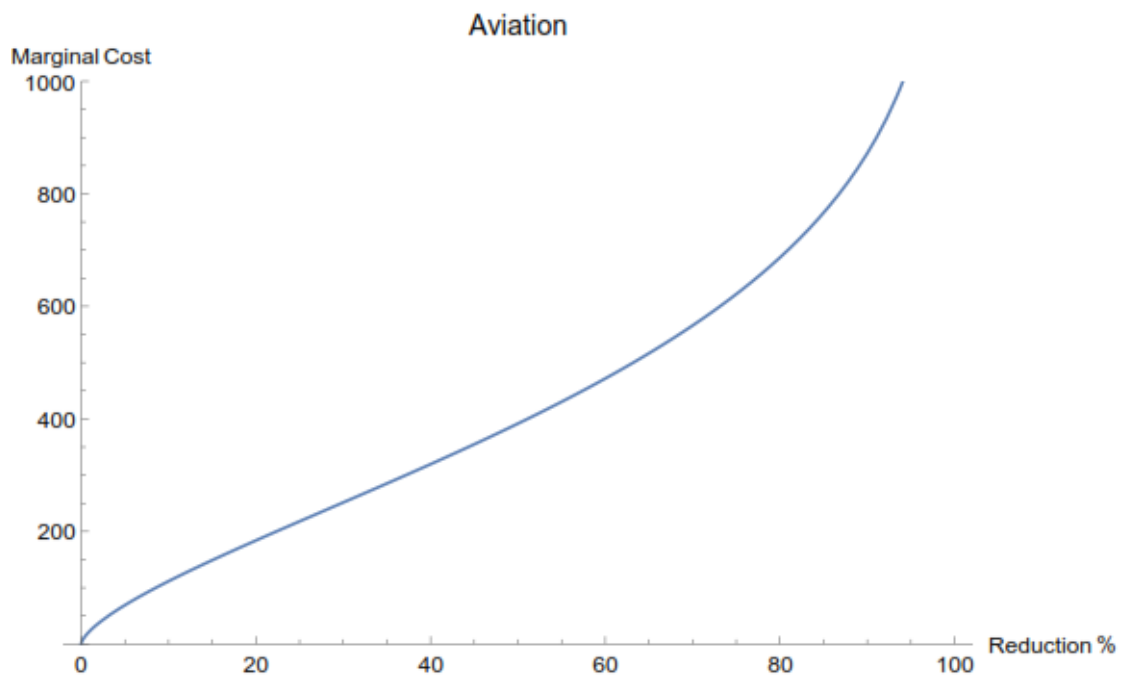


Figure 30 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον τομέα των Αερομεταφορών. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

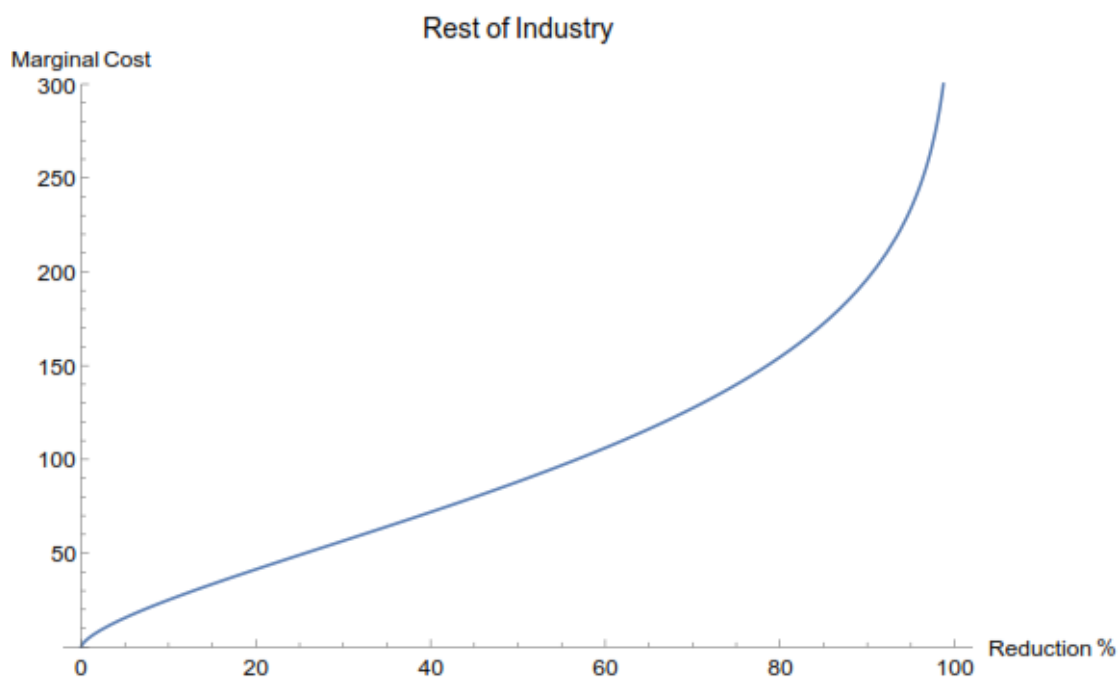


Figure 31 Καμπύλη Οριακού Κόστους για τον Υπόλοιπο Βιομηχανικό Τομέα. Η μείωση αναφέρεται στο ποσοστό των συνολικών εκπομπών του τομέα και το κόστος σε €

Για τις καμπύλες αυτές έχουν επιλεγθεί κατάλληλες παράμετροι α , β και z ώστε να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο την πραγματικότητα.

4.6.2 Banking/Borrowing

Κάθε χρόνο οι παραγωγοί αγοράζουν επιπρόσθετη ποσότητα αδειών η οποία αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση.

$$\begin{aligned}
 Bank(pro, t) &= bankMult(t)[c_1(NOA_{t+1} - Abatement_{t-1}) \\
 &+ c_2(NOA_{t+2} - Abatement_{t-1}) \\
 &+ c_3(NOA_{t+3} - Abatement_{t-1})]
 \end{aligned}$$

Όπου, $bankMult(t)$ παράμετρος σύμφωνα με την οποία δίνεται έμφαση στην αγορά αδειών στην αρχή της περιόδου και λιγότερη προς το τέλος της. Αυτό συμβαίνει επειδή στα τελευταία έτη της φάσης του ETS οι ληξιπρόθεσμες άδειες θα έχουν μικρότερη αξία αποθήκευσης σε σχέση με την αρχή της περιόδου.

$$bankMult(t) = a_1 t + b_1$$

Όπου c_1, c_2, c_3, a_1, b_1 σταθερές.

Αυτό σημαίνει ότι για C_1 , C_2 , C_3 ίσα με 30%, 15%, και 5% ο κάθε παραγωγός είναι προγραμματισμένο να αγοράζει το 30% των αδειών που προβλέπεται ότι θα χρειαστεί για το επόμενο έτος, το 15% για το μεθεπόμενο και 5% για 2 χρόνια μετά. Τέλος NOA_t αποτελεί ο αριθμός των εκπομπών αν λάβουμε υπόψιν μηδενική επένδυση για μόνιμη μείωση εκπομπών, οπότε για παράδειγμα ο όρος $NOA_{t+1} - Abatement_{t-1}$ είναι οι εκπομπές που έχουν προβλεφθεί για την επόμενη χρονιά θεωρώντας μηδενική μείωση εκπομπών μείον τη μείωση εκπομπών που έχει πραγματοποιηθεί τη χρονιά στην οποία αγοράζονται οι άδειες.

4.6.3 Speculation

Η Κερδοσκοπία επιτυγχάνεται μετά από διενέργεια προβλέψεων ως προς τις διακυμάνσεις που μπορεί να σημειωθούν στις τιμές των αγαθών με αντίστοιχη αγορά ή πώληση αυτών. Έτσι και στο μοντέλο κάθε παίχτης βασισμένος σε μία πρόβλεψη λαμβάνει θέση για την τιμή των αδειών.

Η μέθοδος πρόβλεψης στο μοντέλο αυτό είναι η γραμμική παλινδρόμηση των τιμών των $N=10$ προηγούμενων χρόνων από την οποία θα παίρνουμε την κλίση (beta). Από την κλίση της καμπύλης θα μπορεί ο κάθε παραγωγός να περιμένει αύξηση ή μείωση της τιμής των αδειών τον επόμενο χρόνο. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τη γραμμική παλινδρόμηση είναι ο εξής:

$$\beta = \frac{\sum_1^N \left((t - \frac{1}{N} \sum_1^N t) (P - \frac{1}{N} \sum_1^N P) \right)}{\sum_1^N \left(t - \frac{1}{N} \sum_1^N t \right)^2}$$

Έτσι η κερδοσκοπία του κάθε παραγωγού σε άδειες είναι η εξής:

$$Speculation(t) = c_4 * \beta * bank(t)$$

Έτσι με c_4 της τάξης του 20% όλοι οι παραγωγοί κερδοσκοπούν το γινόμενο της κλίσης της καμπύλης, επί το 20% των αδειών που αποθηκεύουν για επόμενες χρονιές όπως ορίζει η μεταβλητή $bank(t)$. Άρα στην περίπτωση που η γραμμική παλινδρόμηση έδινε μεγάλη κλίση μια χρονιά ή στην αρχή μιας περιόδου που ο αριθμός αδειών που αποθηκεύονται για επόμενες χρονιές είναι μεγάλος αυξάνεται ο αριθμός αδειών στις οποίες γίνεται κερδοσκοπία. Το πρόβλημα με τα παραπάνω είναι ότι είναι παράλογο σε μία αγορά να έχουν όλοι οι κερδοσκόποι την ίδια πρόβλεψη για την τιμή της αγοράς όσο παράλογο είναι να δρουν όλοι με τον ίδιο τρόπο βάση της πρόβλεψης αυτής.

Στο μοντέλο αυτό έγινε μια προσπάθεια προσομοίωσης των συμπεριφορών των παιχτών μιας αγοράς με τον εξής τρόπο:

Θεωρούμε κανονική κατανομή η οποία σε αρχικό στάδιο η πιθανότητα για θετική τιμή είναι 75%. Όσο πιο επιτυχημένη είναι η καμπύλη αυτή στο πέρας των περιόδων, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η πιθανότητα για θετική τιμή και αντίστοιχα. Αυτό μεταφράζεται ως εξής: Οι παραγωγοί έχουν τυχαίες προβλέψεις για την αγορά αδειών σύμφωνα με τις οποίες το 75% συμφωνεί με την κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης παίρνοντας παραπλήσιες τιμές. Κάθε περίοδο η γραμμική παλινδρόμηση μεταβάλλεται, ενώ αν η παλινδρόμηση προέβλεψε σωστά την τιμή κάποια χρονιά οι πιθανότητες να συμφωνεί η πρόβλεψη ενός παραγωγού με τη γραμμική παλινδρόμηση αυξάνονται και αντίστοιχα. Σε οριακές συνθήκες, αν για αρκετά συνεχόμενα χρόνια είχαμε σωστή πρόβλεψη τότε όλοι οι παραγωγοί θα συμφωνήσουν με την πρόβλεψη της γραμμικής παλινδρόμησης ενώ αν όχι η γραμμική παλινδρόμηση θα είναι ασυσχέτιστη με τις προβλέψεις των παραγωγών οι οποίες θα διχάζονται στο 50% της κανονικής κατανομής.

Αυτό μαθηματικά προκύπτει ως εξής:

$$normc(pro) = normal(\mu, \sigma + normtr_{|vl})$$

Με τη μεταβλητή $normtr_{|vl}$ μπορούμε να μεταβάλλουμε τη διασπορά της κανονικής κατανομής σύμφωνα με την παράμετρο $|vl|$ και ενώ μαζί με την CDF της κανονικής κατανομής που έχει ως εξής:

$$y = \frac{1}{2} \left(1 - erf \left(\frac{\mu - x}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right)$$

Αν,

$$\frac{\mu}{\sigma} \uparrow \overset{\text{τότε}}{\iff} y \downarrow$$

Η παράμετρος $|vl|$ εξαρτάται από την επιτυχία ή όχι της γραμμικής παλινδρόμησης για τη σωστή πρόβλεψη της πορείας της τιμής των αδειών. Αντίστοιχα η $normtr_{|vl}$ προσαρμόζει τις μεταβολές της $|vl|$ ώστε να επιτυγχάνουμε τις κατάλληλες πιθανότητες για θετική τιμή σε σχέση πάντα με την κλίση β .

Η παράμετρος $|vl|$ μεταβάλλεται ως εξής:

$$|vl| = \begin{cases} (\beta * (P_t - P_{t-1}) > 0, & |vl| = |vl| + 1 \\ (\beta * (P_t - P_{t-1}) \leq 0, & |vl| = |vl| - 1 \end{cases}$$

Άρα τελικά η κερδοσκοπία που πραγματοποιεί ο κάθε παραγωγός είναι η ακόλουθη:

$$Speculation(t) = 0,2\beta * normal(\mu, \sigma + normtr_{|vl}) * bank(t)$$

4.7 Περιορισμοί – Εξισώσεις μοντέλου

Ο ελάχιστος αριθμός των αδειών που αγοράζονται από τον κάθε παραγωγό περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Buy \geq (1 - fa) * E - hold$$

Στην εξίσωση αυτή θεωρούμε ότι όλοι οι παραγωγοί θα αγοράσουν το λιγότερο αριθμό αδειών τέτοιο, ώστε να καλύψουν τις ανάγκες του τρέχοντος έτους. Hold θεωρούμε τον αριθμό των αδειών που έχει αποθηκεύσει ο κάθε παραγωγός για μελλοντική χρήση και δίνεται από τον τύπο:

$$hold_t = hold_{t-1} + Buy_{t-1} - (1 - fa) * E_{t-1}$$

Ακολουθεί η εξίσωση σύμφωνα με την οποία έχουμε εκκαθάριση της αγοράς. Όλες οι άδειες που δημοπρατούνται θα πρέπει να είναι ίσες με τις άδειες που αγοράζονται ή πωλούνται. Έχουμε:

$$IA(t) - MSR(t) = \sum_{pro} Buy(t)$$

Ακόμα έχουμε την εξίσωση που περιλαμβάνει την καμπύλη οριακού κόστους για τη μείωση των εκπομπών:

$$eA_t + A_{t-1} \leq NOA_t * \left(1 - \frac{a}{1 - a_{ch} * t} \left(1 - e^{-\left(\frac{P}{Z}\right)^\beta} \right) \right)$$

Όπου eA είναι το extra abatement, που δεν είναι άλλο από η περαιτέρω επένδυση σε μόνιμη μείωση των εκπομπών που θα γίνει αυτή τη χρονιά. Ο όρος $\frac{a}{1 - a_{ch} * t}$ δίνει το ρυθμό αύξησης του a όσο μεγαλώνει το t και αφορά στην ετήσια τεχνολογική πρόοδο η οποία αυξάνει τον παράγοντα a . Θεωρώ a_{ch} της τάξης του 3.5%. Η αύξηση αυτή του παράγοντα a είναι με άλλα λόγια οι νέες τεχνολογίες που επιτυγχάνουν ακόμα μεγαλύτερο μέγιστο ποσοστό των συνολικών εκπομπών που μπορούν να καλυφθούν ετησίως.

Ακόμα θεωρούμε A_{t-1} το άθροισμα της μόνιμης μείωσης των εκπομπών όλων των προηγούμενων χρόνων ή αλλιώς:

$$A_{t-1} = \sum_0^t eA(t)$$

Οι υπόλοιπες δύο εξισώσεις του μοντέλου αναφέρθηκαν προηγουμένως και είναι οι:

$$E = NOA_t - A_{t-1} - eA_t$$

$$\beta = \frac{\sum_{t-N}^t \left(\left(t - \frac{1}{N} \sum_{t-N}^t t \right) \left(P - \frac{1}{N} \sum_{t-N}^t P \right) \right)}{\sum_{t-N}^t \left(t - \frac{1}{N} \sum_{t-N}^t t \right)^2}$$

Η πρώτη εξίσωση είναι η εξίσωση σύμφωνα με την οποία ο αριθμός των εκπομπών για τον κάθε παραγωγό, είναι ίσος με τον αριθμό των εκπομπών αν δεν είχαμε επένδυση για μόνιμη μείωση των εκπομπών μείον τη μόνιμη μείωση των εκπομπών που πραγματοποιήθηκε τα προηγούμενα έτη.

Η δεύτερη εκ των δύο χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της τιμής των αδειών στο μέλλον. Στο μοντέλο χρησιμοποιείται η γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression) και στην περίπτωση αυτή ο τύπος δίνει το β ή αλλιώς την κλίση της ευθείας. Στη γραμμική αυτή παλινδρόμηση θεωρούμε $N=10$ έτη και ως είσοδο έχουμε τις προηγούμενες τιμές έως και τη χρονιά j στην οποία τρέχει το μοντέλο.

4.8 Ανάλυση αντικειμενικής συνάρτησης

Στη γενική περίπτωση η αντικειμενική συνάρτηση απαρτίζεται από 3 μέρη:

- Το κόστος των αδειών C_{all}
- Το κόστος επένδυσης C_{ab}
- Το αναμενόμενο κέρδος της επένδυσης ci

Από το άθροισμα των δύο τελευταίων όρων προκύπτει η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.

4.8.1 Το κόστος των αδειών

Όσον αφορά στο κόστος των αδειών έχουμε:

$$C_{all} = Buy * P$$

Όπως προαναφέραμε, $Buy_{pro,t}$ είναι ο αριθμός των αδειών που αγοράζεται κάθε χρόνο από τον κάθε παραγωγό. Έτσι, για την εύρεση του συνολικού κόστους αδειών για το σύνολο των παραγωγών είναι το άθροισμα του κόστους αυτού για όλους τους παραγωγούς.

4.8.2 Το κόστος επένδυσης

Το κόστος επένδυσης ή αλλιώς το κόστος για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μπορεί να βρεθεί ως το ολοκλήρωμα του οριακού κόστους από την καμπύλης μόνιμης μείωσης εκπομπών CO₂.

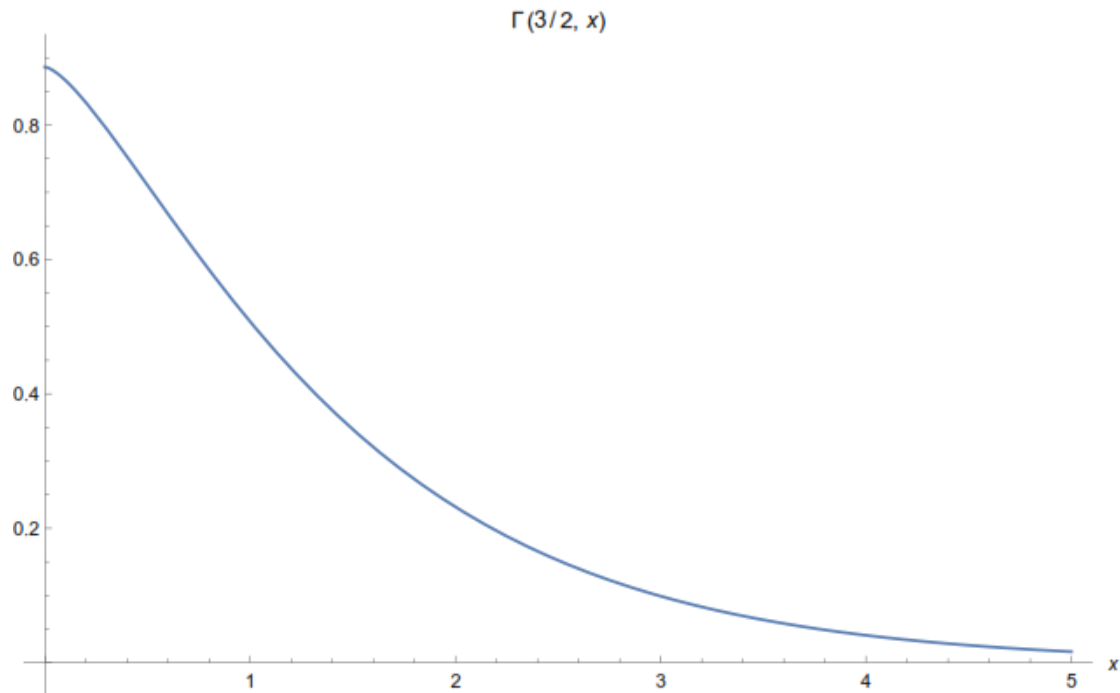
Ο υπολογισμός του κόστους επένδυσης είναι αρκετά πολύπλοκος και έχει ως εξής:

$$C_{ab} = \int P(eA)deA = \int z \left(-\log \left[\frac{\alpha NOA_t - A_{t-1} - eA}{\alpha NOA_t} \right] \right)^{\frac{1}{b}} dA \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow C_{ab} = -z * \alpha * NOA_t * \Gamma \left(1 + \frac{1}{b}, -\log \left[1 - \frac{A_{t-1} + eA}{\alpha NOA_t} \right] \right)$$

Όπου Gamma, θεωρούμε τη συνάρτηση Incomplete Gamma Function η οποία είναι η συνάρτηση Γ όταν ολοκληρώνεται από σημείο $x > 0$.

$$\Gamma(a, x) = \int_x^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt$$

Η γραφική της συνάρτησης $\Gamma(3/2, x)$ είναι η παρακάτω:



Βέβαια στο Gams δεν υφίσταται η Incomplete Gamma Function οπότε, την κατασκευάσαμε με χρήση της κανονικοποιημένης συνάρτησης Γ που υπάρχει στο Gams (gammaReg) που είναι η $P(a, z)$ ως εξής:

$$Q(a, z) = \frac{\Gamma(a, z)}{\Gamma(a)} \quad (1)$$

$$Q(a, z) + P(a, z) = 1 \quad (2)$$

Και από (1),(2) προκύπτει:

$$\Gamma(a, z) = \Gamma(a)(1 - P(a, z))$$

Έτσι προκύπτει η τελική αντικειμενική συνάρτηση για είσοδο στο Gams, αντικαθιστώντας και τα a, z των παραπάνω εξισώσεων, που είναι η:

$$c_{ab} = -z\alpha NOA_t \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) * \left(1 - P\left(1 + \frac{1}{b}, -\log\left[1 - \frac{A_{t-1} + eA}{\alpha NOA_t}\right]\right)\right)$$

4.8.3 Το αναμενόμενο κέρδος επένδυσης

Τώρα θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό του αναμενόμενου κέρδους επένδυσης και τελικά της καθαρής παρούσας αξίας της επένδυσης.

Για τα cash inflows μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή t έχουμε:

$$ci = eA \left(\frac{1}{N} \left(\sum_{t+1}^T (P_t) + P \right) - \beta * \frac{1}{N} \sum_1^N t + \beta * normc_{pro} * t \right) 2^{-c(t-t_0)}$$

Τα cash inflows πρόκειται για το κέρδος που θα έχει ο κάθε παραγωγός από την επένδυση κάθε χρόνο. Στην περίπτωση μας είναι το κόστος των αδειών που θα πλήρωνε ο κάθε παραγωγός αν δεν είχε πραγματοποιήσει μόνιμη μείωση εκπομπών.

Ο όρος $2^{-c(t-t_0)}$ εκφράζει την αβεβαιότητα των παραγωγών για τη μελλοντική απόδοση της επένδυσης. Έτσι για $c=1/5$ οι εισροές λόγω της επένδυσης 10 έτη μετά επηρεάζουν την επένδυση κατά 50% λιγότερο σε σχέση με τις αναμενόμενες εισροές 5 έτη μετά.

Προηγουμένως έγινε υπολογισμός της κερδοσκοπίας του κάθε παραγωγού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε γραμμική παλινδρόμηση για πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής των αδειών. Κάθε παραγωγός “βλέπει” διαφορετική κλίση στη γραμμική παρεμβολή και ίση με $\beta * normc_{pro}$. Έτσι, κάθε παραγωγός προβλέπει μελλοντικές τιμές των αδειών οι οποίες θα επηρεάσουν με τον ίδιο τρόπο την επένδυση που θα πραγματοποιήσει είτε αυτή είναι σε μορφή αδειών είτε σε μόνιμη μείωση εκπομπών. Ακόμα θεωρούμε κοινή έναρξη για την κάθε καμπύλη της γραμμικής παρεμβολής που βλέπει ο κάθε παραγωγός, την:

$$\alpha = \frac{1}{N} \left(\sum_{t+1}^T P_t + P \right) - \beta * \frac{1}{N} \sum_1^N t$$

Τέλος, τα έσοδα των επενδύσεων προκύπτουν από το γινόμενο της πρόβλεψης της τιμής του κάθε παραγωγού, $\alpha + \beta t$, με τον αριθμό των αδειών που δε θα χρειαστεί να αγοραστούν μελλοντικά (eA) και όλα αυτά για το κάθε επόμενο έτος. Άρα τελικά για την καθαρή παρούσα αξία των επενδύσεων έχουμε:

$$NPV = \sum_t^T (ci * (1 + r)^{T-t}) - c_{ab} * (1 + r)^{T-t}$$

Άρα στη γενική περίπτωση η συνάρτηση το ολικού κόστους για τη χρονιά t έχει ως εξής:

$$tCost = \sum_{pro} \left(c_{all} * (1 + r)^{T-t} - \sum_t^T (ci * (1 + r)^{T-t}) - c_{ab} * (1 + r)^{T-t} \right)$$

4.9 Η Αντικειμενική Συνάρτηση ανά περίπτωση

Στο μοντέλο αυτό έχουμε διακρίνει 2 διαφορετικές μεθόδους για την πρόβλεψη της τιμής των αδειών:

→ Προσέγγιση δεδομένων εκπομπών (E) κάθε έτος:

$$\sum_{pro} E_t \rightarrow data_t$$

→ Συγκεκριμένη στρατηγική για αγορά και πώληση αδειών για τον κάθε παραγωγό:

$$nBuy = (1 - fa) * E + bank - hold + speculation$$

4.9.1 Προσέγγιση δεδομένων πανευρωπαϊκών εκπομπών

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί δεδομένα του εργαστηρίου E3MLab. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά θεωρούμε συγκεκριμένες πανευρωπαϊκές εκπομπές κάθε χρόνο τις οποίες το σύνολο των παραγωγών προσεγγίζει. Ο όρος προσεγγίζει αναφέρεται στο γεγονός ότι σε κάποιες περιπτώσεις αυτό δεν είναι δυνατό ή βέλτιστο για το σύστημα. Για το λόγο αυτό έγινε χρήση της τεχνικής της τετραγωνικής τιμωρίας όπως θα δούμε παρακάτω.

$$tCost_1 = c_1 \left(\sum_{pro} (E_t) - data_t \right)^2 + \sum_{pro} \left(c_{all} * (1 + r)^{T-t} - \sum_t (ci * (1 + r)^{T-t}) - c_{ab} * (1 + r)^{T-t} \right)$$

Έτσι για την περίπτωση αυτή η αντικειμενική συνάρτηση έχει την παραπάνω μορφή με c_1 κατάλληλο συντελεστή ώστε να προσεγγίζεται η τιμή $data_t$ με το μικρότερο δυνατό σφάλμα ενώ λαμβάνονται υπόψιν και οι υπόλοιποι όροι της αντικειμενικής συνάρτησης.

Αντίθετα με τη χρήση αυστηρού ορίου για τις εκπομπές έγινε χρήση τετραγωνικής τιμωρίας. Ένα αυστηρό όριο για τις εκπομπές δεδομένου ότι αποτελεί αποτέλεσμα πρόβλεψης σε πολλές περιπτώσεις δεν οδηγεί το μοντέλο στην καλύτερη δυνατή λύση. Μπορεί μεν το μοντέλο να παράγει το ελάχιστο δυνατό κόστος για το συγκεκριμένο όριο, με χρήση της τετραγωνικής τιμωρίας $c_1 (\sum_{pro} (E_t) - data_t)^2$ και τοποθέτηση της στην αντικειμενική συνάρτηση δίνεται η δυνατότητα για αναζήτηση ακόμα καλύτερων τελικά λύσεων κοντά στο όριο που τέθηκε. Με άλλα λόγια, θυσιάζοντας μέρος της ακρίβειας όσον αφορά στις τελικές εκπομπές σε σχέση με τις προβλέψεις του εργαστηρίου, παίρνουμε καλύτερες λύσεις για το σύστημα συνολικά.

4.9.2 Συγκεκριμένη στρατηγική για τον κάθε παραγωγό

Η μέθοδος αυτή, σε αντίθεση με την παραπάνω μέθοδο στην οποία όλοι οι παραγωγοί προσέγγιζαν συγκεκριμένους στόχους, αφορά τον κάθε παραγωγό ξεχωριστά. Όλοι οι παραγωγοί έχουν εγωιστικές στρατηγικές οι οποίες προσπαθούν να επιτευχθούν μέσω της αντικειμενικής και είναι της μορφής:

$$nBuy = (1 - fa) * E + bank - hold + speculation$$

Με τη μεταβλητή $nBuy$ αποτελεί τη στρατηγική του εκάστοτε παραγωγού. Κάθε παραγωγός αγοράζει τέτοιο αριθμό αδειών ετησίως ώστε να καλύπτει τις τρέχουσες ανάγκες σε άδειες αλλά και τις ανάγκες για μελλοντική αποθήκευση και κερδοσκοπία. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι ανάγκες των παραγωγών για αποθήκευση και κερδοσκοπία βασίζονται σε ατομικές προβλέψεις του εκάστοτε παραγωγού και αναφέρονται σε προηγούμενα κεφάλαια.

Όπως είναι φυσικό δεν μπορούν όλοι οι παραγωγοί να ικανοποιούν μαζικά τις ανάγκες τους για άδειες, έτσι το μοντέλο όπως και στην προηγούμενη περίπτωση χρησιμοποιεί την τεχνική της τετραγωνικής ποινής. Γι' αυτό είναι απαραίτητος ο ελάχιστος αριθμός των αδειών που αγοράζονται από τον εκάστοτε παίχτη ετησίως και δίνεται από τον τύπο:

$$Buy \geq (1 - fa) * E - hold$$

Έτσι κάθε παίχτης θα αγοράζει το λιγότερο άδειες τόσες, όσες και οι τρέχουσες ανάγκες του.

Όσον αφορά στον όρο τετραγωνικό όρο της αντικειμενικής συνάρτησης, στόχος είναι τελικά ο κάθε παραγωγός να προσεγγίσει την εκάστοτε στρατηγική του όσο το δυνατό περισσότερο, δηλαδή:

$$Buy_{pro} \rightarrow nBuy_{pro}$$

Άρα τελικά η αντικειμενική συνάρτηση όσον αφορά τη δεύτερη μέθοδο επίλυσης του προβλήματος είναι η ακόλουθη:

$$tCost_2 = \sum_{pro} \left(c_2 (nBuy - Buy)^2 + c_{all} * (1 + r)^{T-t} - \sum_t^T (c_i * (1 + r)^{T-t}) - c_{ab} * (1 + r)^{T-t} \right)$$

Όπου c_2 κατάλληλη παράμετρος η οποία εξαρτάται από το πόσο σημαντική είναι για εμάς η επίτευξη των παραπάνω στρατηγικών.

4.10 Σενάρια Επίλυσης

Στο μοντέλο θα γίνει επίλυση 3 διαφορετικών σεναρίων εκδιδόμενων αδειών με τις 2 μεθόδους επίλυσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η βασική διαφορά των σεναρίων έγκειται στον αναμενόμενο αριθμό αδειών οι οποίες θα παραχωρηθούν από την Ε.Ε μέσω δημοπρασίας από το 2020 και μετά. Οι άδειες που αφορούν το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς υπολογίζονται μέσα από το μοντέλο.

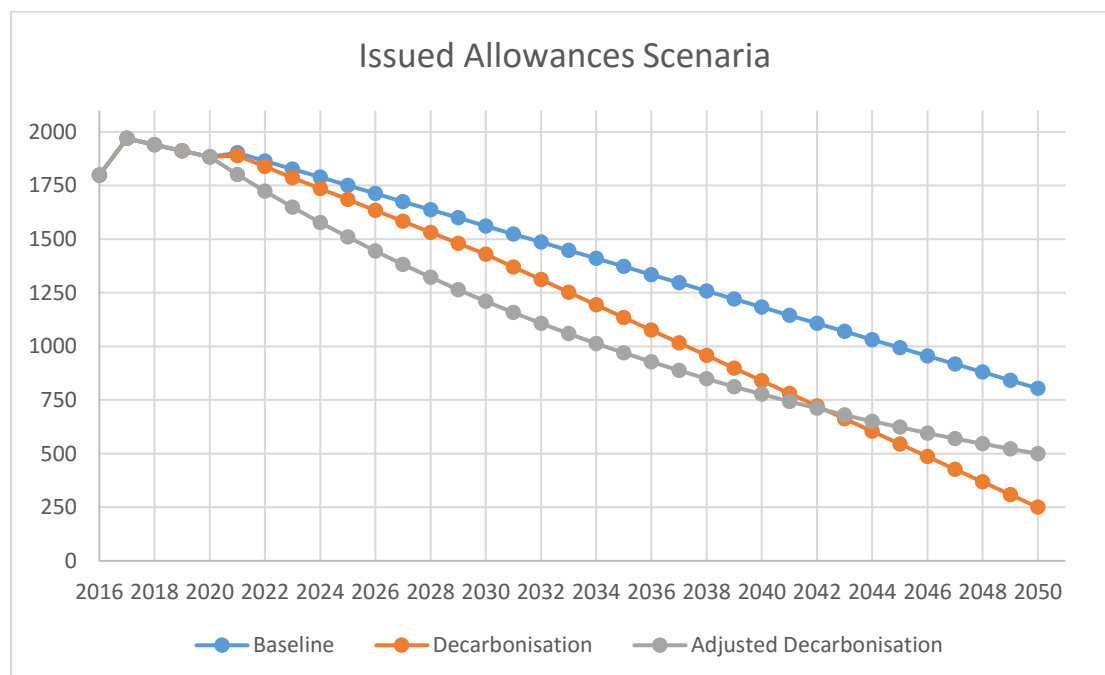


Figure 32 Σενάρια εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς. Με Μπλε απεικονίζονται τα σεσάρια Baseline, με Πορτοκαλί τα σεσάρια Απαλλαγής από τις Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα και ισοδυνάμων του, ενώ με Γκρι το παραλλαγμένο σεσάρια Απαλλαγής για Ισορροπία του ETS.

Η παραχώρηση αδειών έως το 2020 θεωρείται γνωστή. Από το σημείο αυτό και έπειτα δεν υπάρχει ξεκάθαρη τοποθέτηση για τις άδειες που είναι διαθέσιμες για δημοπρασία. Ως είσοδος χρησιμοποιήθηκαν 2 σεσάρια από τα δεδομένα του εργαστηρίου E3MLab για υψηλό και χαμηλό αριθμό αδειών που θα εκδίδονται ετησίως από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο χαμηλός αριθμός αδειών αποτελεί σεσάρια απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές.

Για τις ανάγκες της διπλωματικής δημιουργήθηκε ένα ακόμα σεσάρια απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές, το σεσάρια Adjusted Decarbonisation, το οποίο ρυθμίστηκε όπως θα δούμε παρακάτω.

4.10.1 Κατασκευή σεναρίου Αδειών Adjusted Decarbonisation

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ο βασικός λόγος ύπαρξης του σεναρίου αυτού είναι η ισορροπία του ETS όσον αφορά το MSR. Ο αριθμός αδειών ρυθμίστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε, δεδομένων των εκπομπών που δίνονται από τα σενάρια απαλλαγής από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ισοδυνάμων του, οι άδειες που απορροφώνται από το MSR, από το 2016 έως το 2050 να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στις άδειες που απελευθερώνονται από αυτό. Οι άδειες που εκδίδονται χωρίς να ληφθεί υπόψη το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς αφορούν κατά κύριο λόγο τα σενάρια εκπομπών αφού πάνω σε αυτά βασίστηκαν όποτε δεν περιμένουμε αντίστοιχη αντίδραση από τον τρόπο επίλυσης στρατηγικών.

Ο τρόπος κατασκευής του σεναρίου αυτού είναι αρκετά απλός και έγινε με χρήση του προσθέτου Solver του Microsoft Excel. Αρχικά θεωρούμε ότι οι αλλαγές στις άδειες ξεκινούν μετά το 2021, αφού μέχρι το 2021 φτάνουν οι γνωστές πληροφορίες για τον αριθμό των αδειών που θα εκδίδονται χωρίς να περιλαμβάνεται το MSR. Από εκείνο το σημείο και μετά γνωρίζοντας τον αριθμό των εκπομπών, μπορούμε εύκολα να εφαρμόσουμε εξίσωση τέτοια ώστε:

$$\text{Minimize} \quad \left(\left(\sum MSR_{Sc1}(a) \right)^2 + \left(\sum MSR_{Sc2}(a) \right)^2 \right)$$

$$\text{Subject to} \quad IA_{Sc1} = IA_{Sc2} = IA(2021)e^{-a(t-2021)}$$

$$\text{and} \quad \text{Surplus}(a, t) = \text{Surplus}(t-1) + IA(a, t) - E_{Sc1}(t)$$

$$\text{and} \quad \text{Surplus}(a, t) = \text{Surplus}(t-1) + IA(a, t) - E_{Sc2}(t)$$

$$\text{and} \quad \sum (IA_{Sc1}) = \sum (IA_{Sc1}(a)')$$

$$\text{and} \quad \sum (IA_{Sc2}) = \sum (IA_{Sc2}(a)')$$

$$\text{and} \quad t \geq 2021$$

Ενώ ο τύπος για το MSR δεδομένου του πλεονάσματος δόθηκε προηγουμένως περιλαμβάνεται και αυτός στους περιορισμούς.

Όπως είναι φανερό, επιλέχθηκε εξίσωση τέτοια ώστε να μειώνει τις άδειες που εκδίδονται ετησίως με εκθετικό βαθμό. Η εξίσωση αυτή επιλέχθηκε επειδή σε αντίθεση με το γραμμικό βαθμό που προβλέπεται από την Ε.Ε μέχρι σήμερα, ελαχιστοποιεί σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό την αντικειμενική συνάρτηση δουλεύοντας αρκετά καλά και για τα δύο σενάρια. Βέβαια, επειδή το μοντέλο βελτιστοποιεί την επίλυση σε μια περιοχή κοντά στην επίλυση που δίνει το E3MLab οι τιμές των Εκπομπών δεν μπορούν να προσεγγιστούν με την ίδια ακρίβεια.

5. Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα μοντέλου με δεδομένες πανευρωπαϊκές εκπομπές

Αυτός ο τύπος επίλυσης χρησιμοποιεί προβλέψεις εκπομπών του E3Mlab τις οποίες το μοντέλο βελτιστοποιεί για μία περιοχή κοντά στην πρόβλεψη με χρήση τετραγωνικής ποινής. Οι παραγωγοί δεν εμφανίζουν κερδοσκοπία και μειώνουν τις εκπομπές τους βέλτιστα, καθώς ορίζουν τα μέγιστα όρια. Ακόμα, στην επίλυση αυτή αναμένουμε ατελή απορρόφηση του πλεονάσματος, αφού τα κίνητρα για περεταίρω αύξηση ή μείωση των εκπομπών είναι χαμηλά δεδομένης της τετραγωνικής ποινής. Από την άλλη μεριά, οι παραγωγοί δε χρησιμοποιούν βραχυπρόθεσμες προβλέψεις για μείωση εκπομπών ή κερδοσκοπία γεγονός που οδηγεί σε σχετικά σταθερή αύξηση των τιμών από χρόνο σε χρόνο και άρα σε πρόοδο τιμής με χαμηλή διακύμανση.

Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο παρεμφερή σενάρια εκπομπών για κάθε σενάριο αδειών ενώ τα σενάρια εκπομπών απεξάρτησης από τον άνθρακα είναι ίδια με αυτά του παραλλαγμένου σεναρίου αδειών για απεξάρτηση από τον άνθρακα.

Οι εκπομπές για τα σενάρια Baseline προκύπτουν ως εξής:

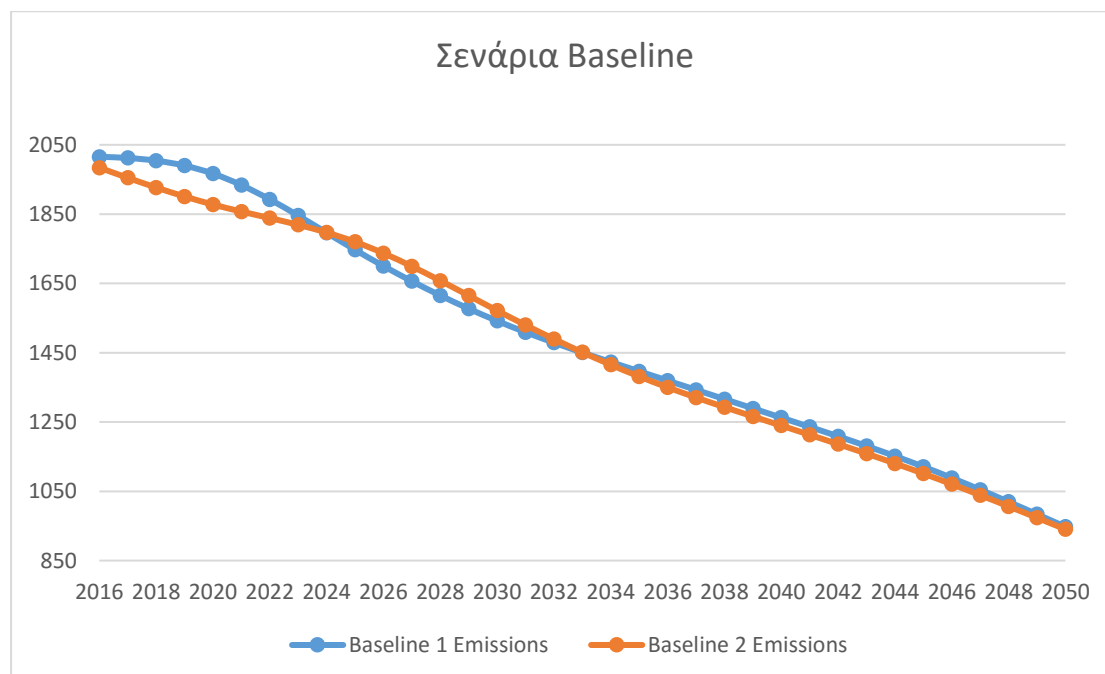


Figure 33 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για τα σενάρια Baseline σε εκατομμύρια CO₂ eq

Οι εκπομπές για τα Σενάρια Decarbonisation και για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation προκύπτουν ως εξής:

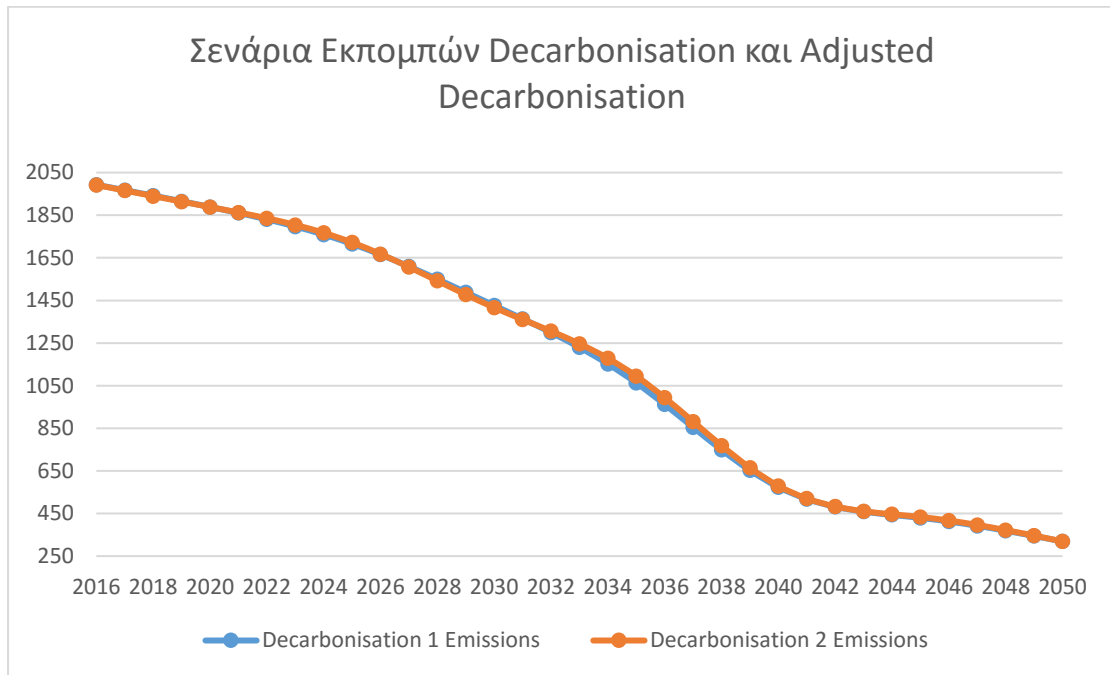


Figure 34 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για τα σενάρια Decarbonisation και Adjusted Decarbonisation σε εκατομμύρια CO2 eq.

5.1.1 Baseline Σενάρια

Τα σενάρια Baseline χαρακτηρίζονται από υψηλό αριθμό αδειών προς δημοπράτηση. Οι εκπομπές και για τα ίδιο σενάρια είναι παρόμοιες, με κύρια διαφορά το μεγαλύτερο αρχικό αριθμό εκπομπών τα πρώτα χρόνια στο 1^ο σενάριο σε σχέση με το 2^ο γεγονός το οποίο αντιστρέφεται μετά το 2024 και ξανά το 2033.

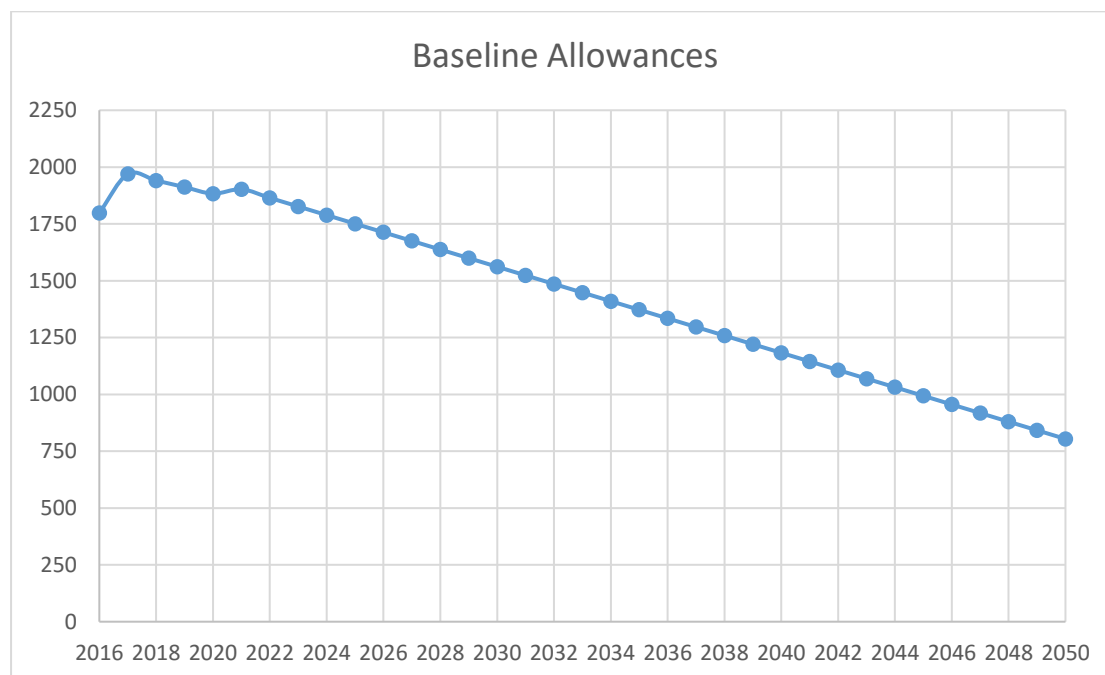


Figure 35 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

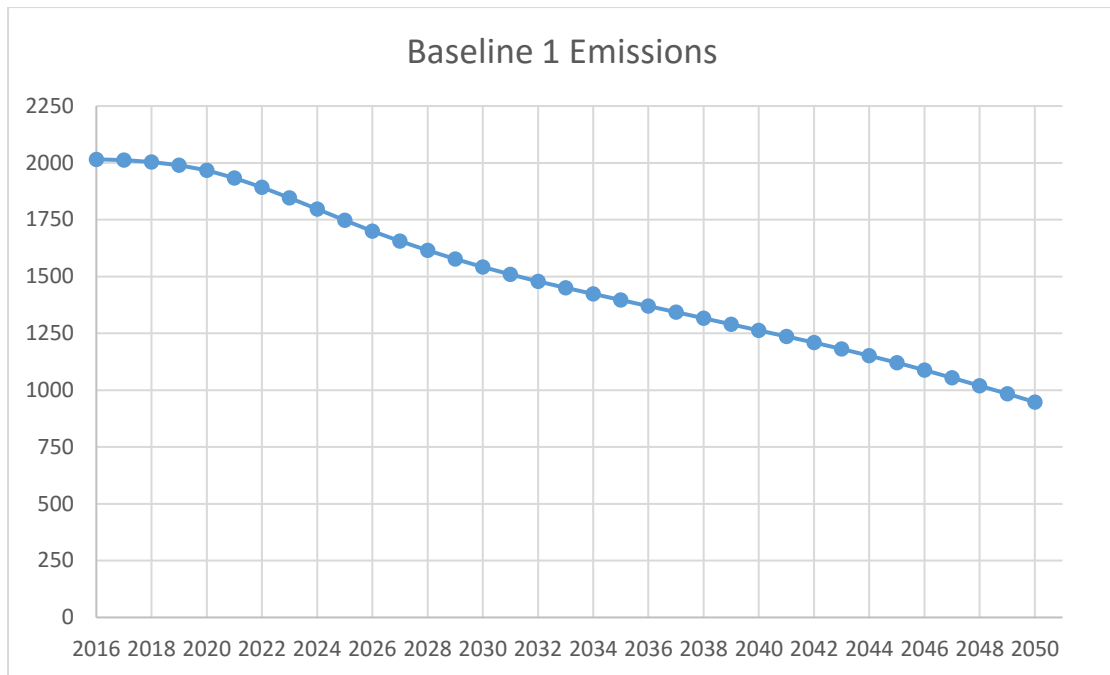


Figure 36 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1^ο σενάριο Baseline σε εκατομμύρια CO2 eq

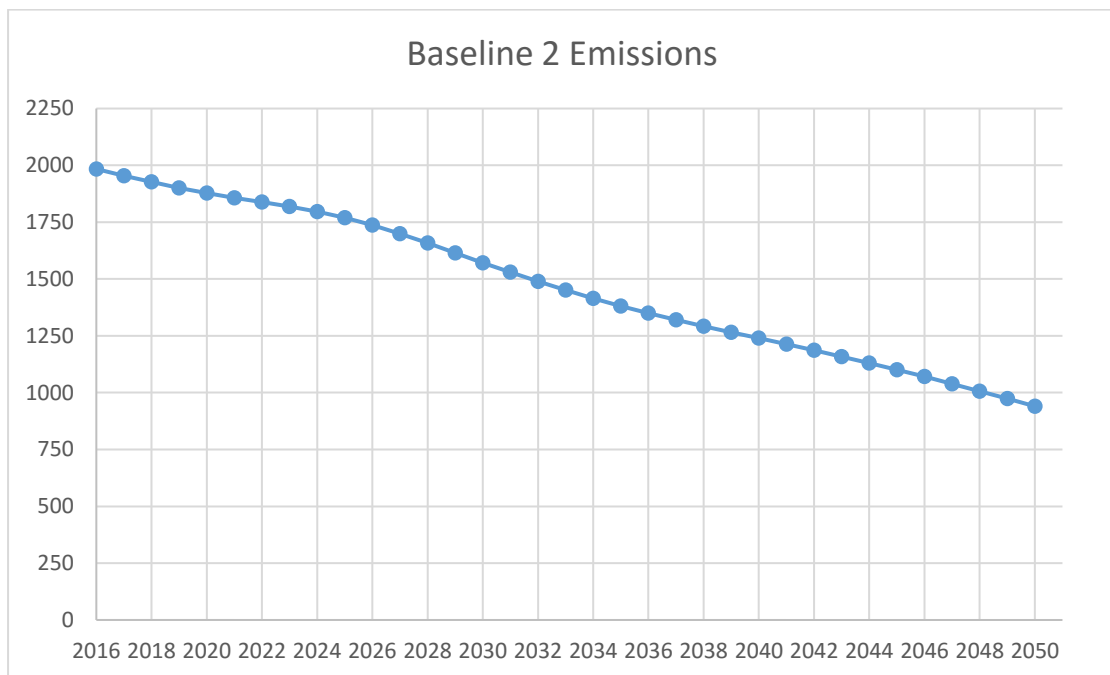


Figure 37 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2^ο σενάριο Baseline σε εκατομμύρια CO2 eq

5.1.1.1 Πρώτο Baseline Σενάριο

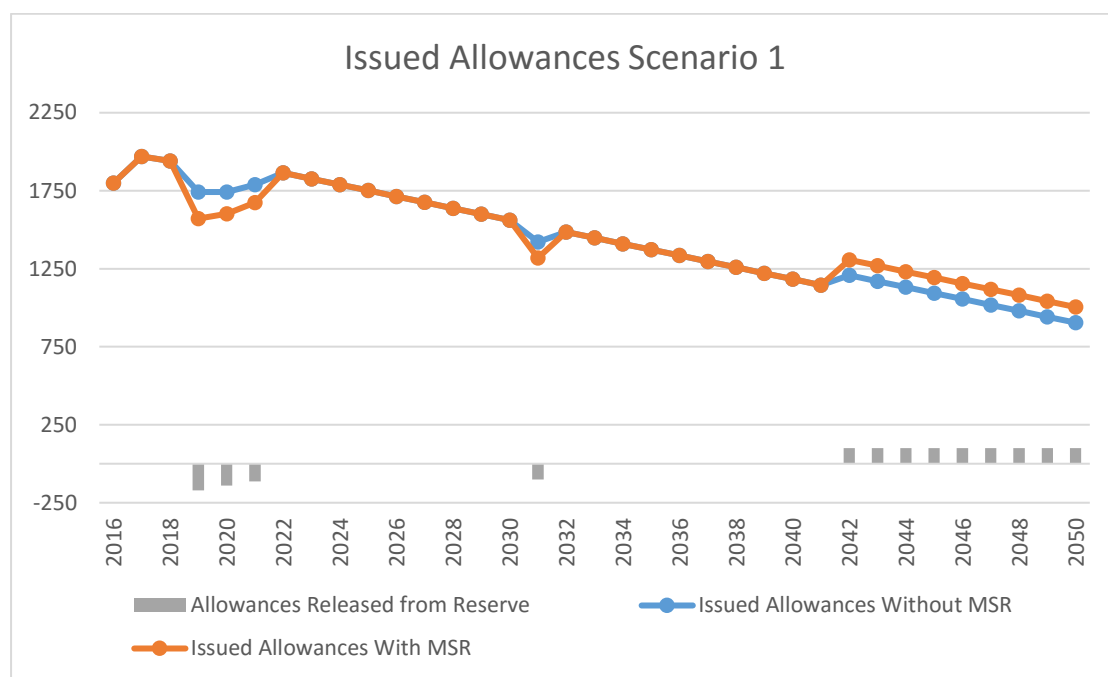


Figure 38 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα).

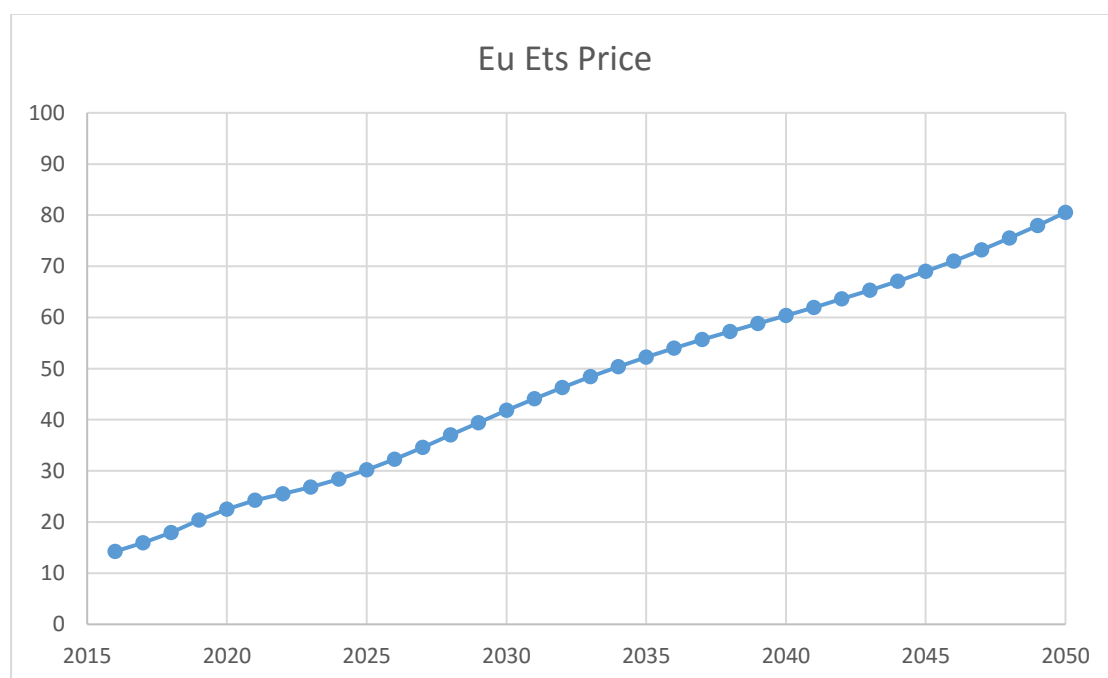


Figure 39 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

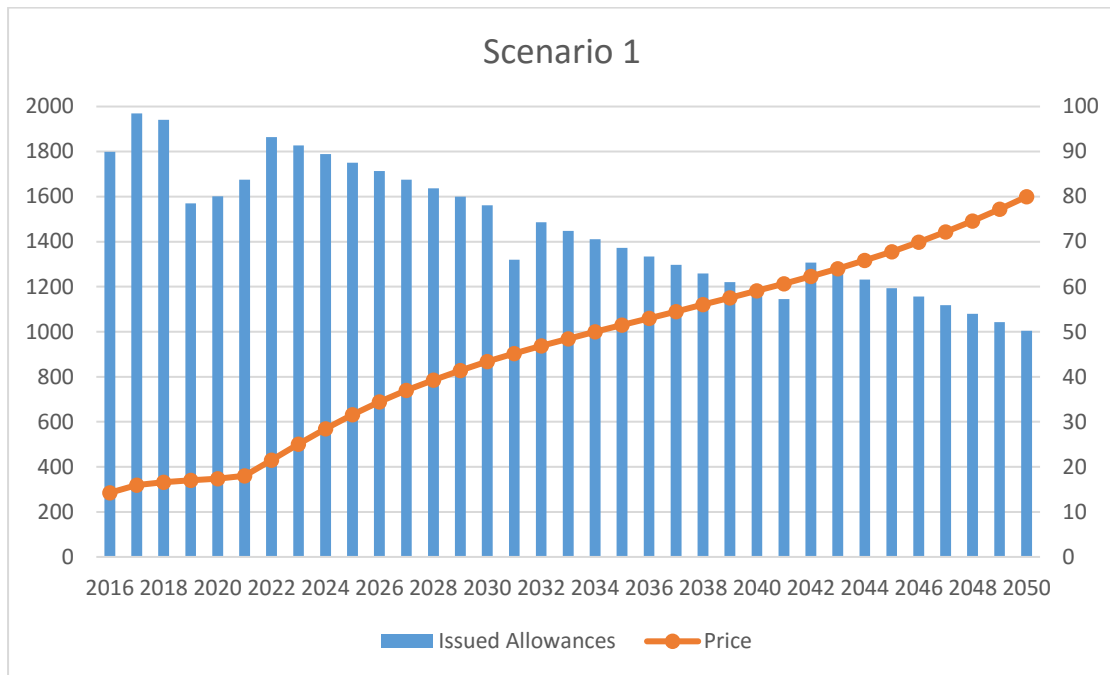


Figure 40 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

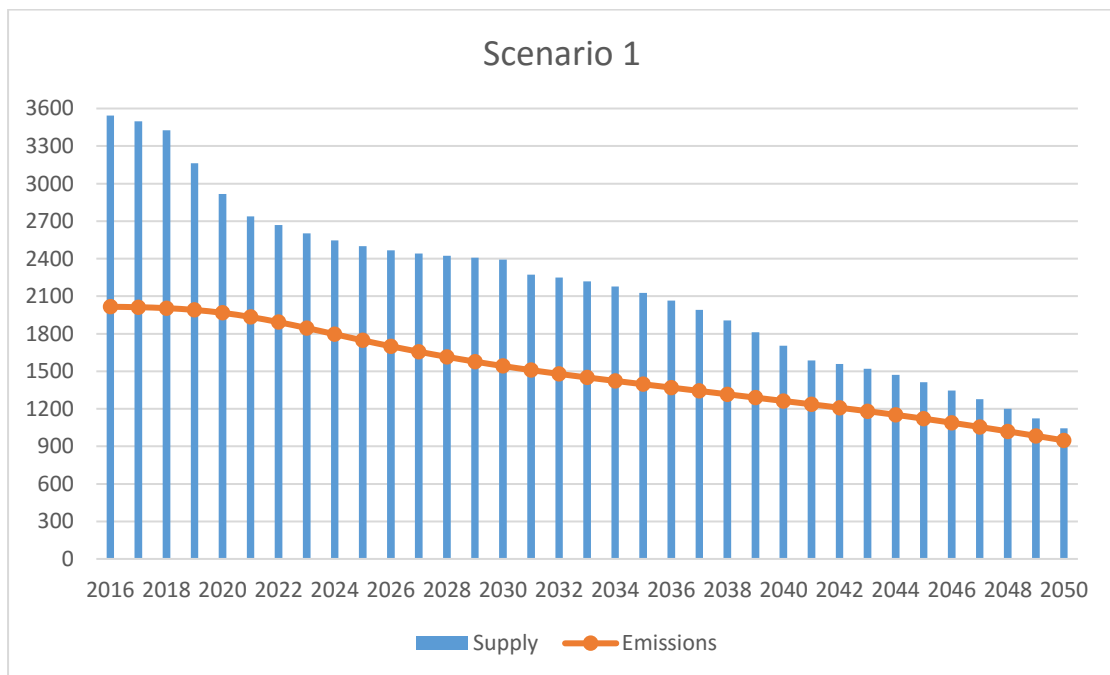


Figure 41 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια CO_2eq

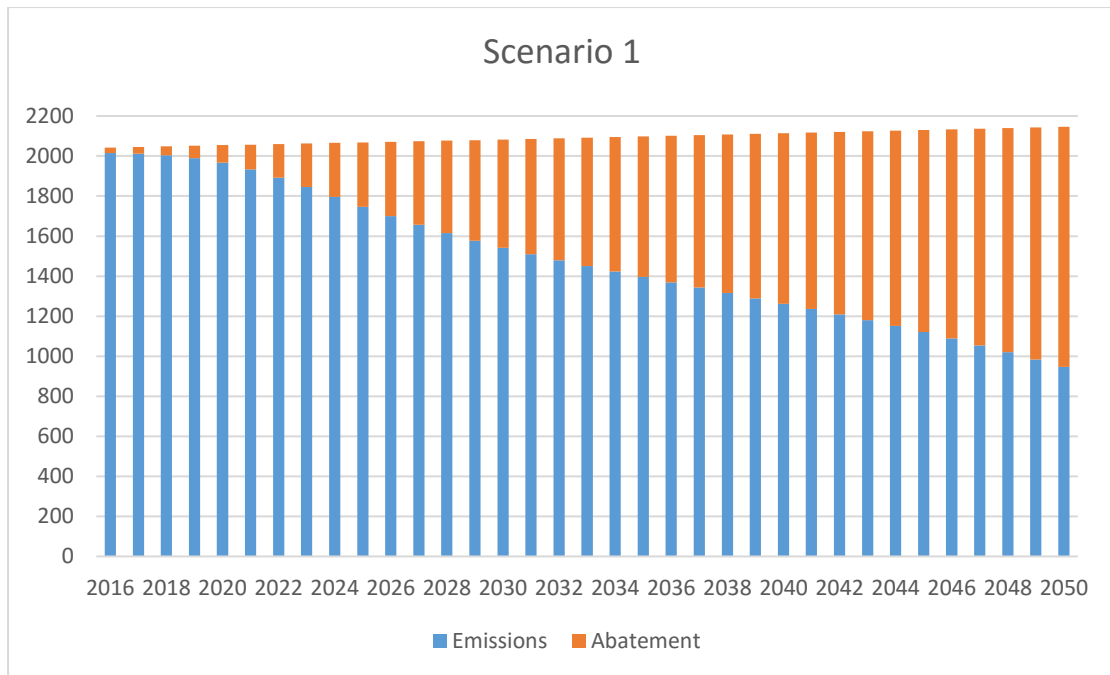


Figure 42 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

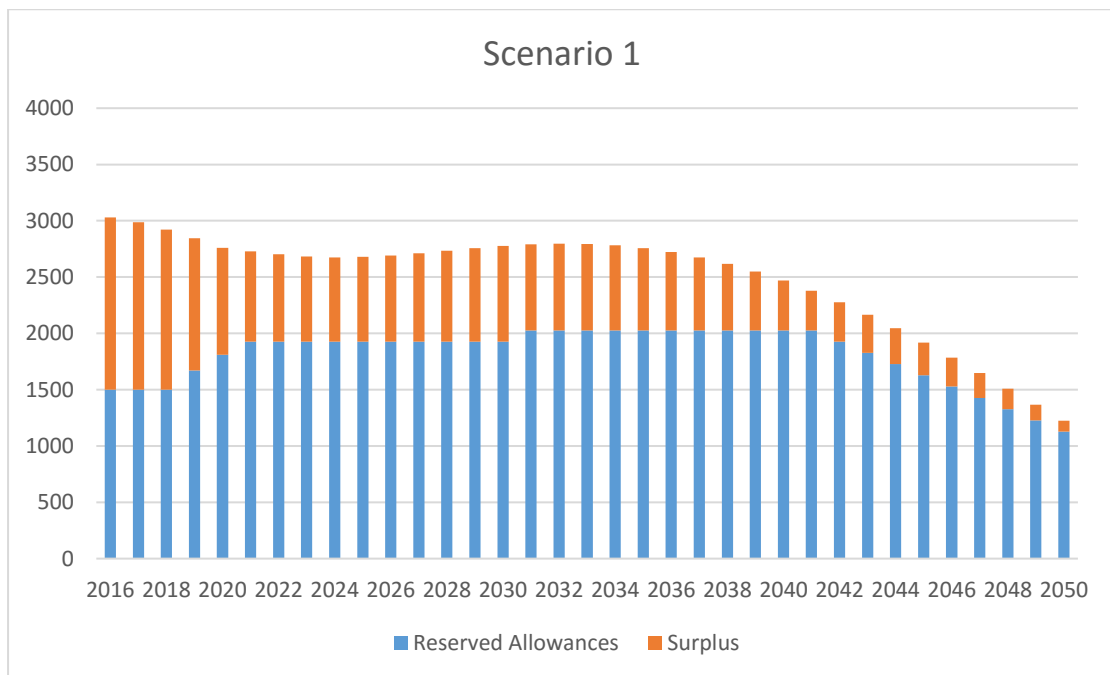


Figure 43 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια.

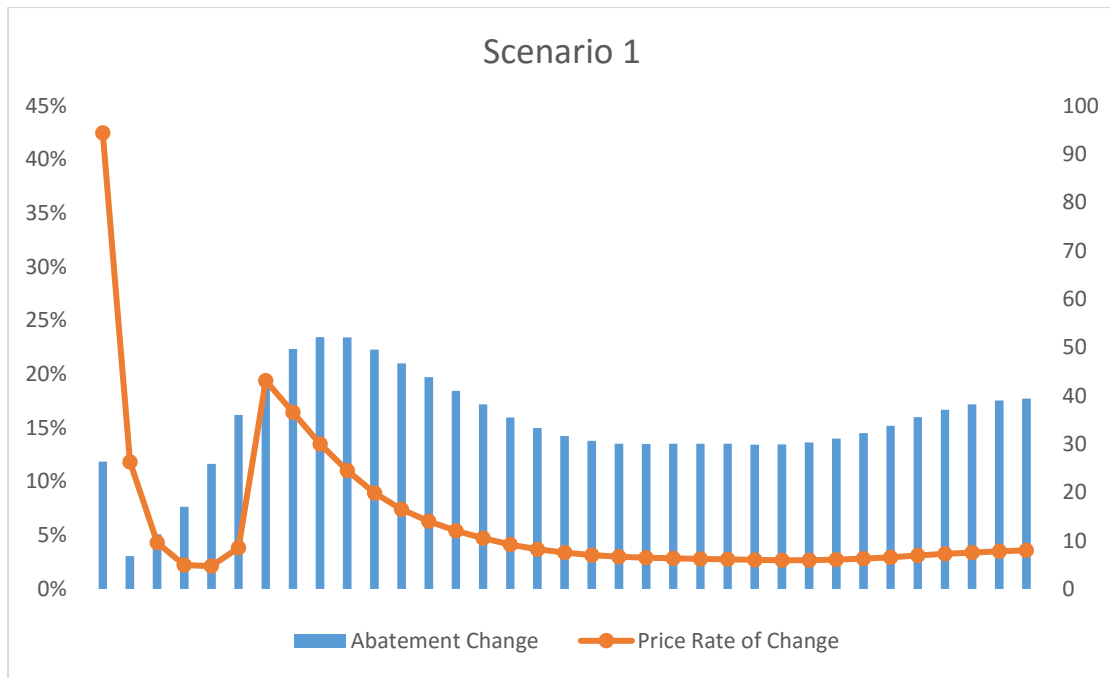


Figure 44 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια $tn\ CO_2\ eq$. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

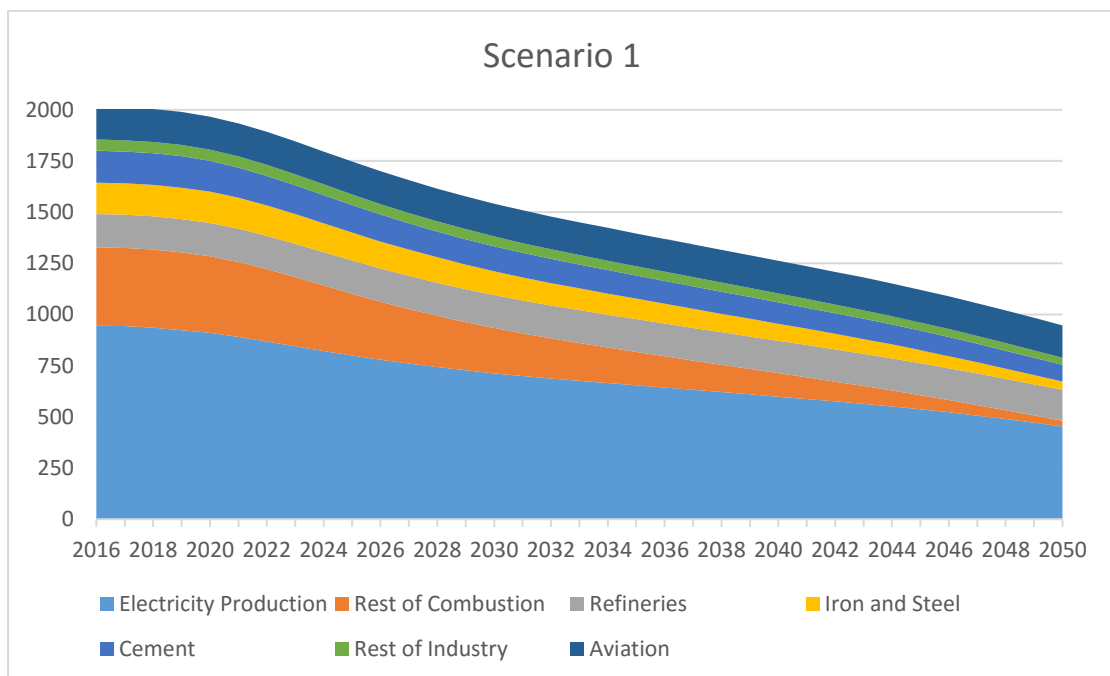


Figure 45 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε $tn\ CO_2\ eq$

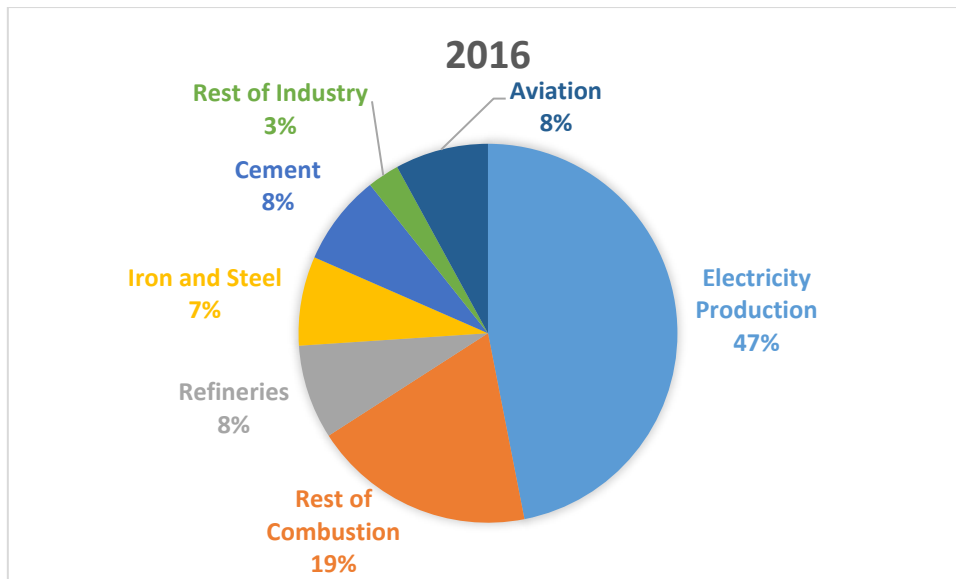


Figure 46 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2016. Οι εκπομπές αυτές είναι κοινές για όλα τα σενάρια και θα παραλείπονται από αυτό το σημείο και έπειτα.

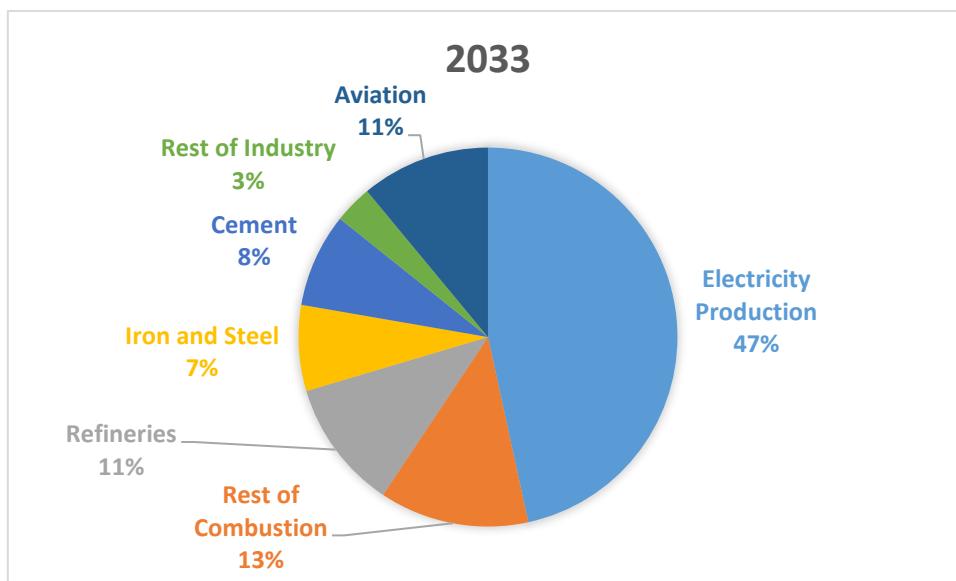


Figure 47 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

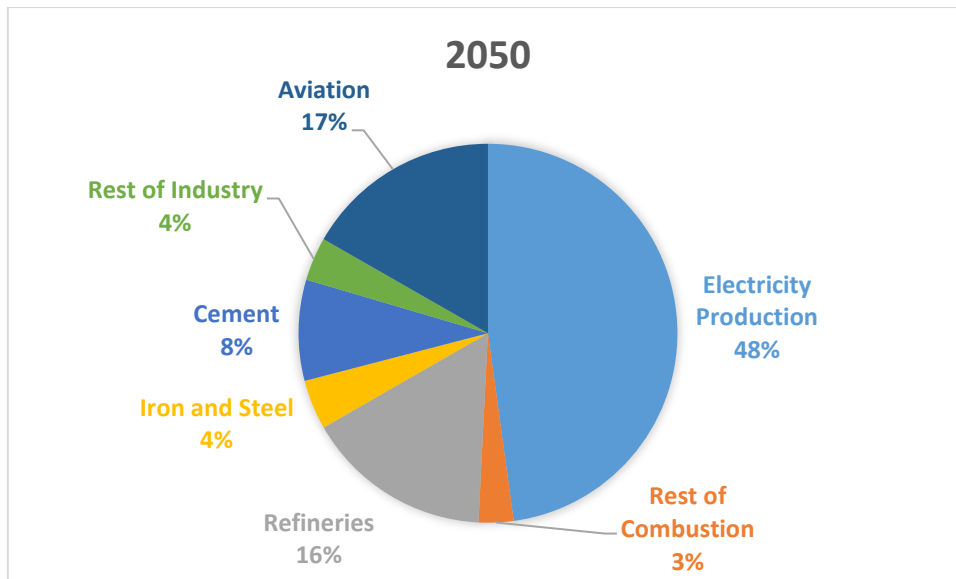


Figure 48 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.1.1.2 Δεύτερο Baseline Σενάριο

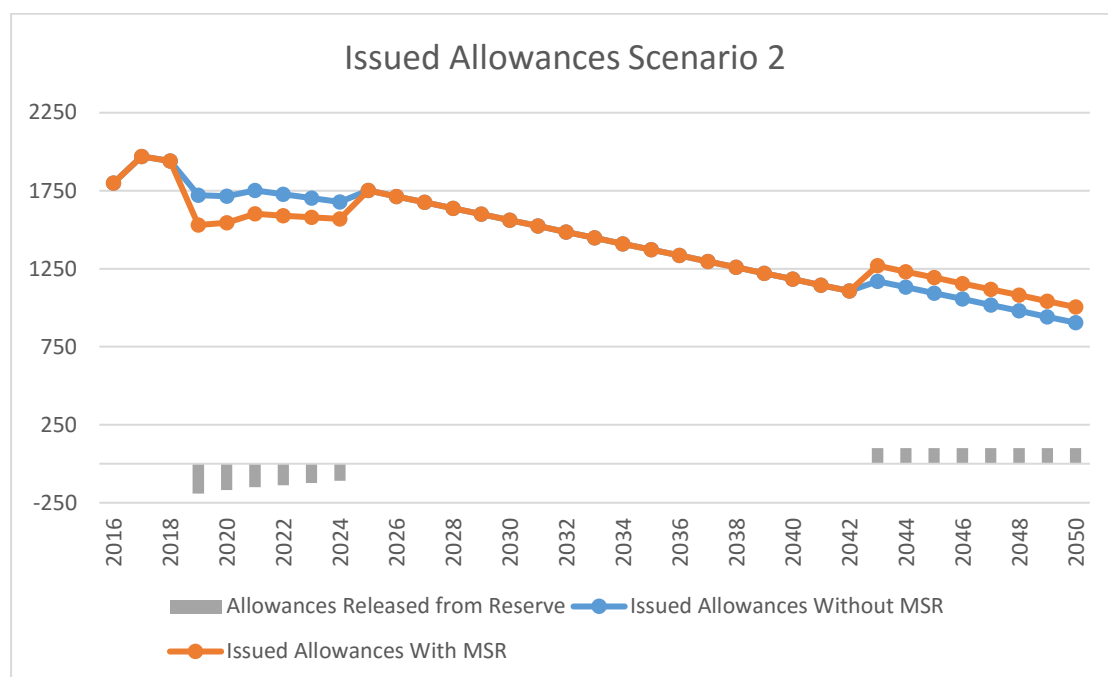


Figure 49 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα).

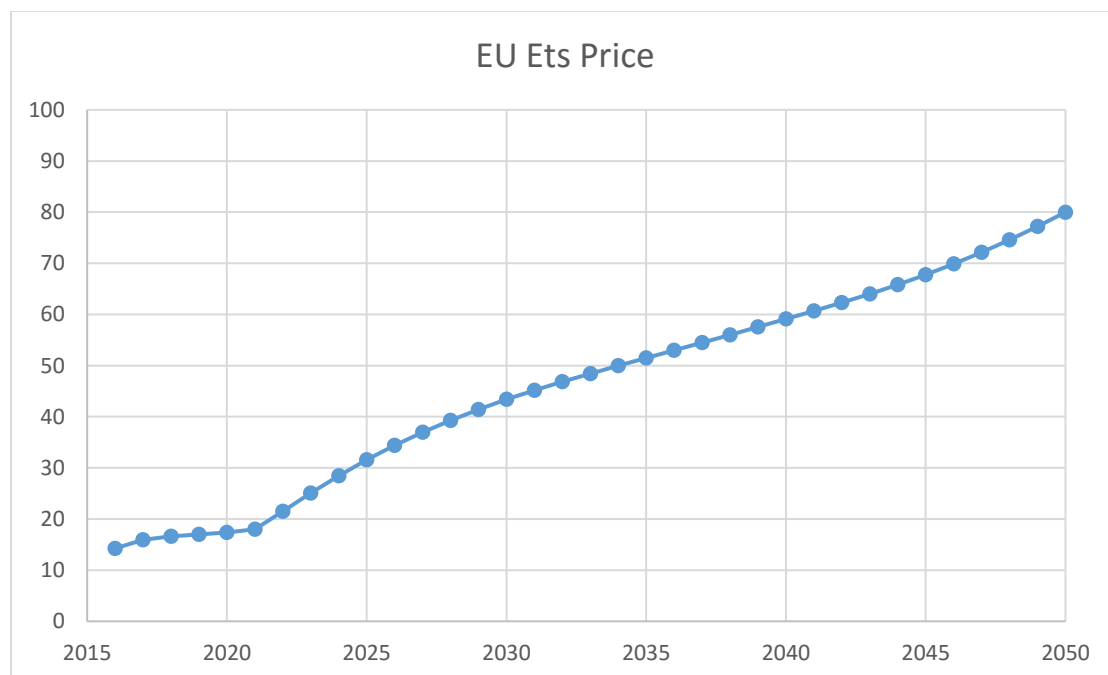


Figure 50 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

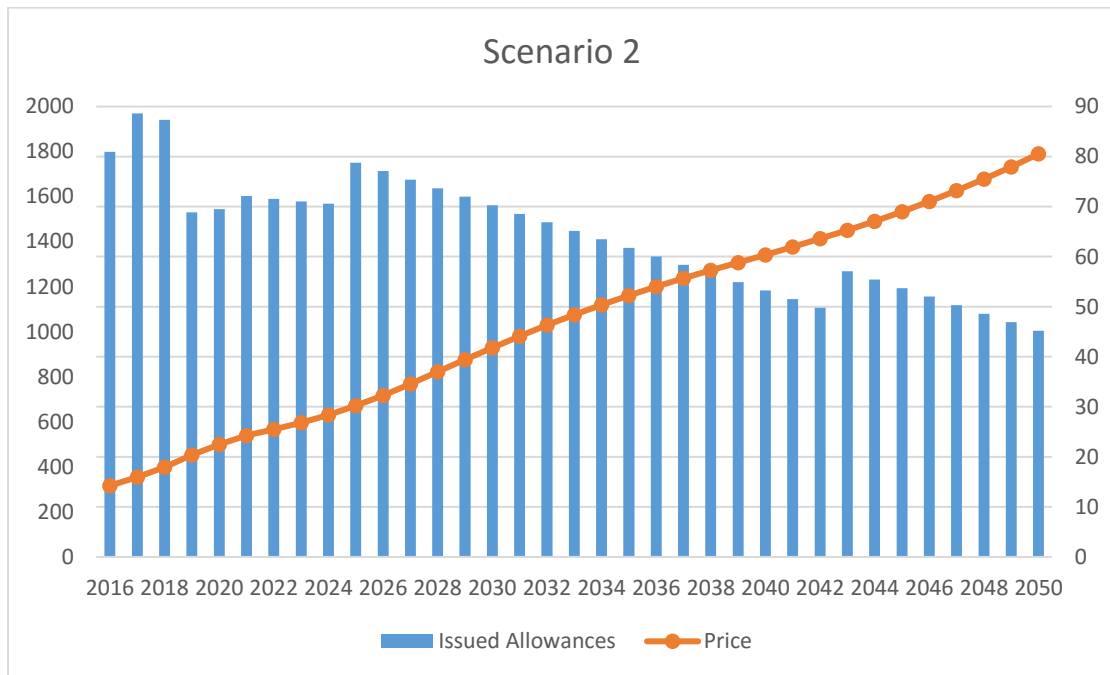


Figure 51 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

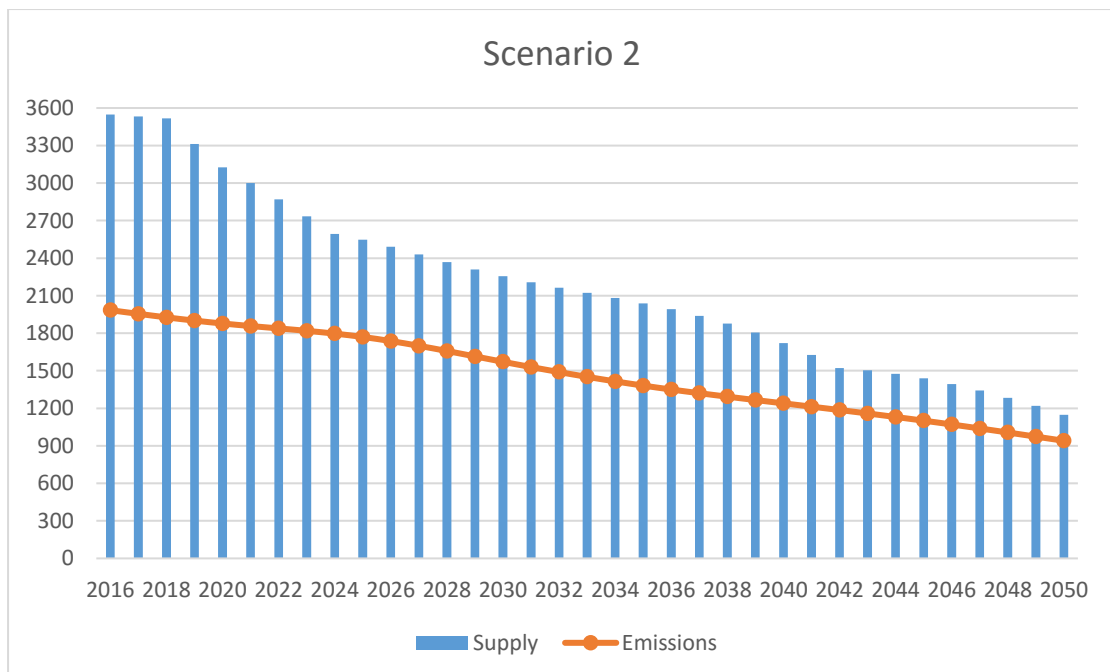


Figure 52 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια $CO_2 eq$

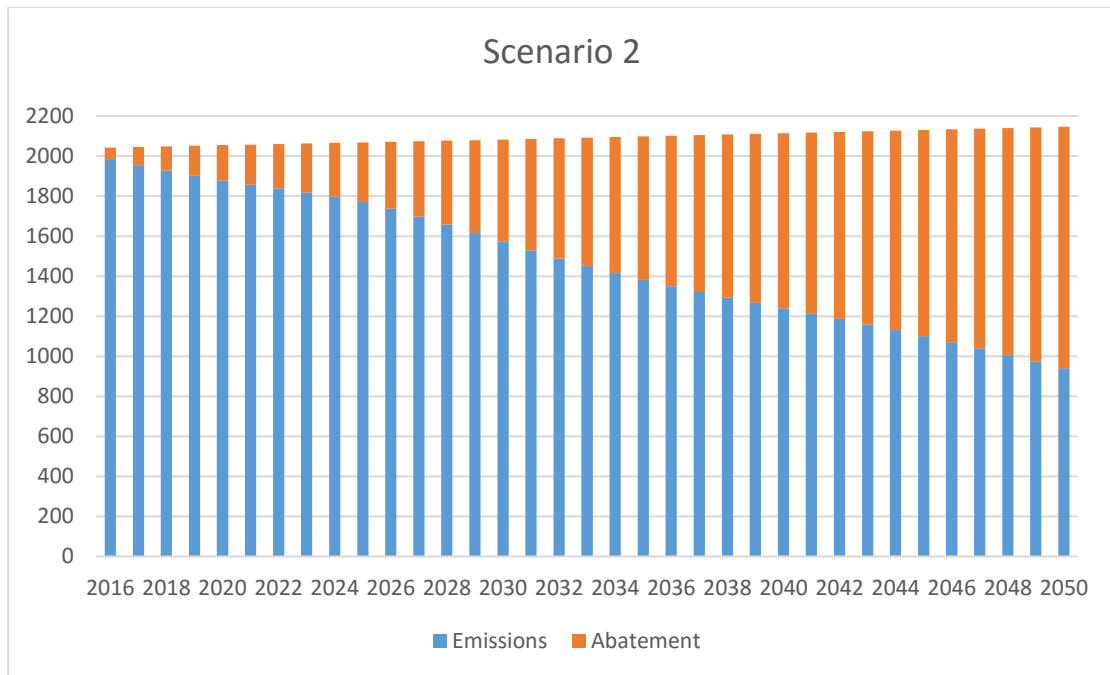


Figure 53 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

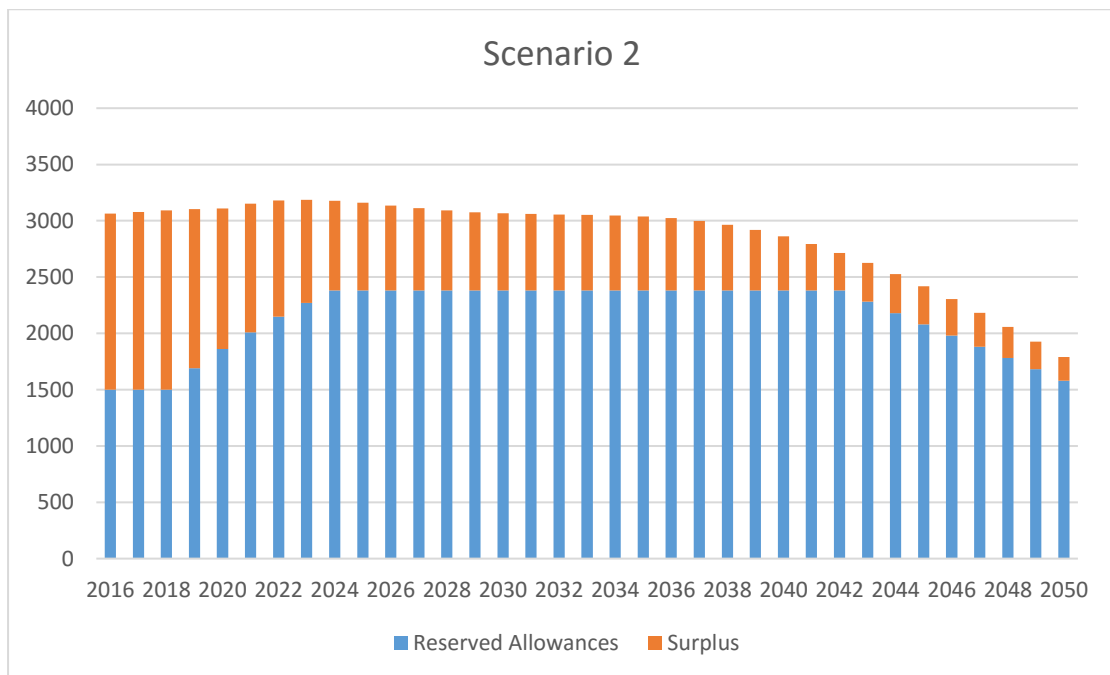


Figure 54 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια

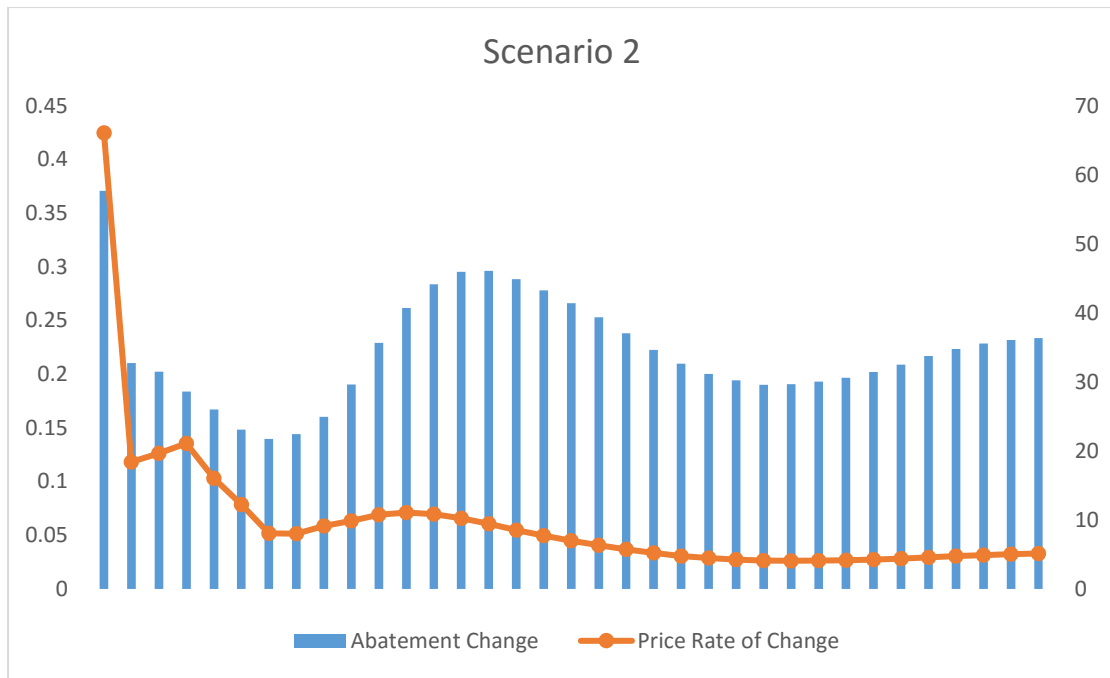


Figure 55 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια $tn CO_2 eq$. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

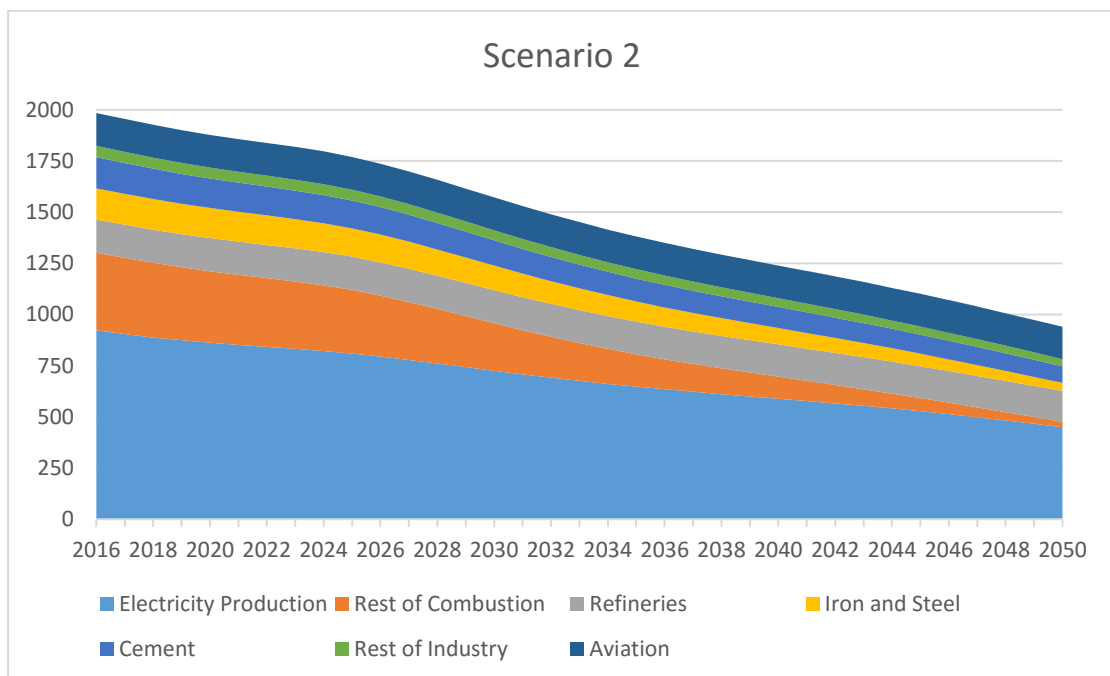


Figure 56 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε $tn CO_2 eq$

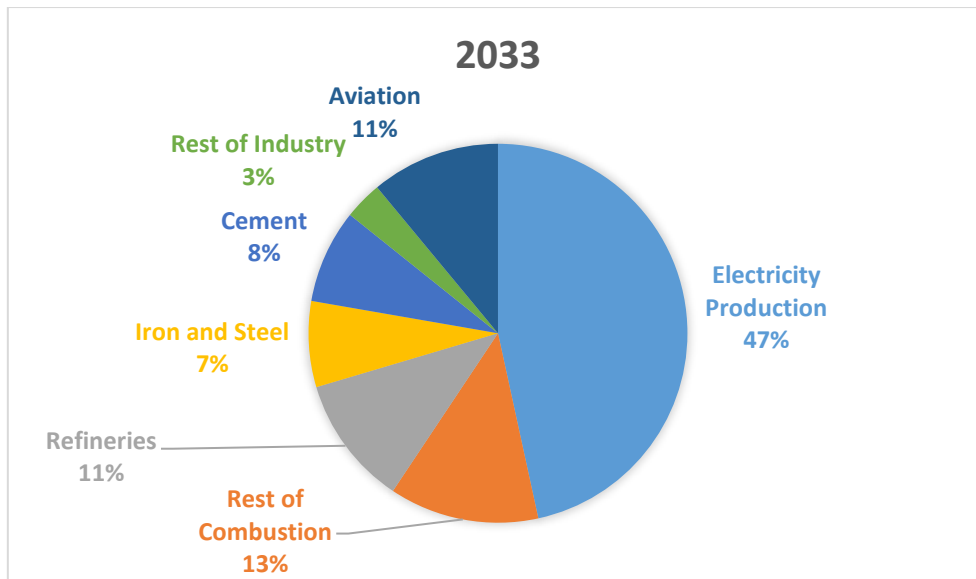


Figure 57 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

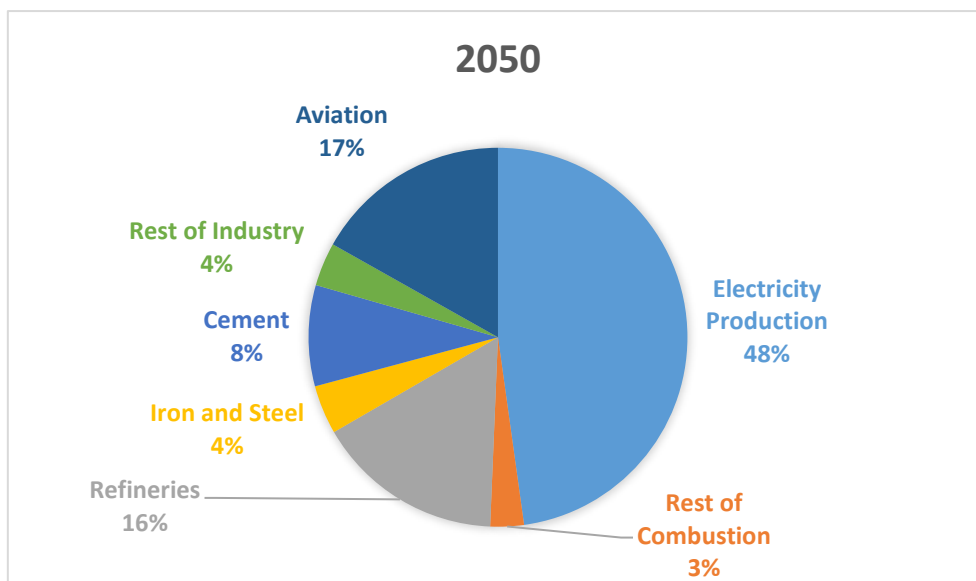


Figure 58 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.1.2 Decarbonisation Σενάρια

Τα σενάρια Decarbonisation χαρακτηρίζονται από χαμηλό αριθμό αδειών προς δημοπράτηση. Κύριος στόχος των σεναρίων αυτών είναι η απαλλαγή από εκπομπές ή ισοδύναμα άνθρακα. Είναι γεγονός ότι ο αριθμός αδειών που δημοπρατείται στο σενάριο αυτό, χωρίς να ληφθεί υπόψιν το MSR, μειώνεται κατά 86% σε σχέση με τις αρχικές. Οι εκπομπές και για τα ίδια σενάρια είναι παρόμοιες ενώ η μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται στο τέλος των σεναρίων ακολουθεί τη μείωση των αδειών που δημοπρατούνται και είναι της τάξης του 84%.

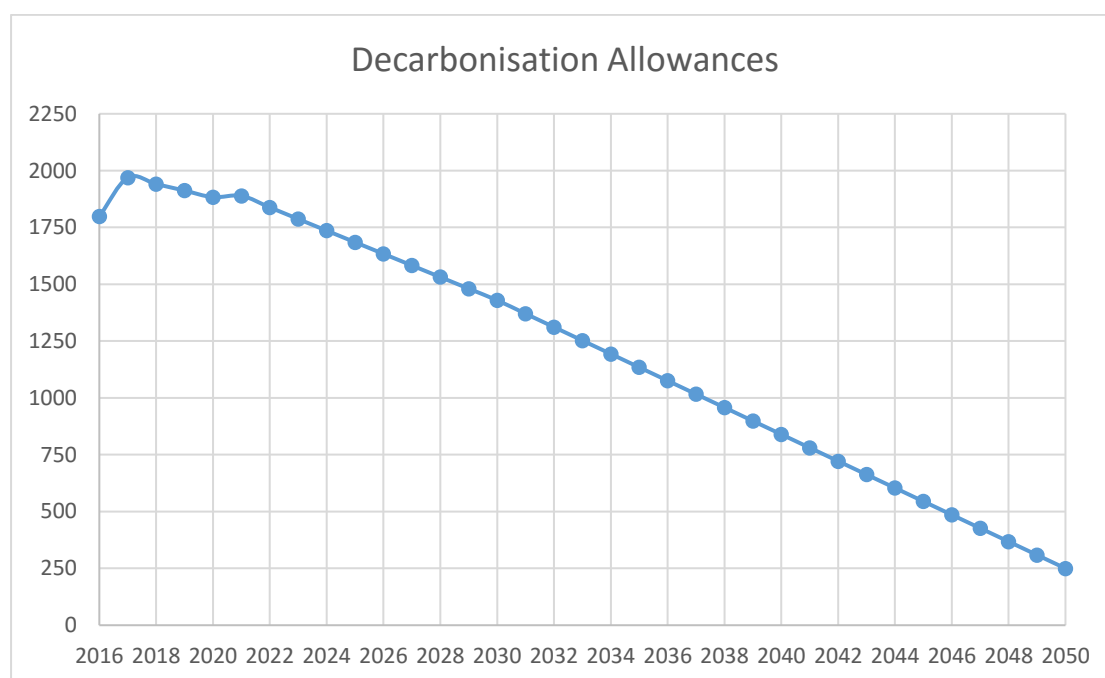


Figure 59 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

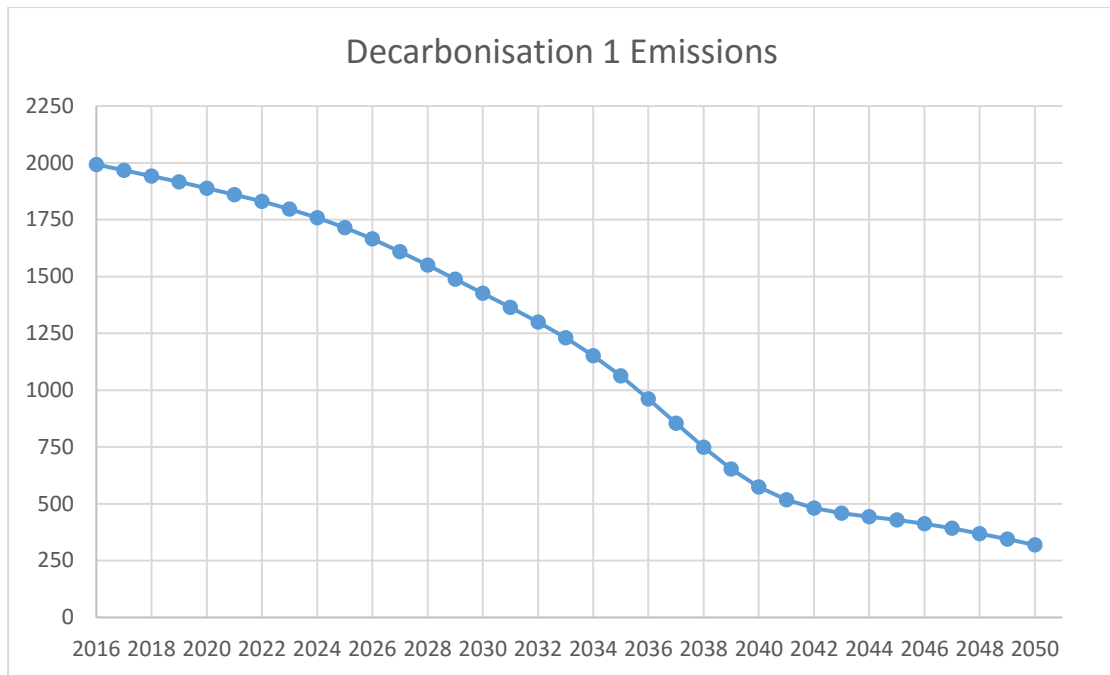


Figure 60 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1^ο σενάριο Decarbonisation σε εκατομμύρια CO₂ eq.

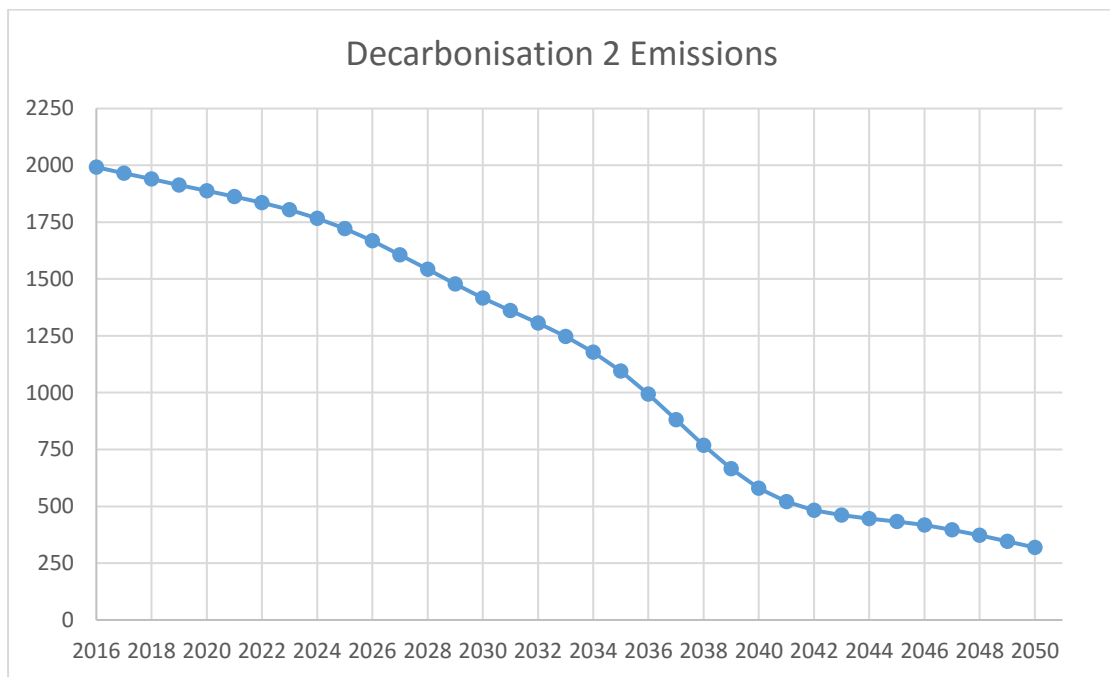


Figure 61 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2ο σενάριο Decarbonisation σε εκατομμύρια CO₂ eq.

5.1.2.1 Πρώτο Decarbonisation Σενάριο

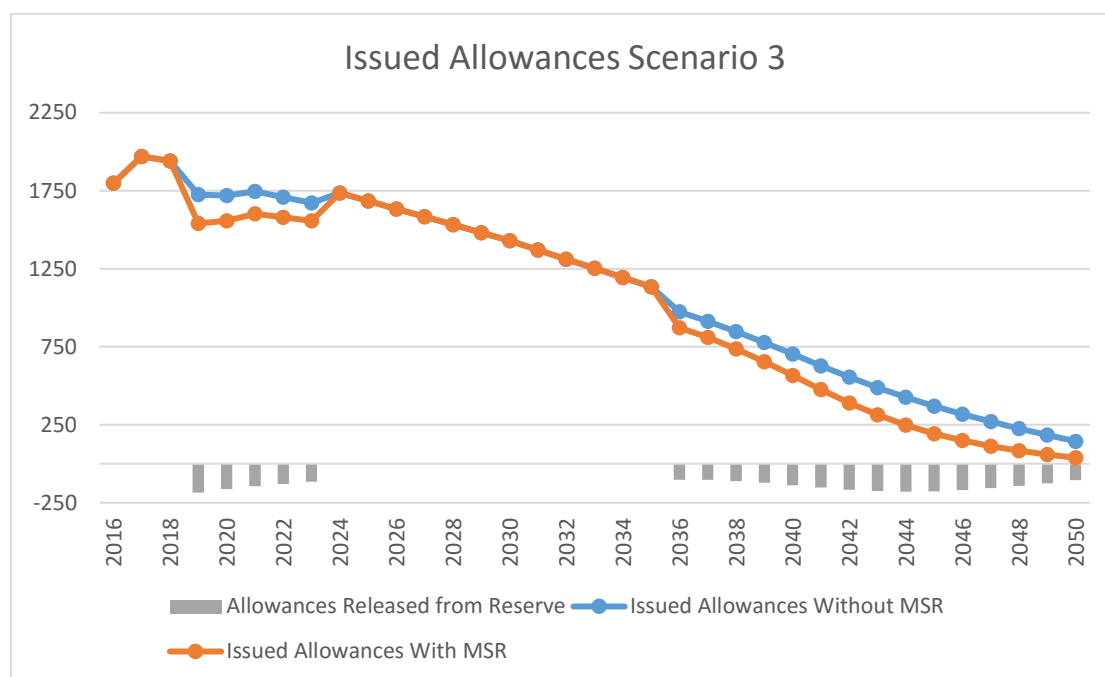


Figure 62 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα)

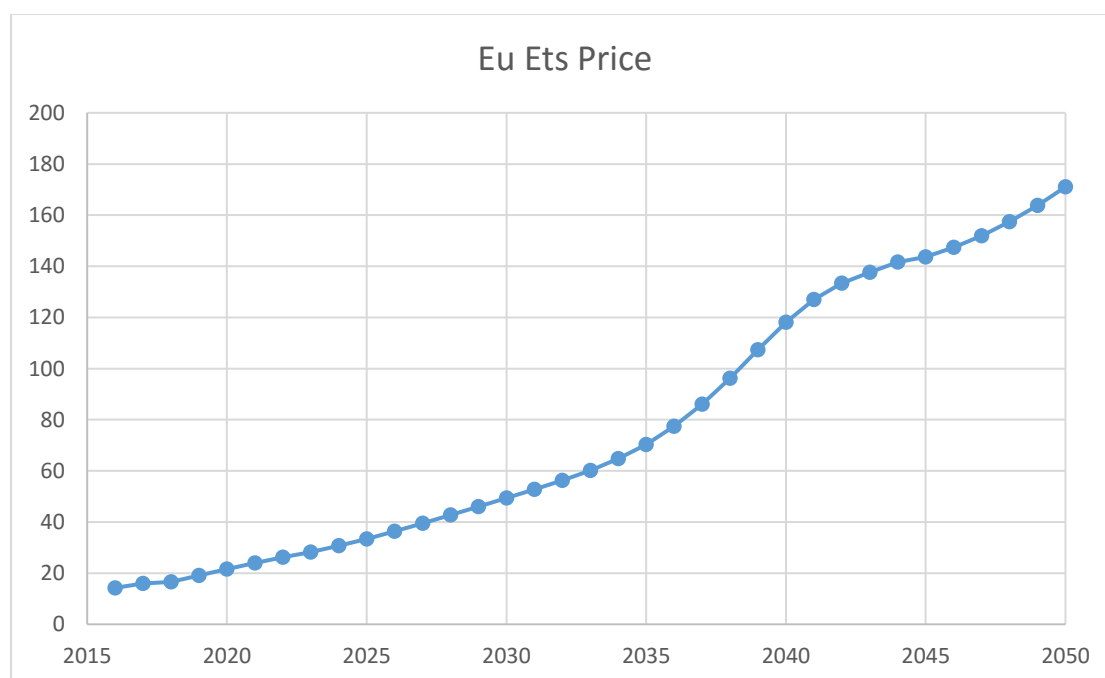


Figure 63 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

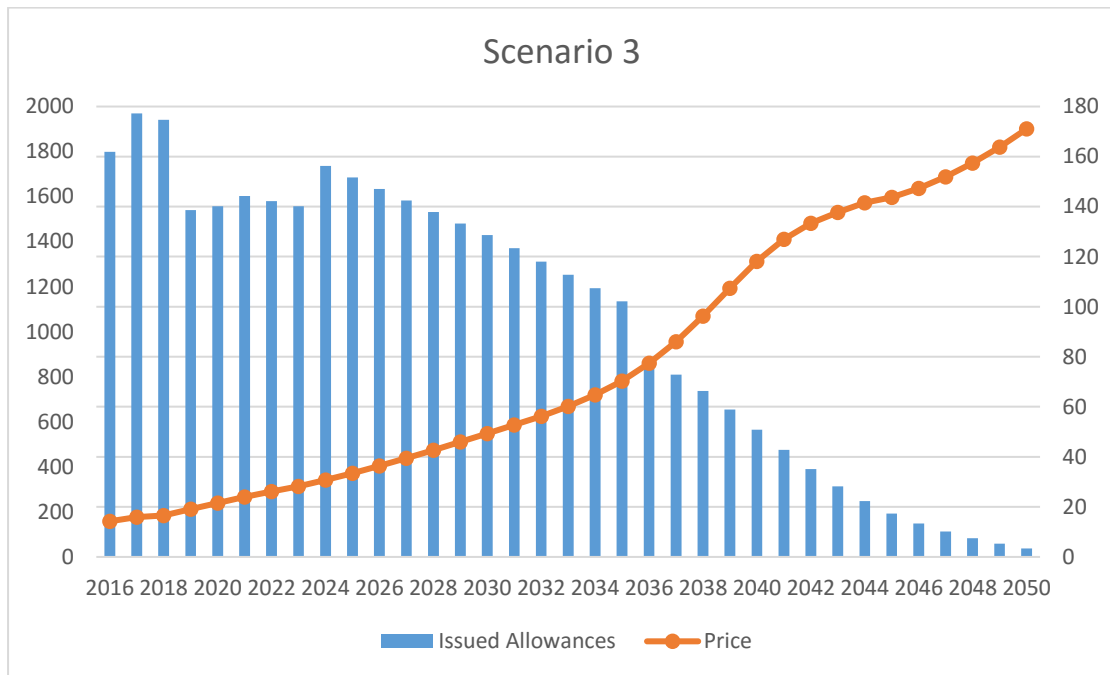


Figure 64 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

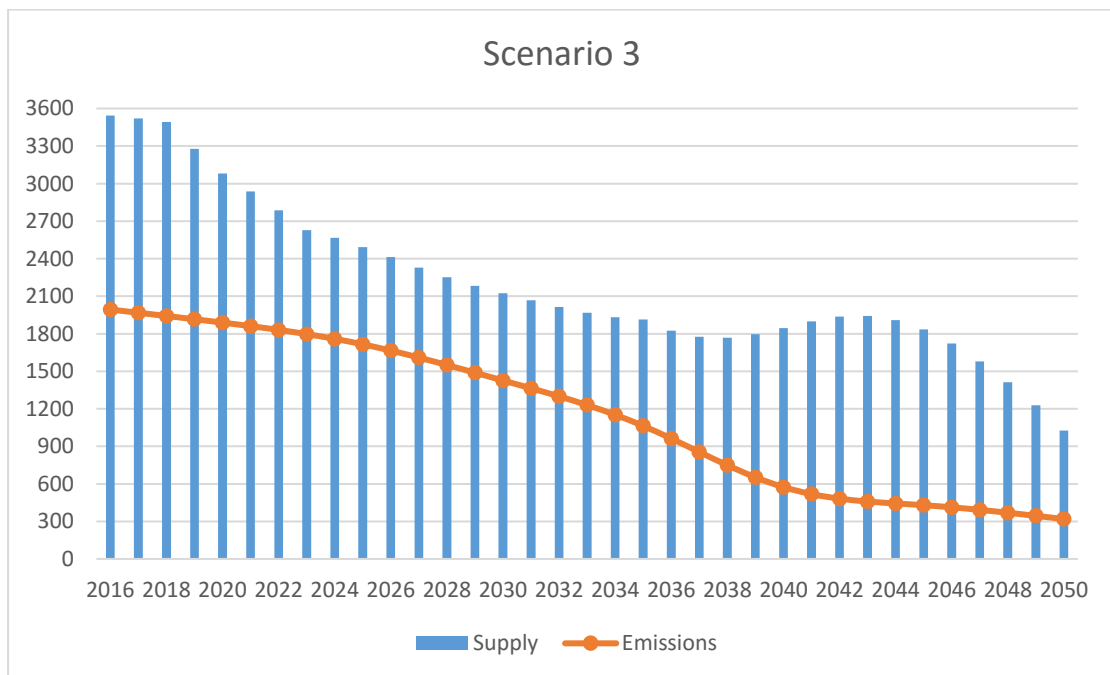


Figure 65 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια τη CO2eq

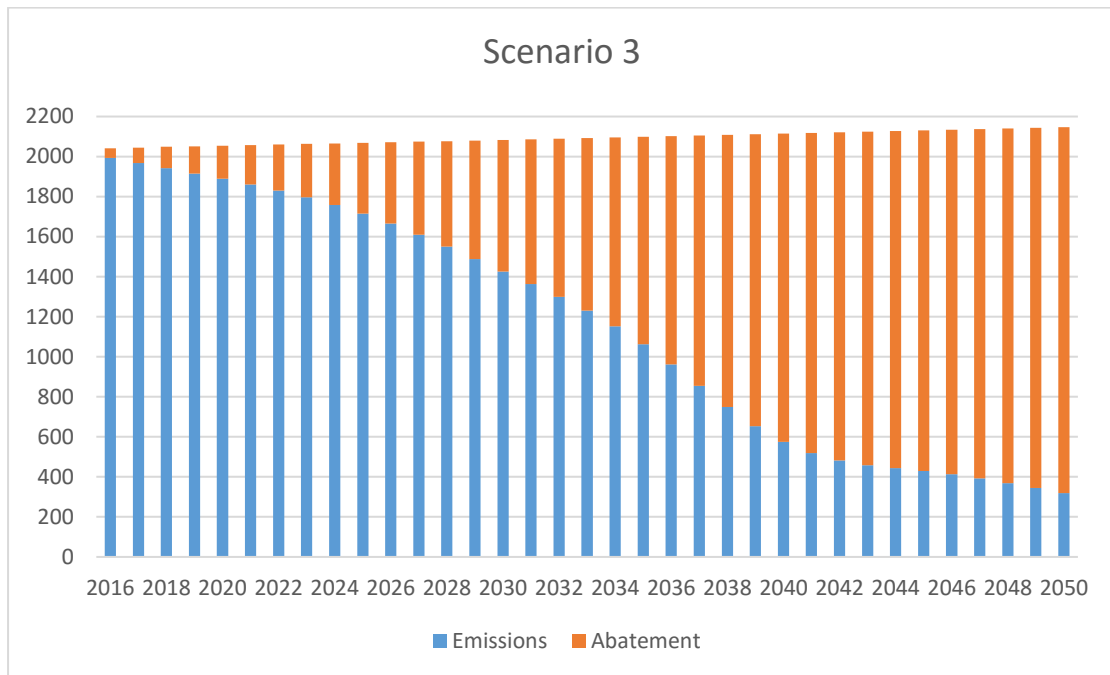


Figure 66 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

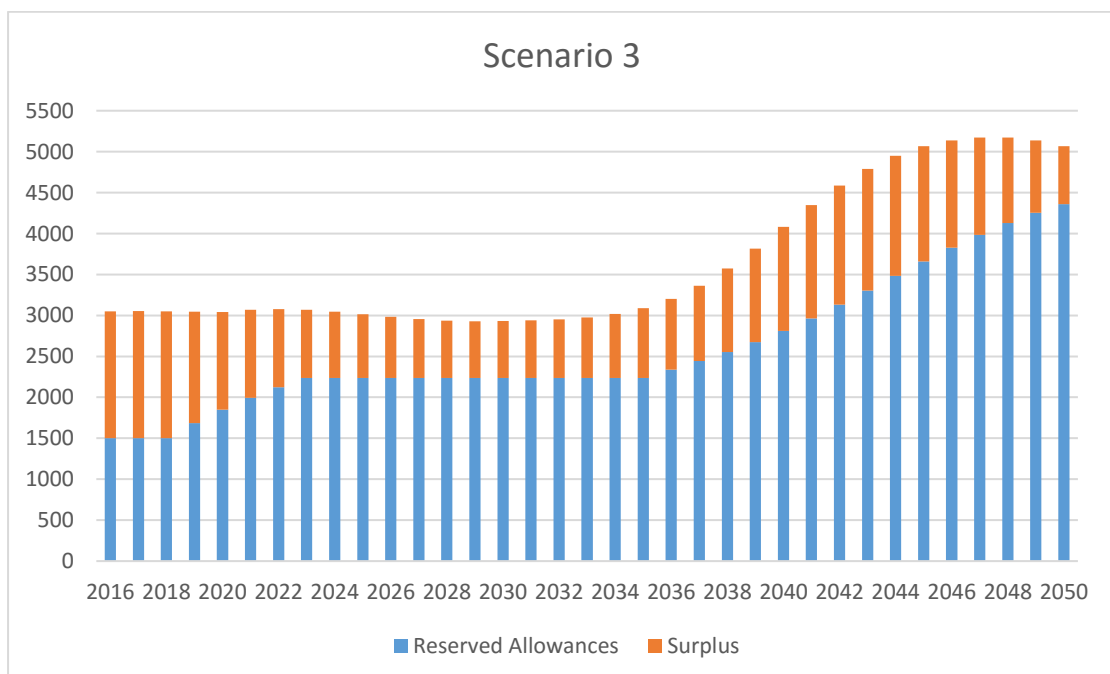


Figure 67 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια

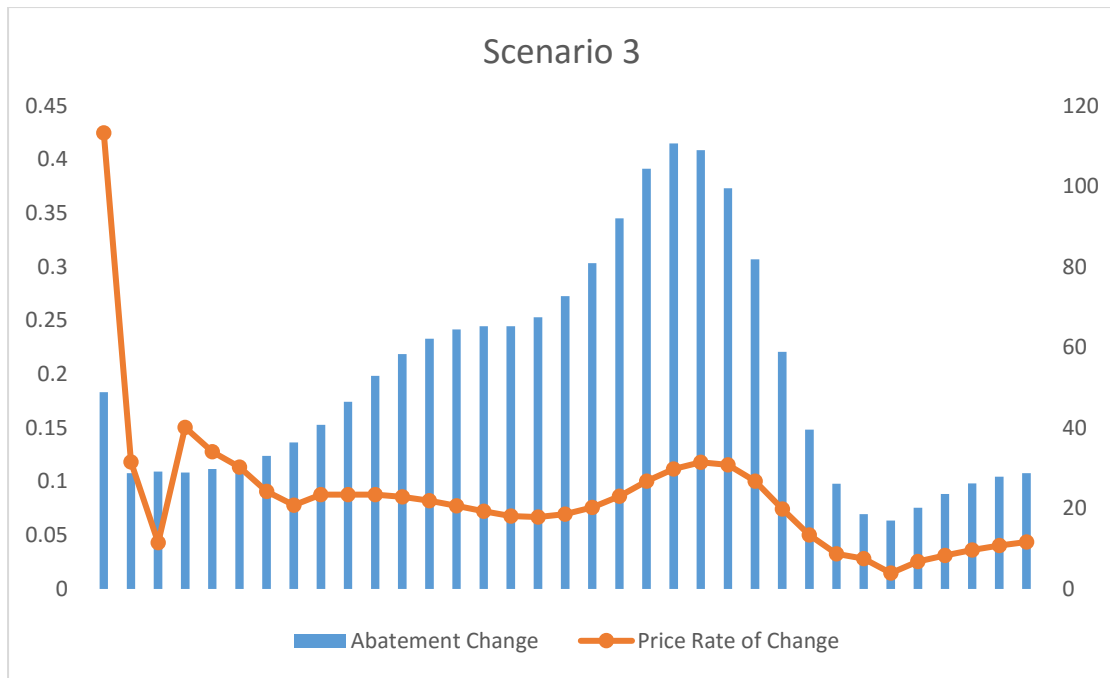


Figure 68 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

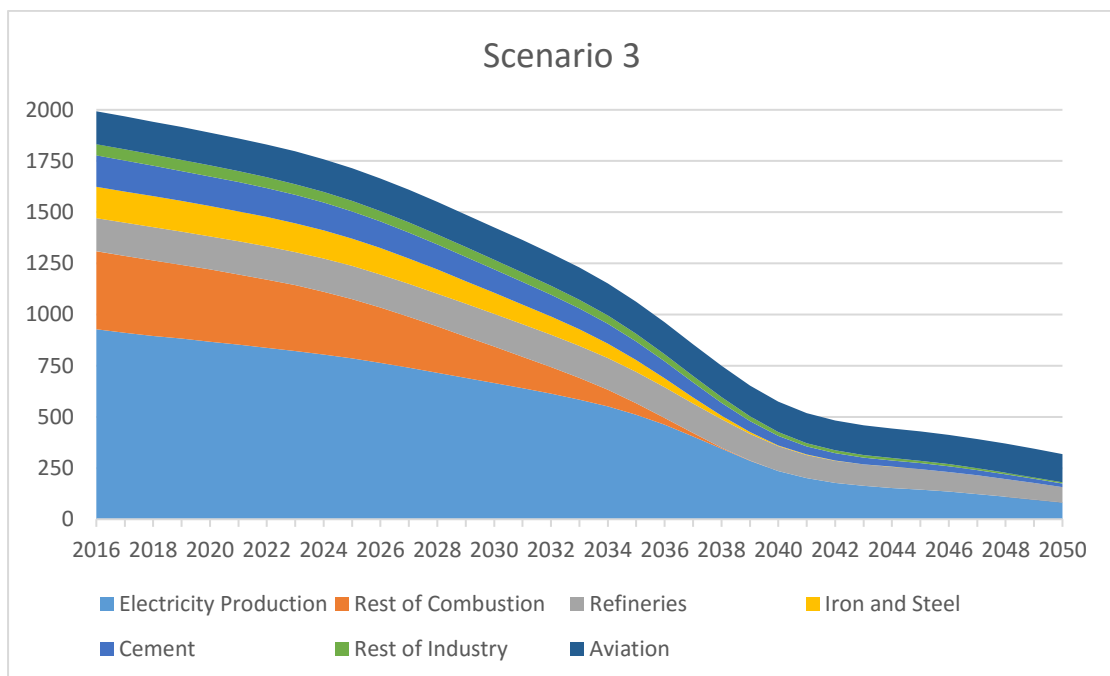


Figure 69 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO₂ eq

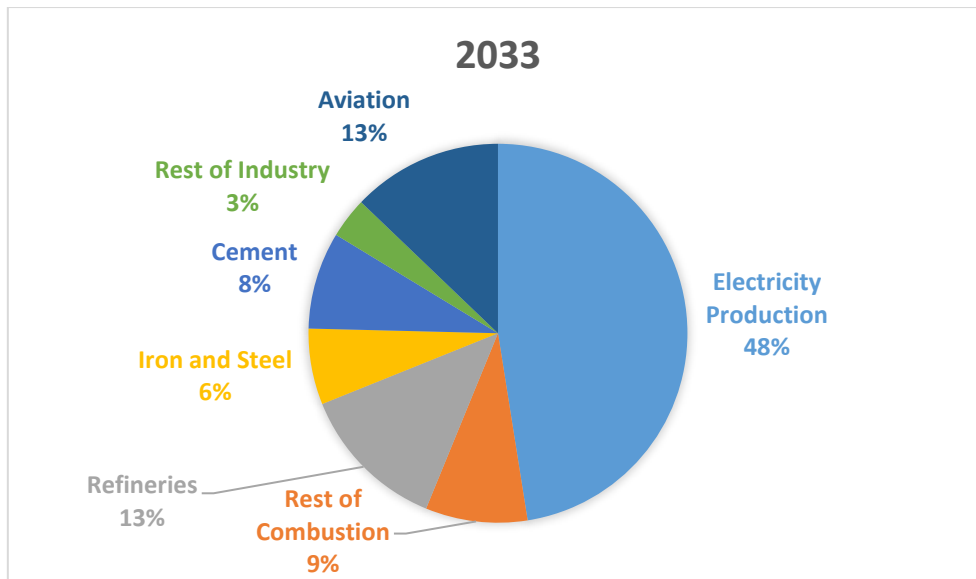


Figure 70 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

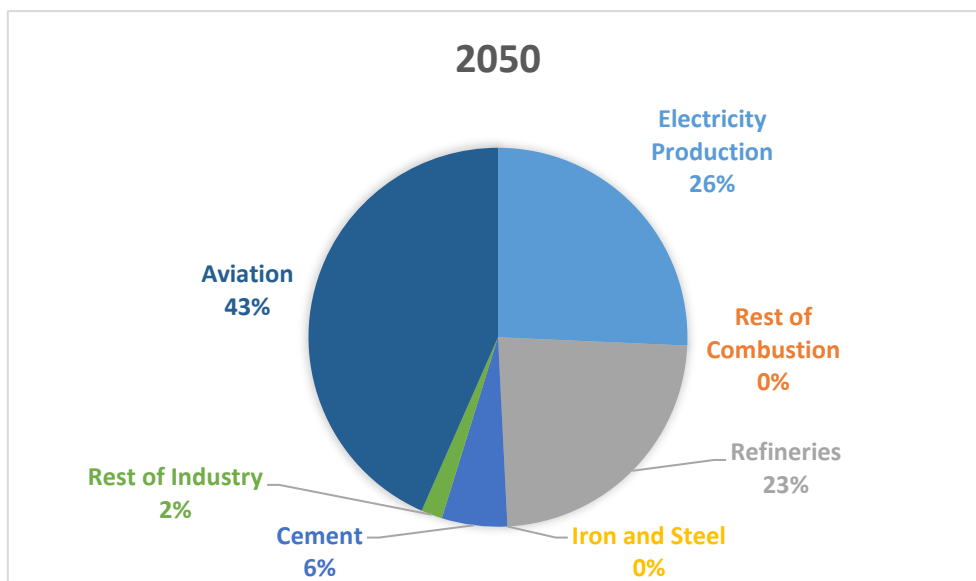


Figure 71 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

1.1.2.1. Δεύτερο Decarbonisation Σενάριο

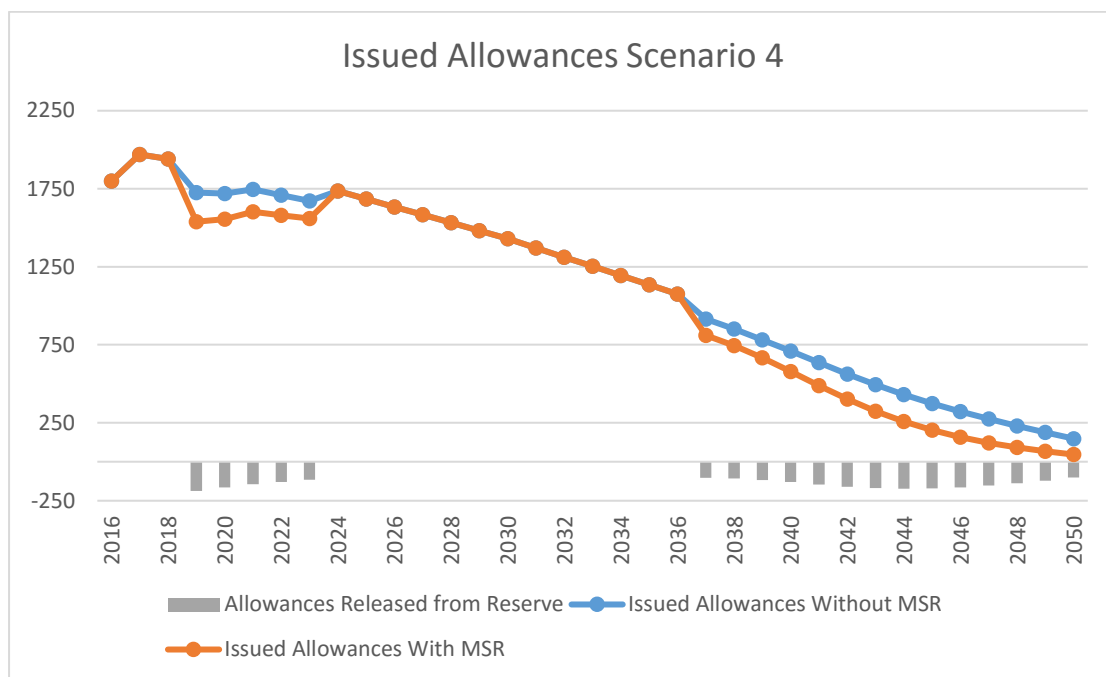


Figure 72 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα)

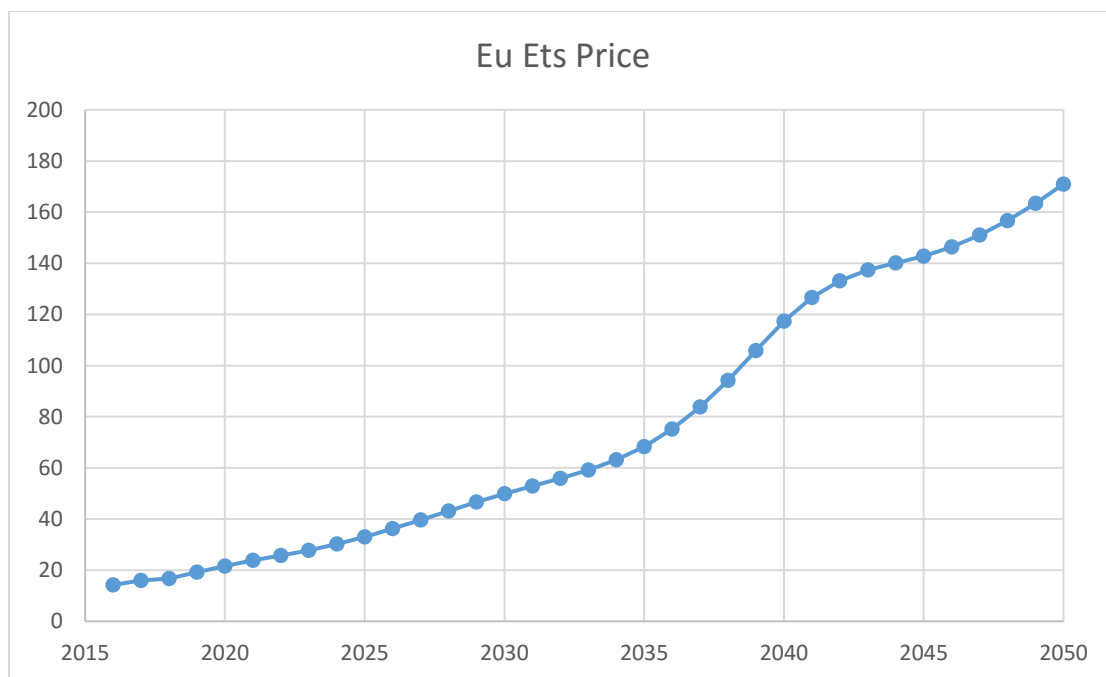


Figure 73 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

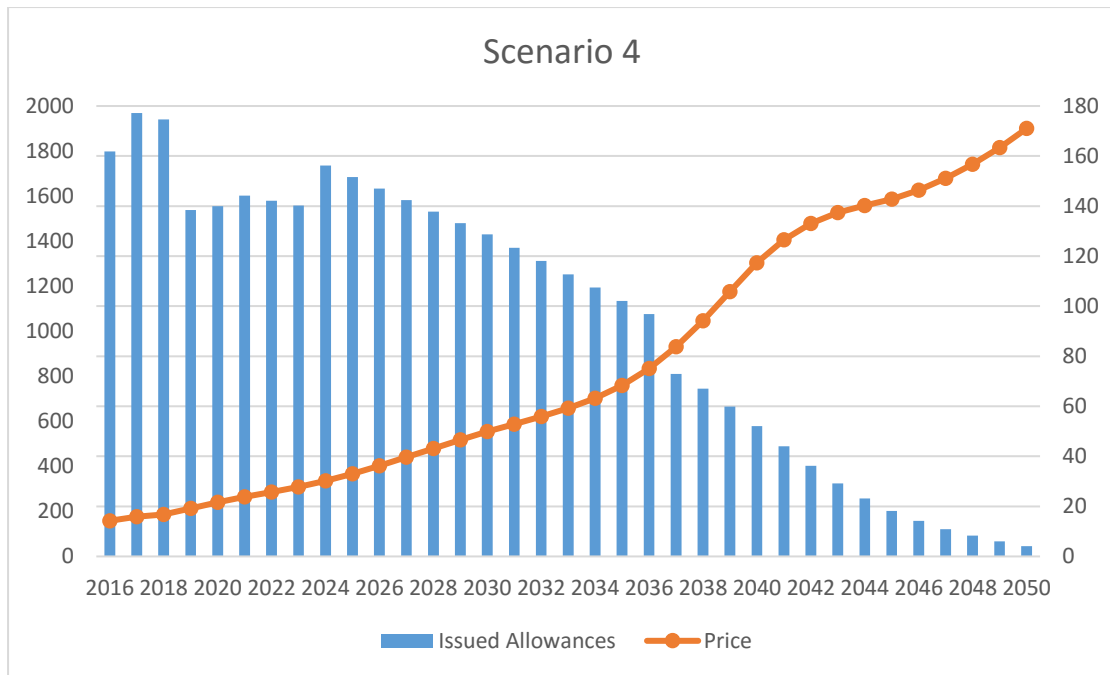


Figure 74 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

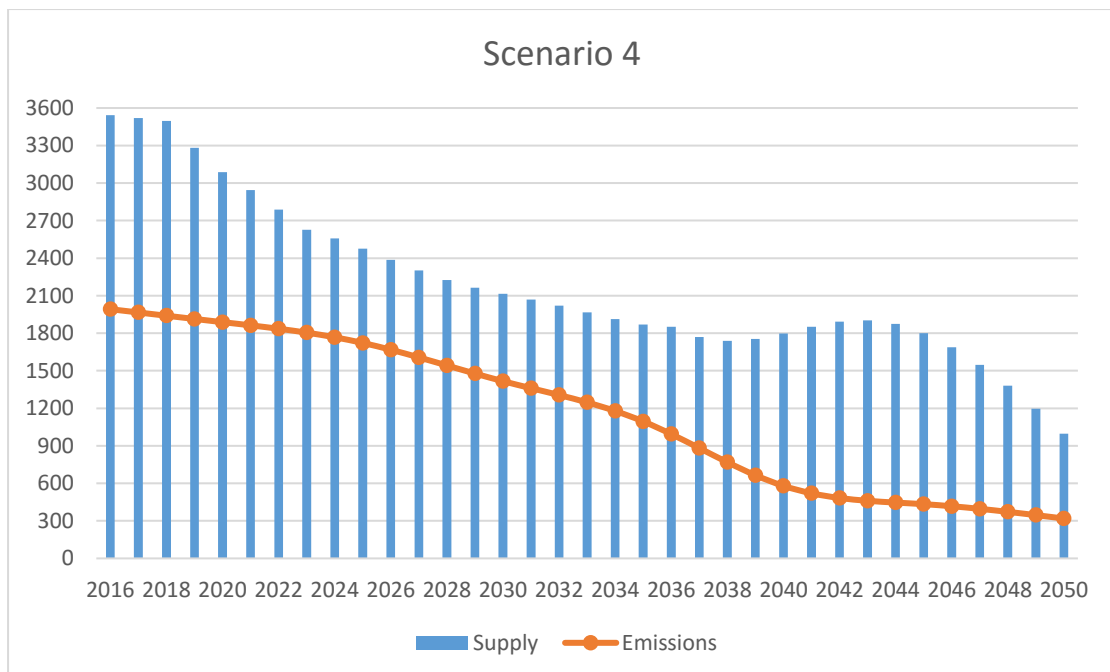


Figure 75 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια τη CO₂eq

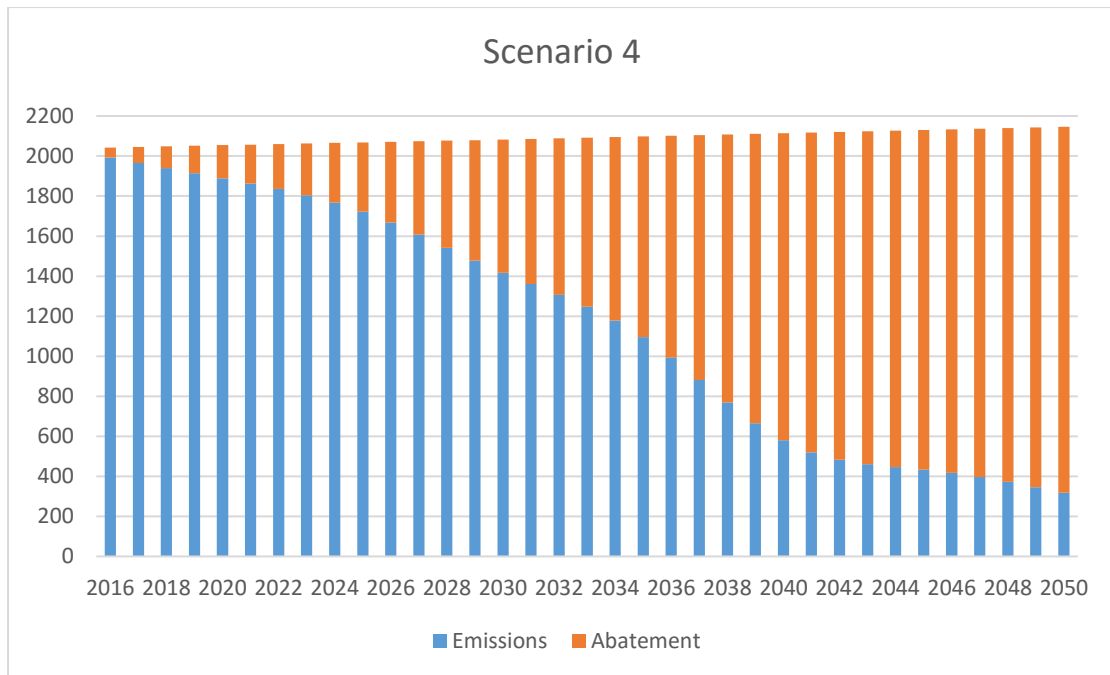


Figure 76 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

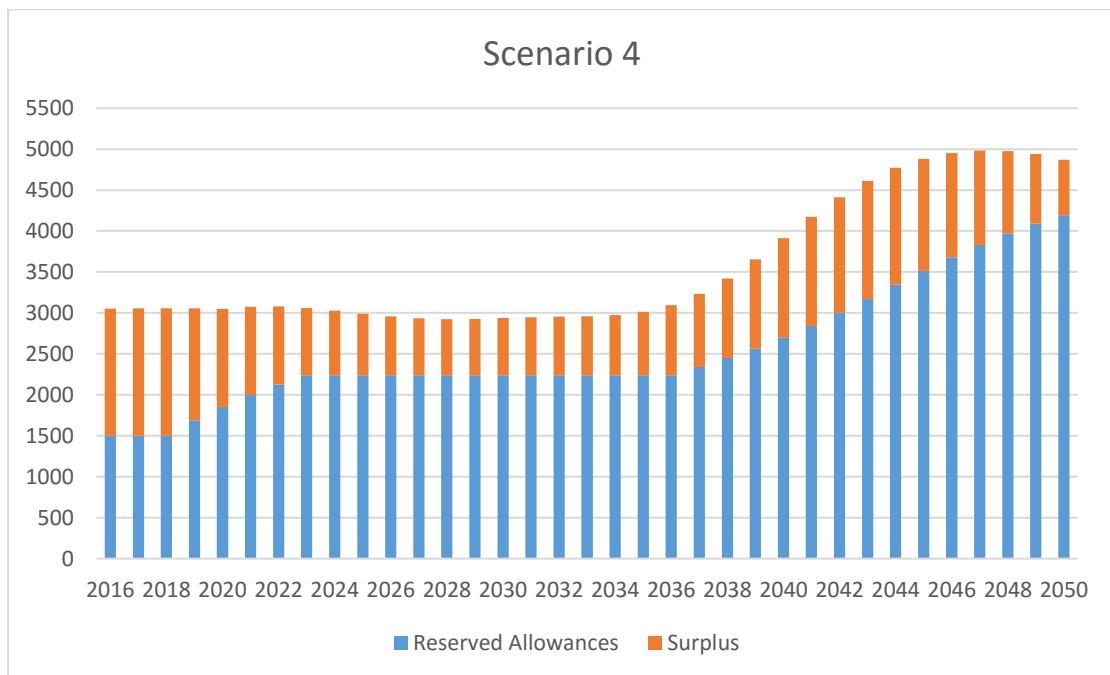


Figure 77 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια

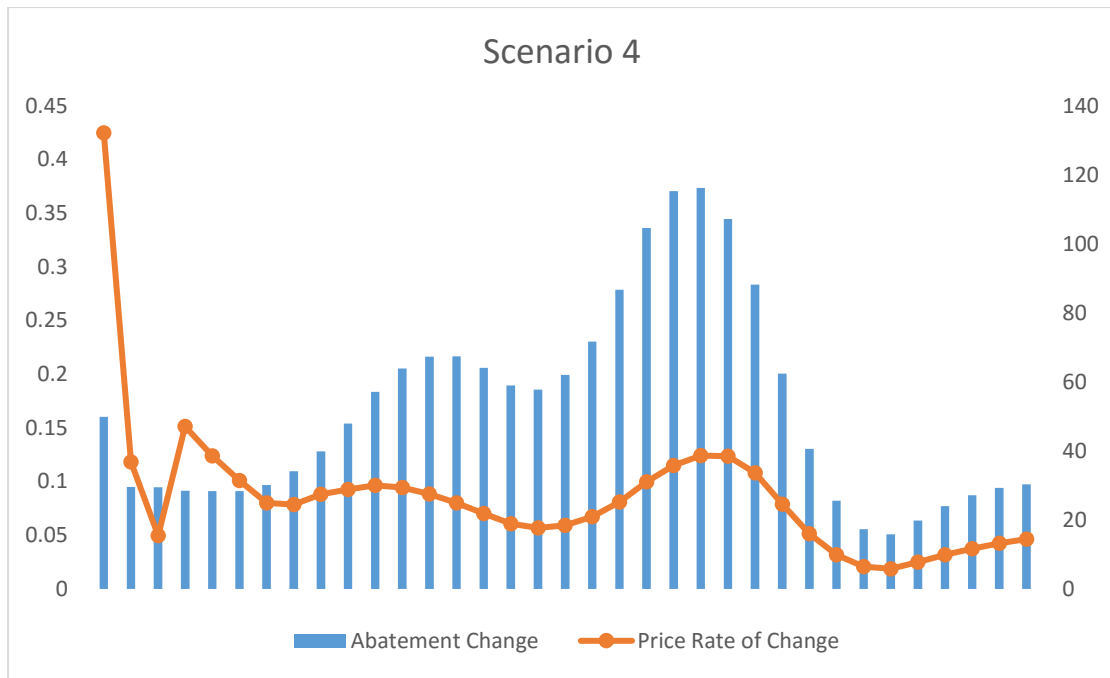


Figure 78 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

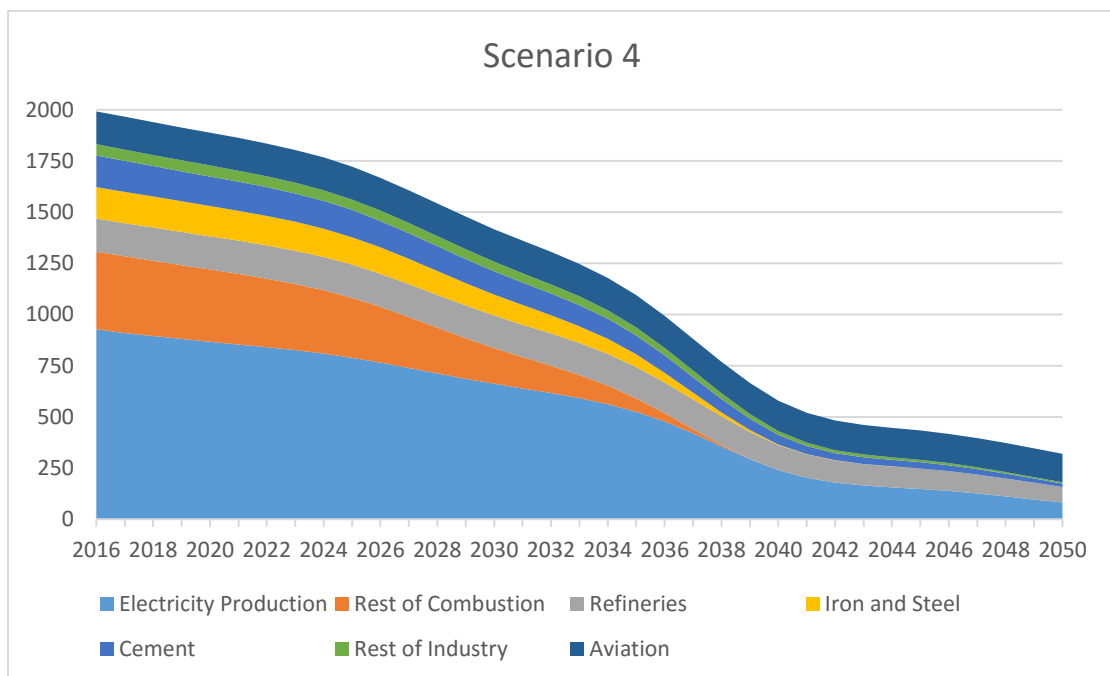


Figure 79 Οι ετήσιες Εκπομπές αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα σε τη CO₂ eq

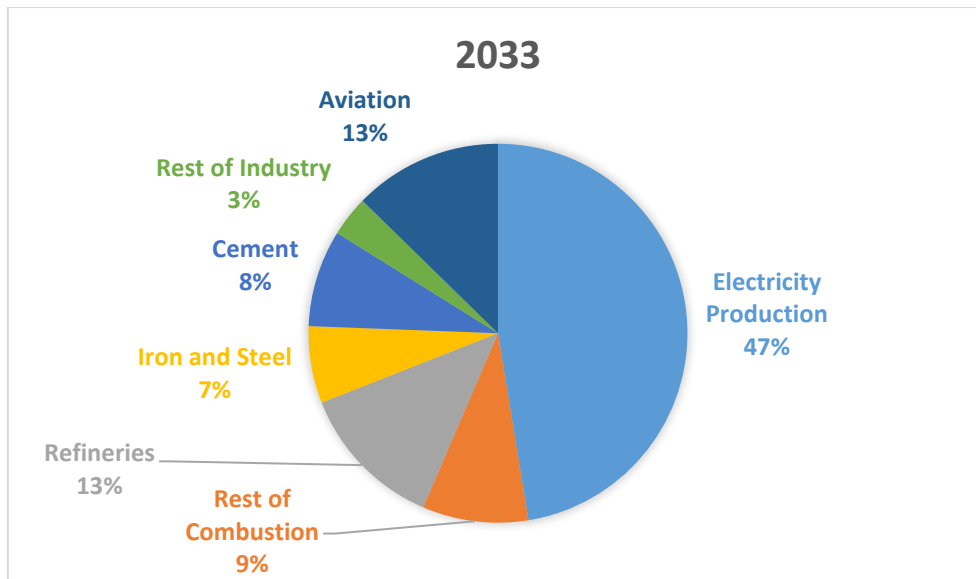


Figure 80 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

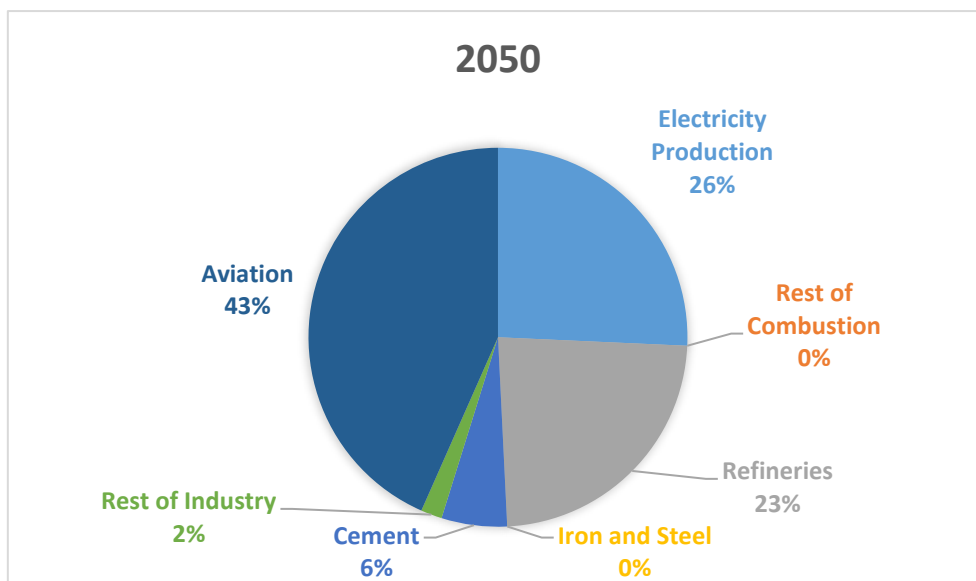


Figure 81 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.1.3 Adjusted Decarbonisation Σενάρια

Τα σενάρια Adjusted Decarbonisation χαρακτηρίζονται από χαμηλό αριθμό αδειών προς δημοπράτηση, σε αντίθεση όμως με τα προηγούμενα σενάρια, ο αριθμός αδειών που εκδίδονται ρυθμίζεται έτσι ώστε να υπάρχει ισορροπία στο EU ETS όσον αφορά στο Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς. Αυτή επιτυγχάνεται όταν οι άδειες που απορροφώνται από το αποθεματικό είναι ίσες ή κοντά στις άδειες που απελευθερώνονται από αυτό. Όπως θα δούμε στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων αυτό επιτυγχάνεται βέλτιστα με χρήση της ακόλουθης καμπύλης εκδιδόμενων αδειών, δεδομένων πάντα των εκπομπών που ακολουθούν παρακάτω.

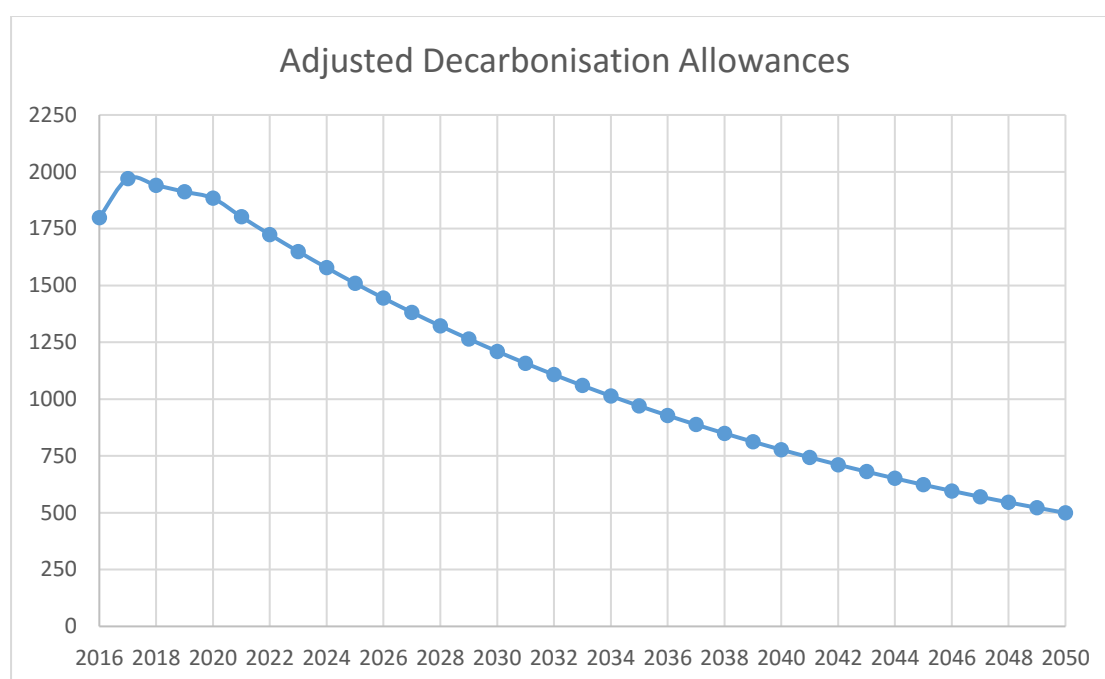


Figure 82 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

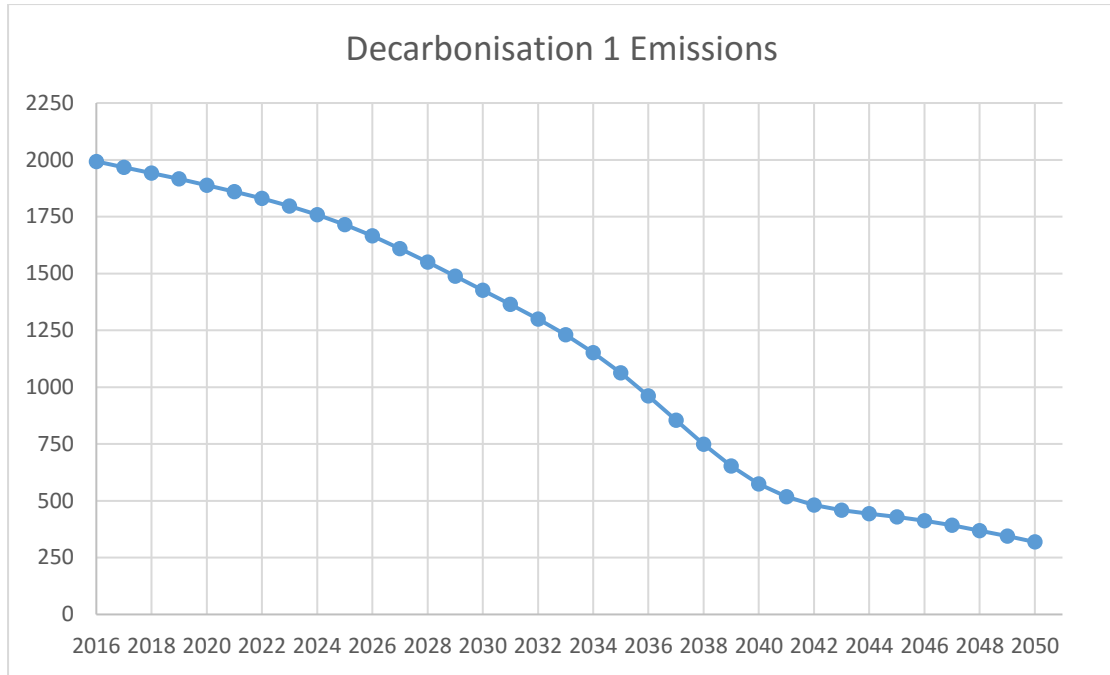


Figure 83 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 1ο σενάριο Adjusted Decarbonisation σε εκατομμύρια CO2 eq.

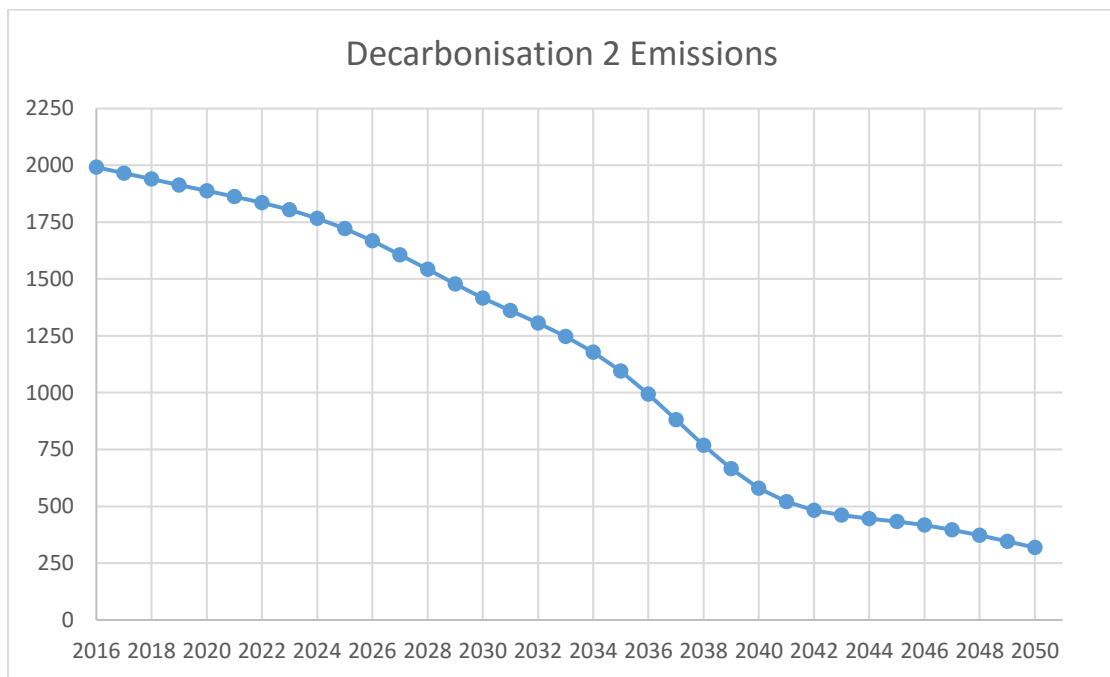


Figure 84 Ο Αριθμός Εκπομπών GHG που προβλέπονται για το 2ο σενάριο Adjusted Decarbonisation σε εκατομμύρια CO2 eq.

5.1.3.1 Πρώτο Adjusted Decarbonisation Σενάριο

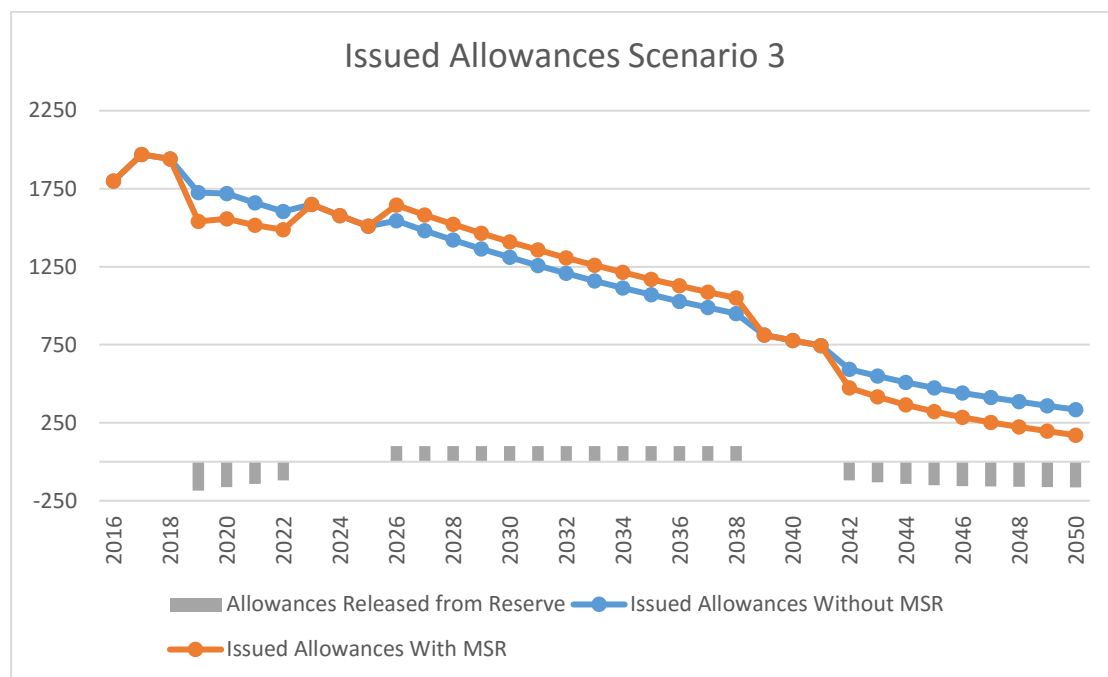


Figure 85 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα)

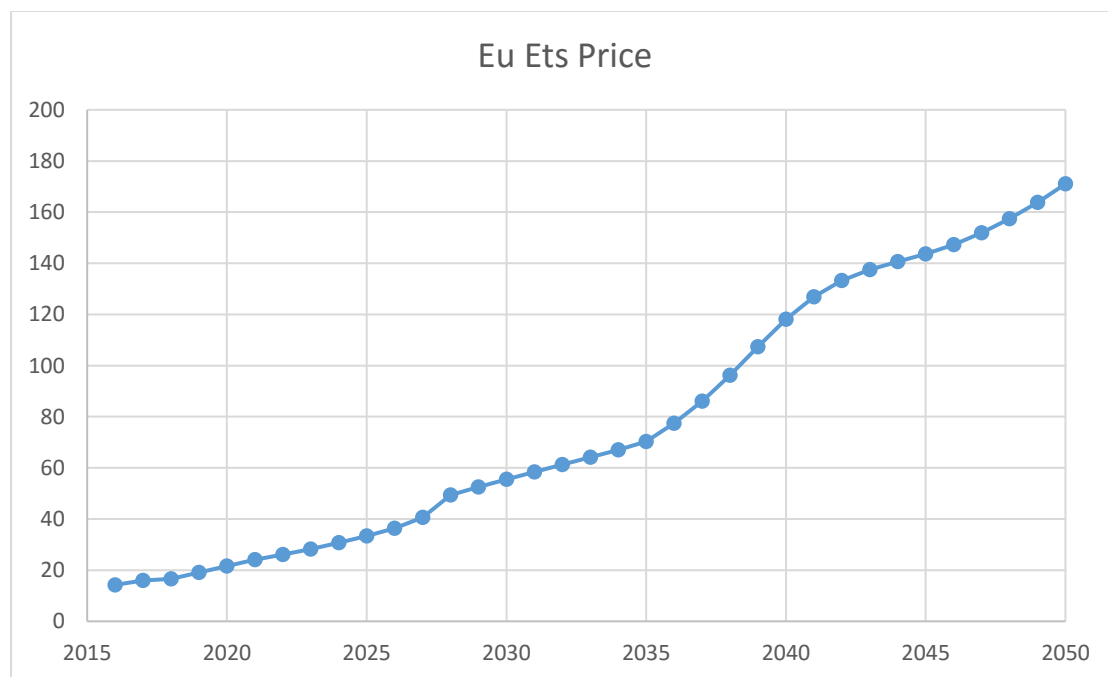


Figure 86 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

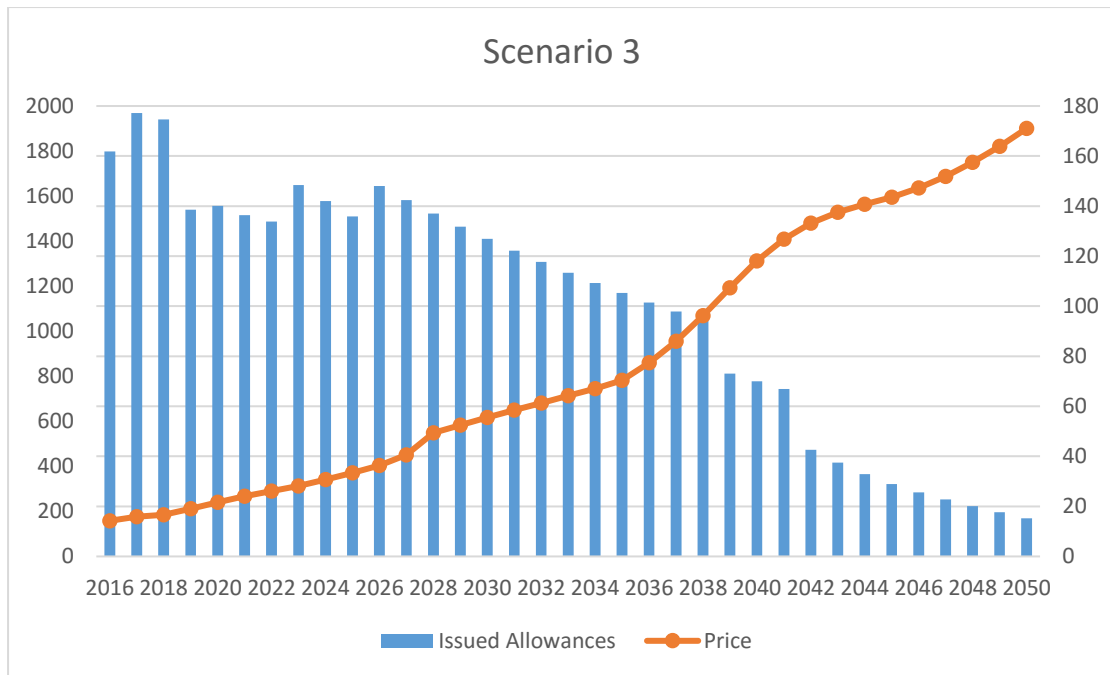


Figure 87 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

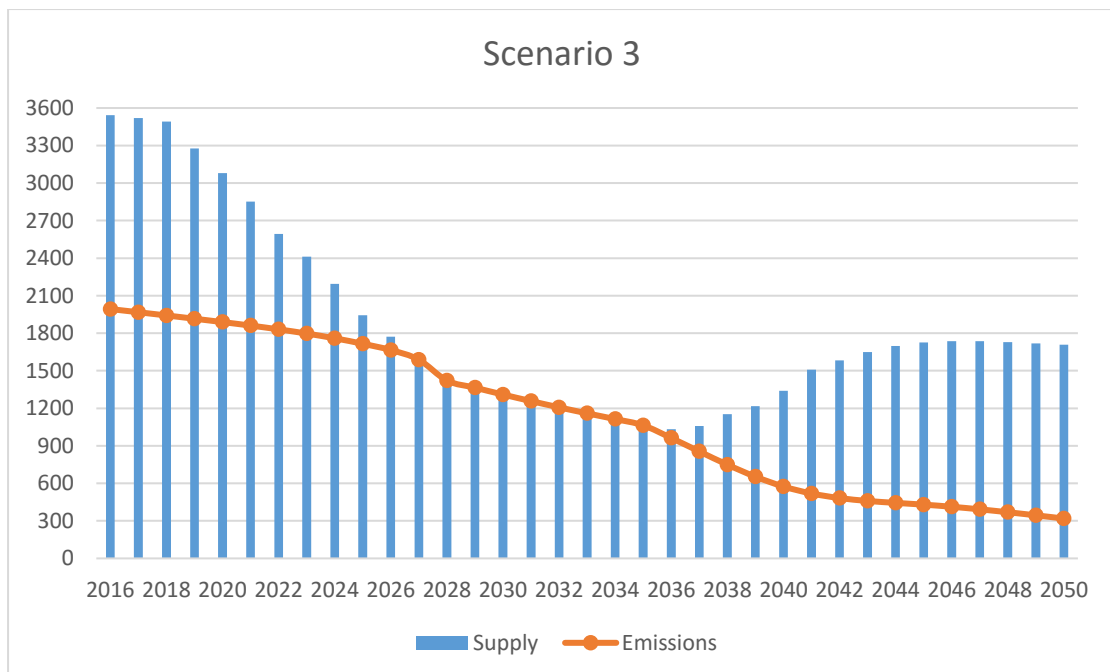


Figure 88 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια τη CO₂eq

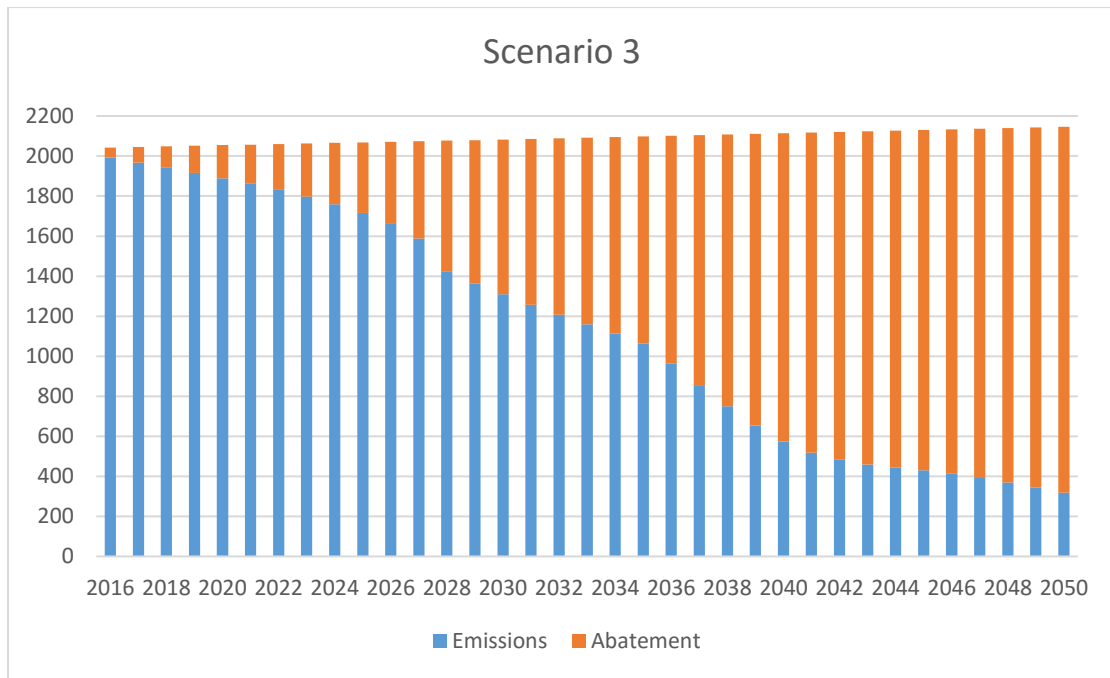


Figure 89 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδευόντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

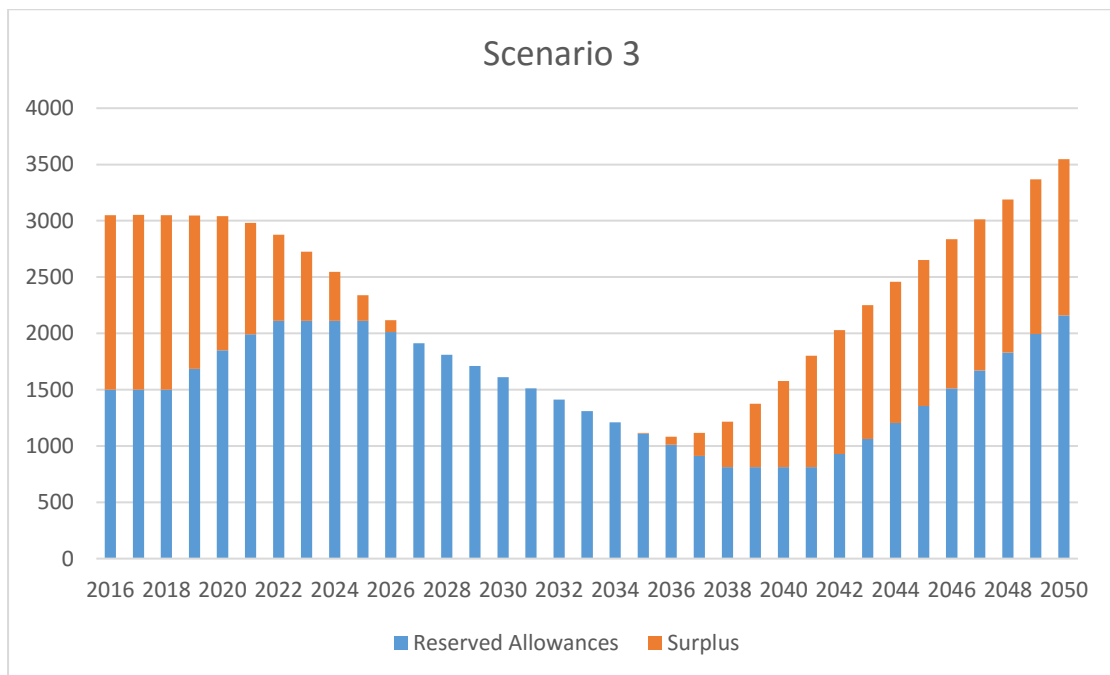


Figure 90 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια

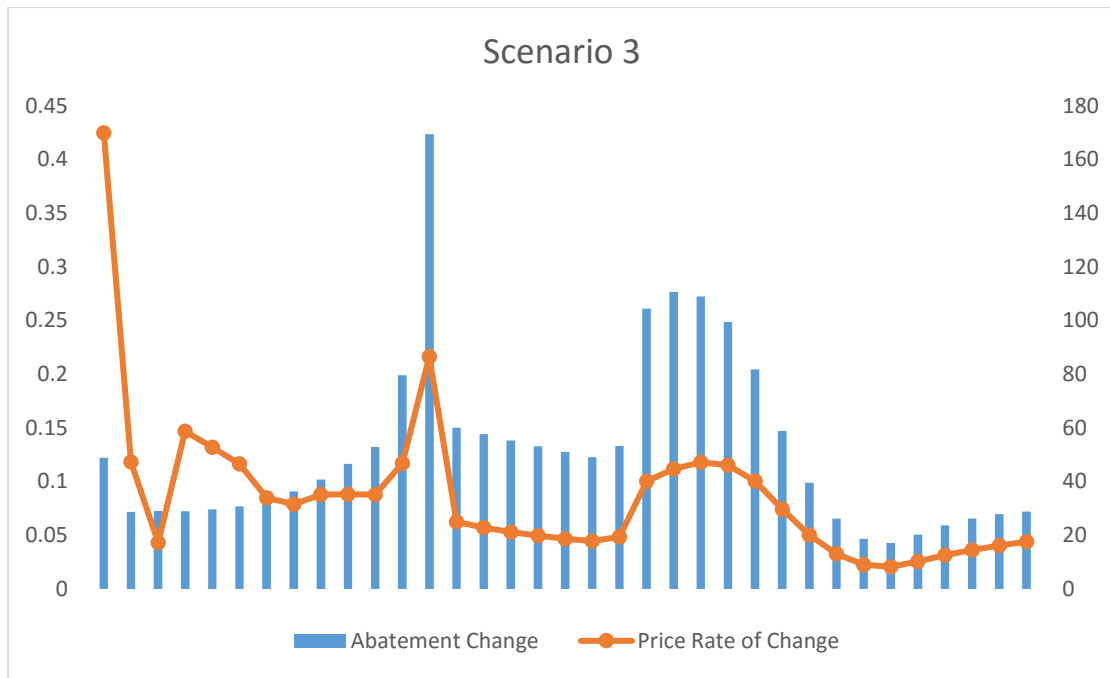


Figure 91 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

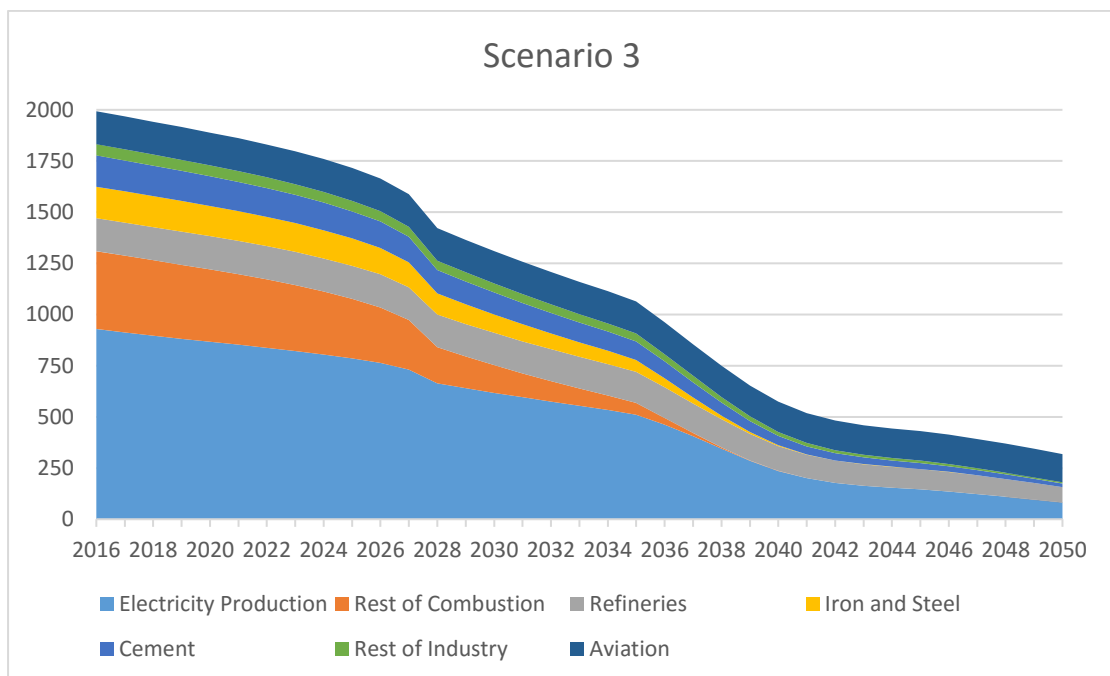


Figure 92 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO₂ eq

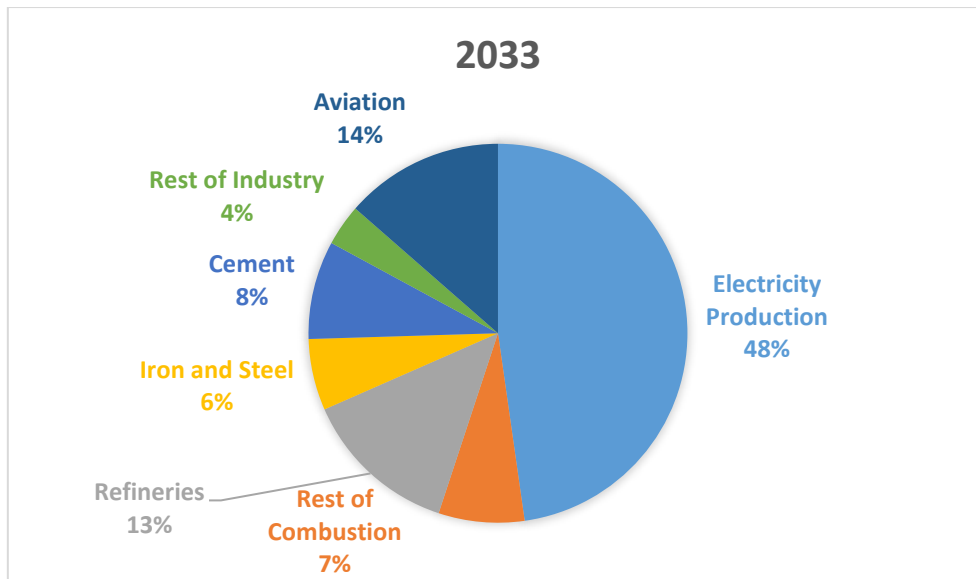


Figure 93 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

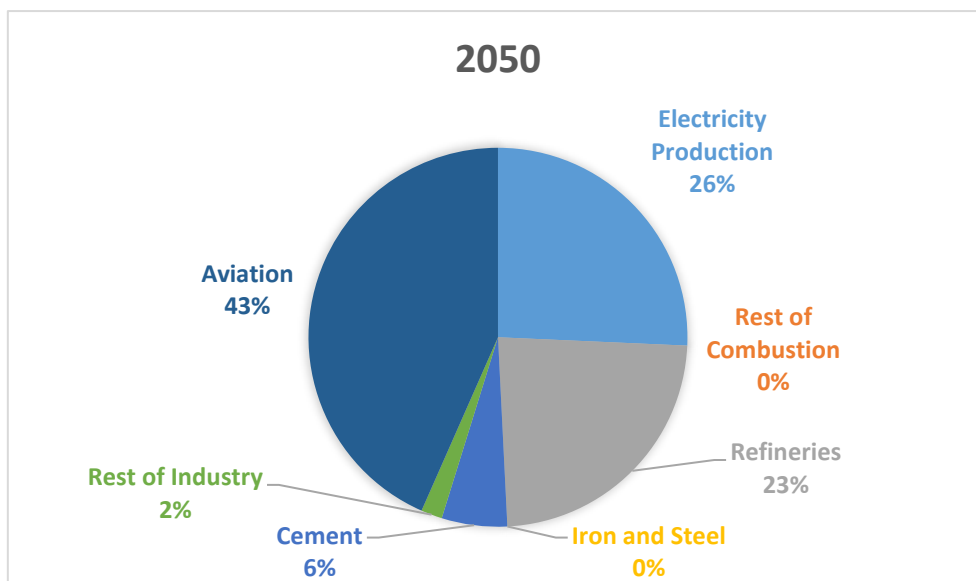


Figure 94 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.1.3.2 Δεύτερο Adjusted Decarbonisation Σενάριο

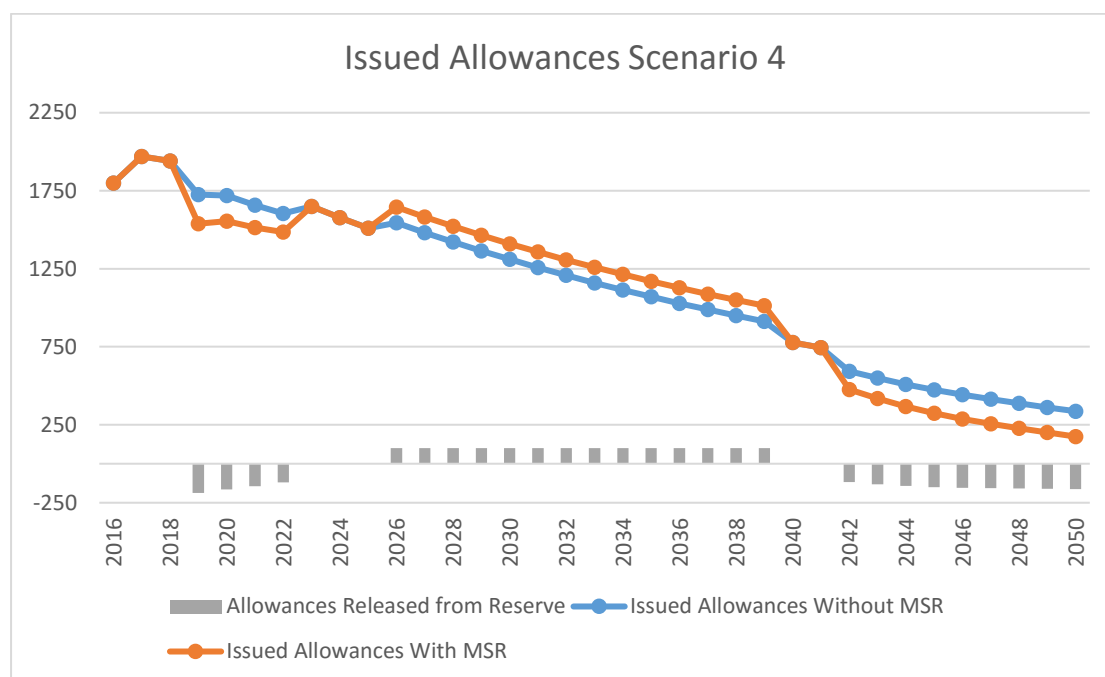


Figure 95 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα)

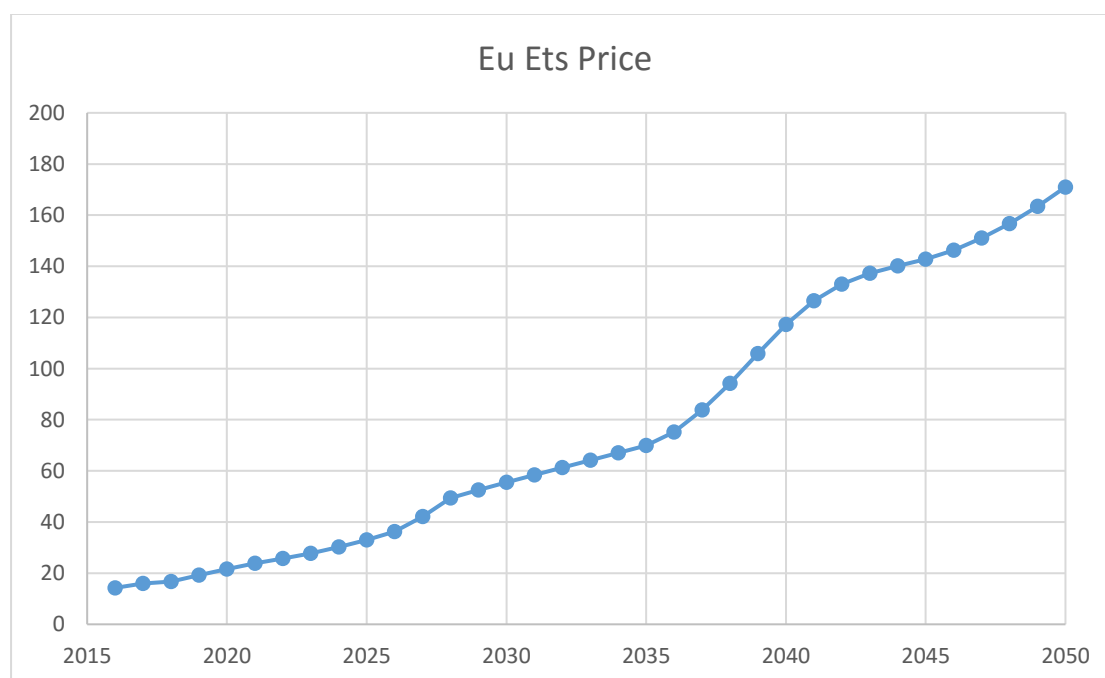


Figure 96 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

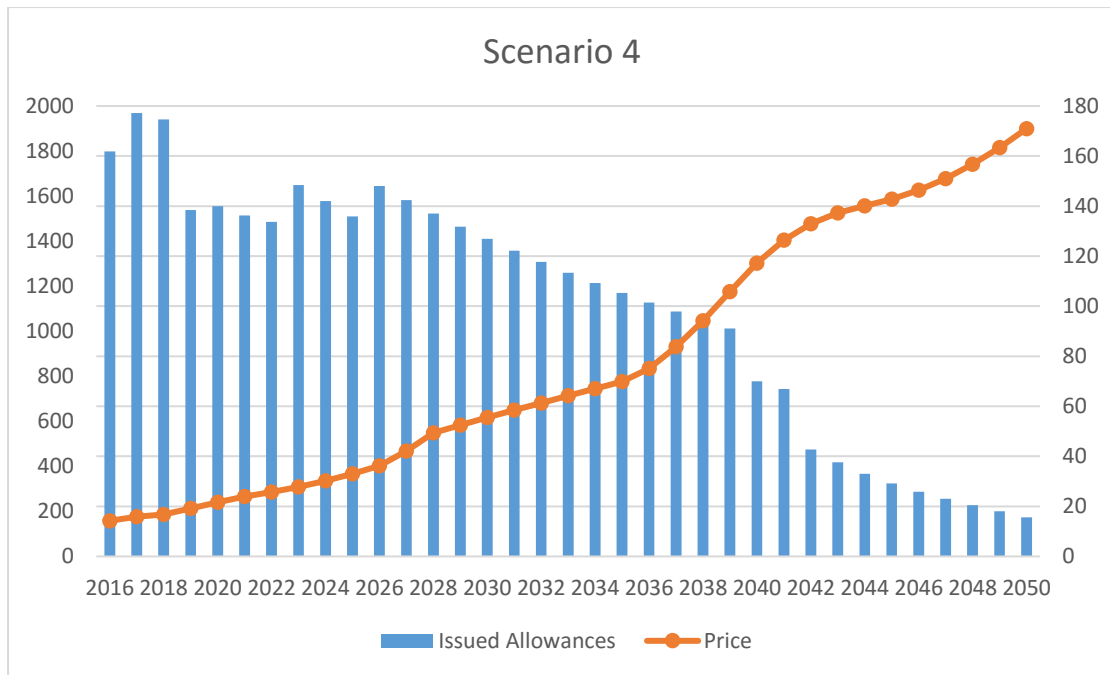


Figure 97 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομμύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

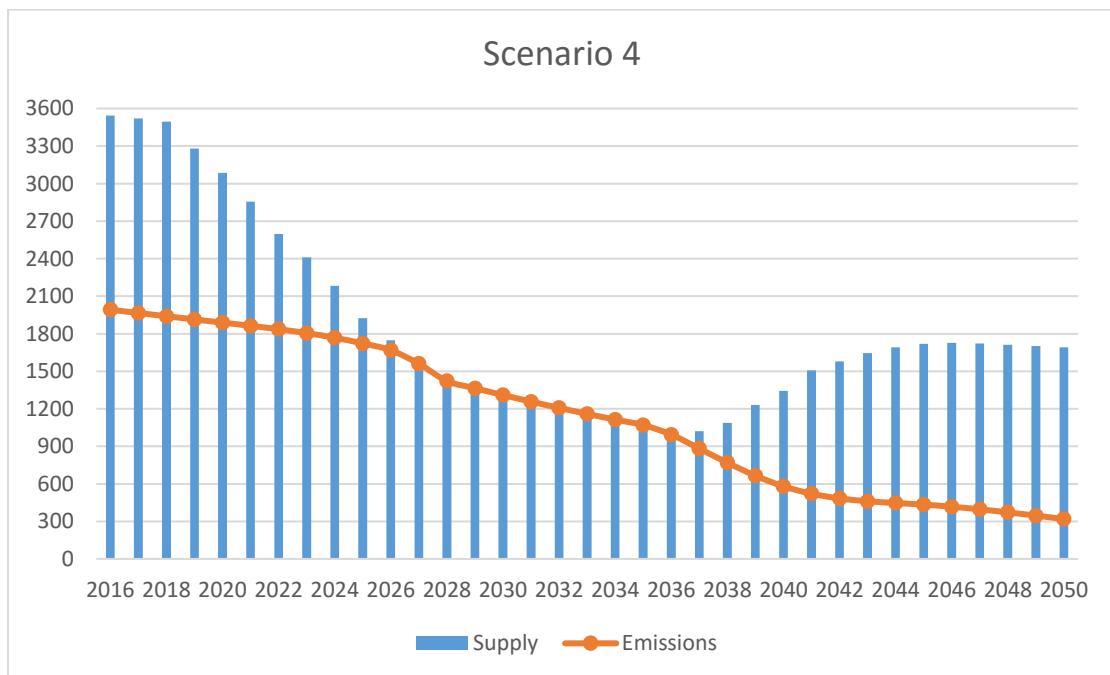


Figure 98 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια CO_2eq

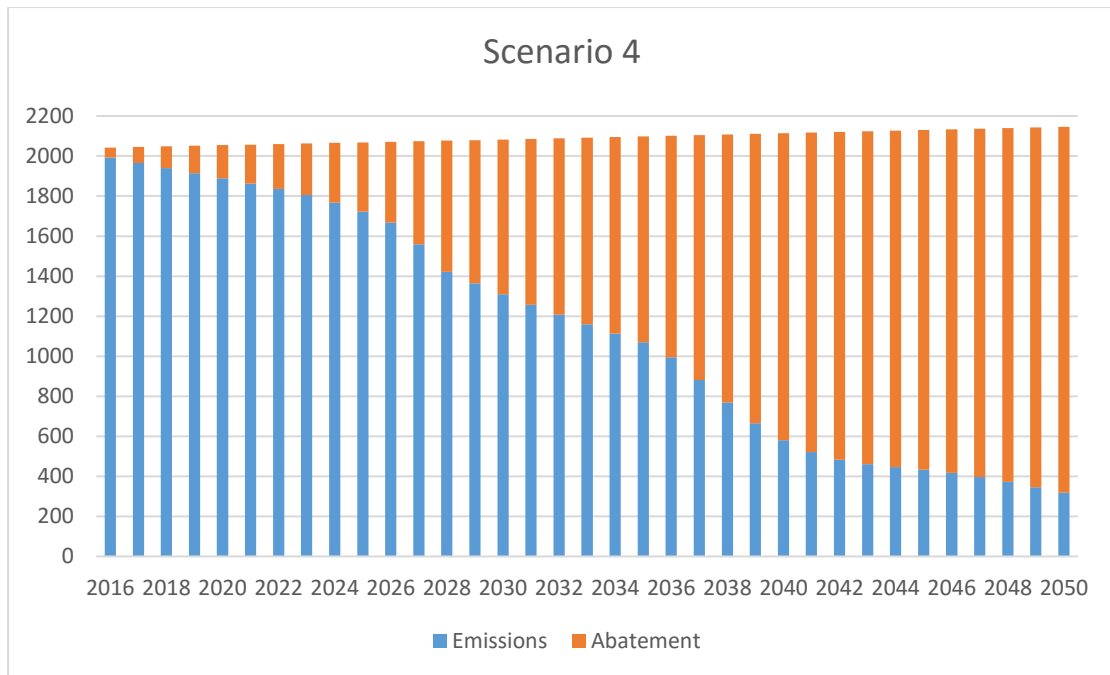


Figure 99 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισοούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια τη CO₂eq

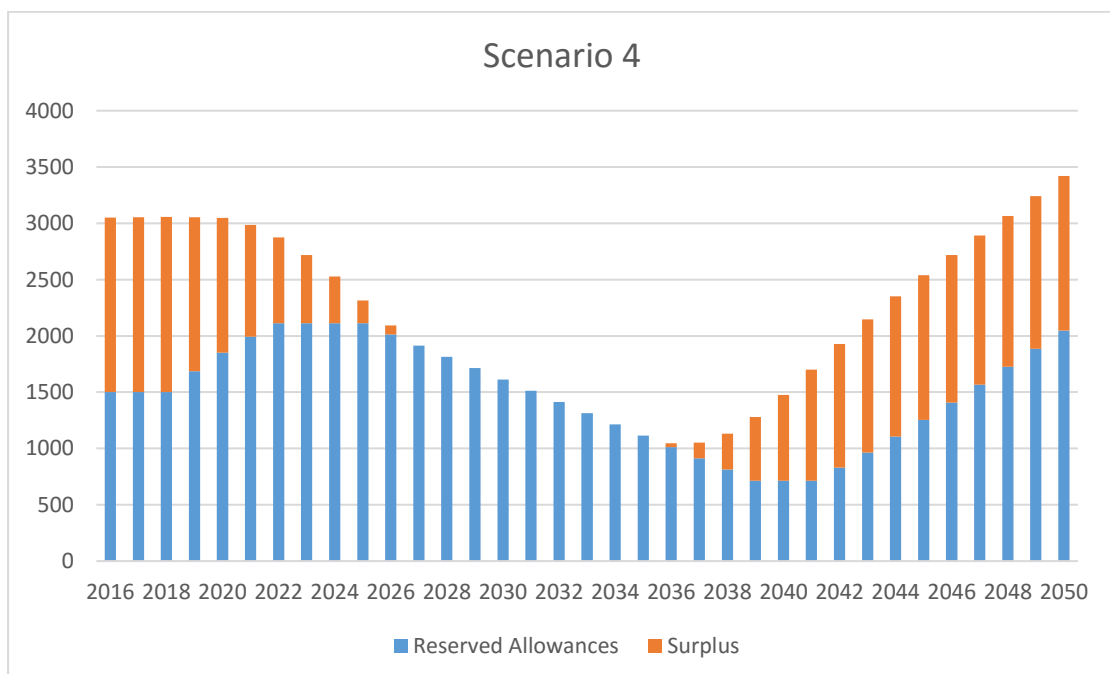


Figure 100 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια

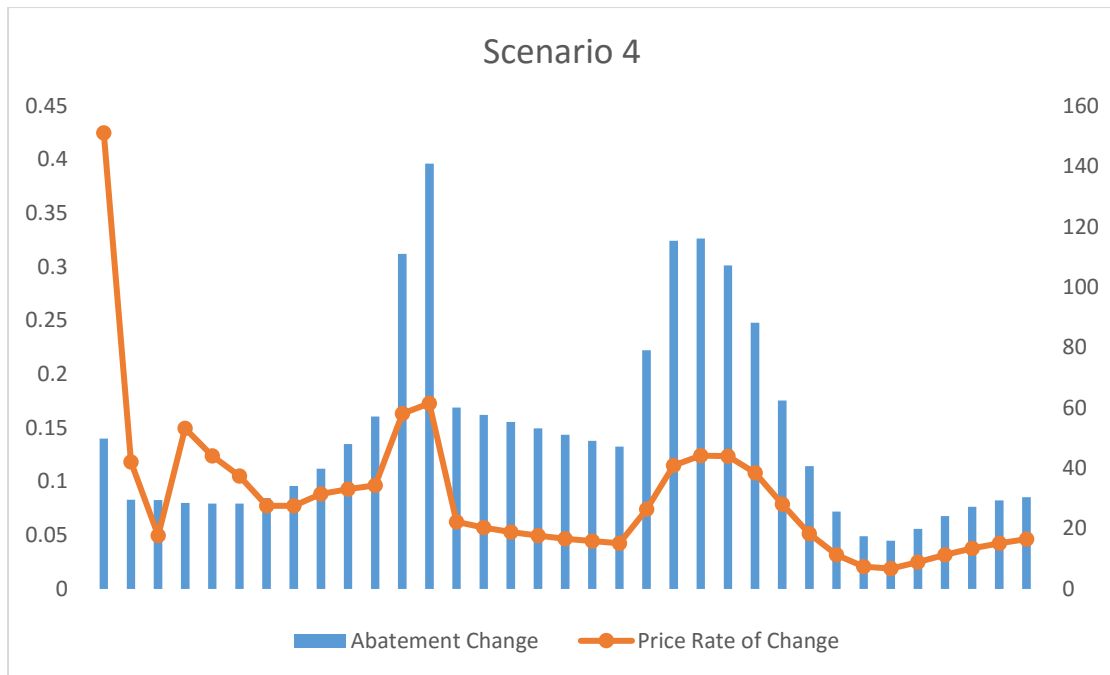


Figure 101 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

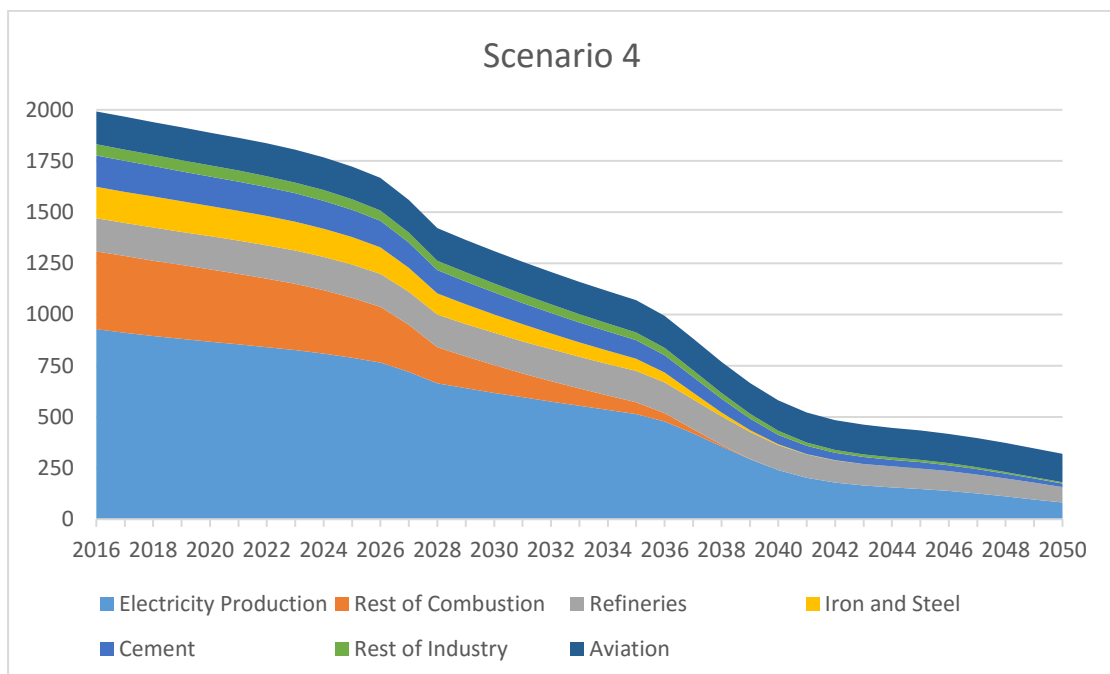


Figure 102 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO₂ eq

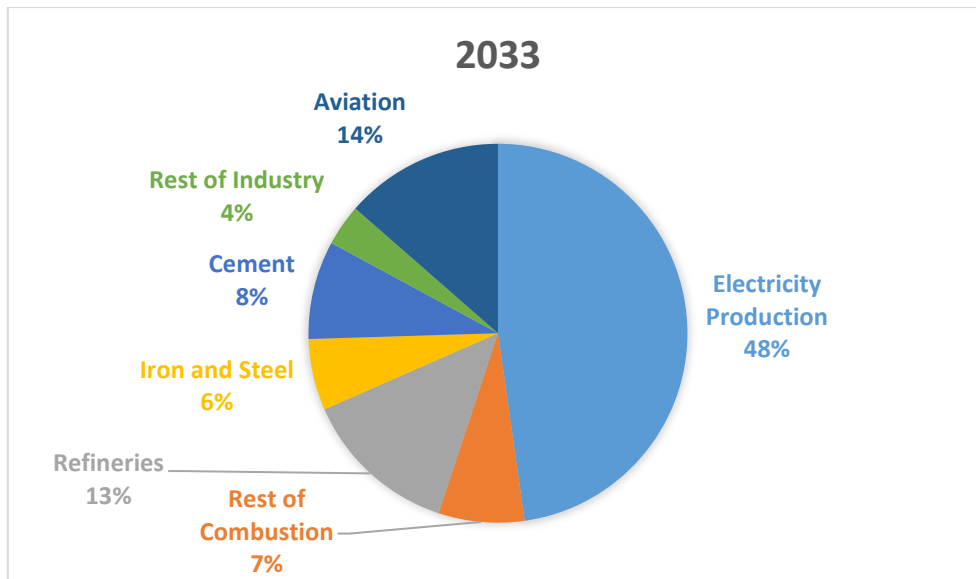


Figure 103 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

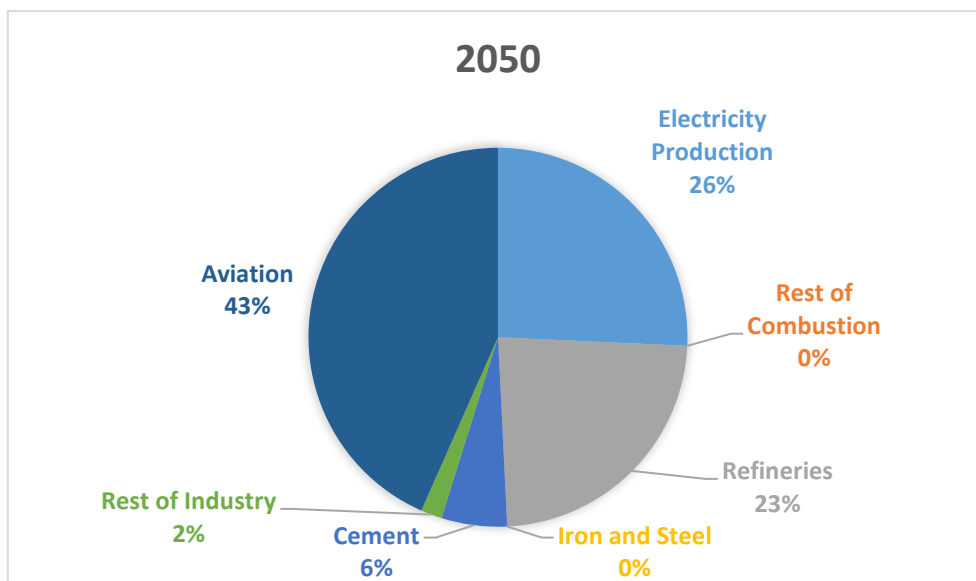


Figure 104 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.2 Αποτελέσματα μοντέλου ατομικών στρατηγικών παραγωγών

Αυτός ο τρόπος επίλυσης απαιτεί ως είσοδο τον αριθμό αδειών προς δημοπράτηση και τη συμπεριφορά του κάθε παραγωγού. Οι παραγωγοί κερδοσκοπούν βάσει των ατομικών τους προβλέψεων, οι οποίες όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αποκλίνουν βάσει τυχαίων αριθμών που προέρχονται από κανονική κατανομή. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της επίλυσης αυτής είναι ότι σύμφωνα με την πρόβλεψη που κάνουν οι παραγωγοί για τις μελλοντικές τιμές, επενδύουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στη μόνιμη μείωση των εκπομπών έτσι η επίλυση αυτή μπορεί ατομικά να παρέχει καλύτερο αποτέλεσμα, αλλά συνολικά μπορεί να οδηγήσει παραγωγούς μακριά από τη βέλτιστη επίλυση του συστήματος.

Τέλος, αφού για τους παραγωγούς είναι φθηνότερο να αγοράσουν το περίσσειμα των αδειών από το να μειώσουν τις εκπομπές τους, αναμένουμε πλήρη απορρόφηση των αδειών για το 2050.

Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο παρεμφερή σενάρια εκπομπών για κάθε σενάριο αδειών ενώ τα σενάρια εκπομπών ανεξάρτησης από τον άνθρακα είναι ίδια με αυτά του παραλλαγμένου σεναρίου αδειών για ανεξάρτηση από τον άνθρακα.

5.2.1 Baseline Σενάριο

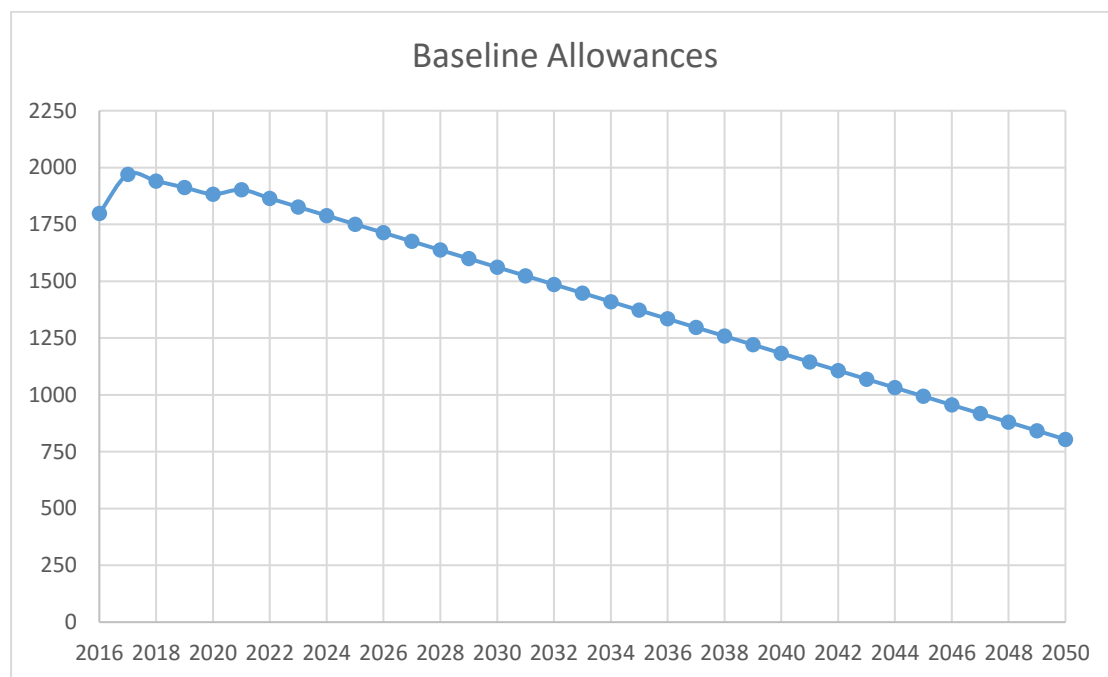


Figure 105 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

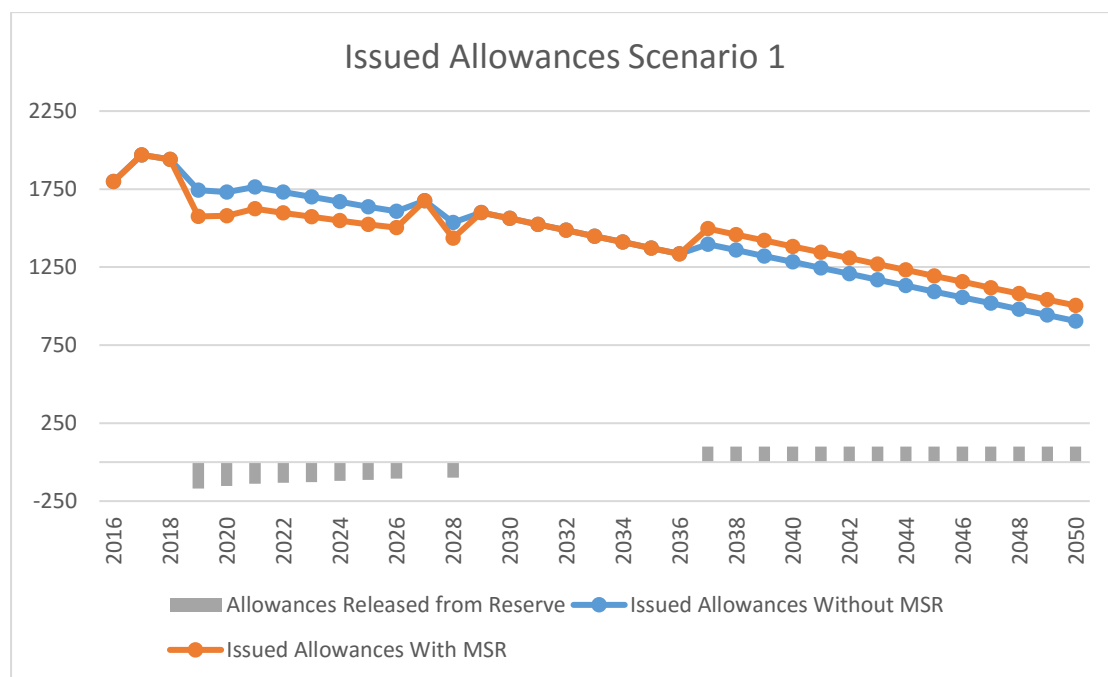


Figure 106 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα).

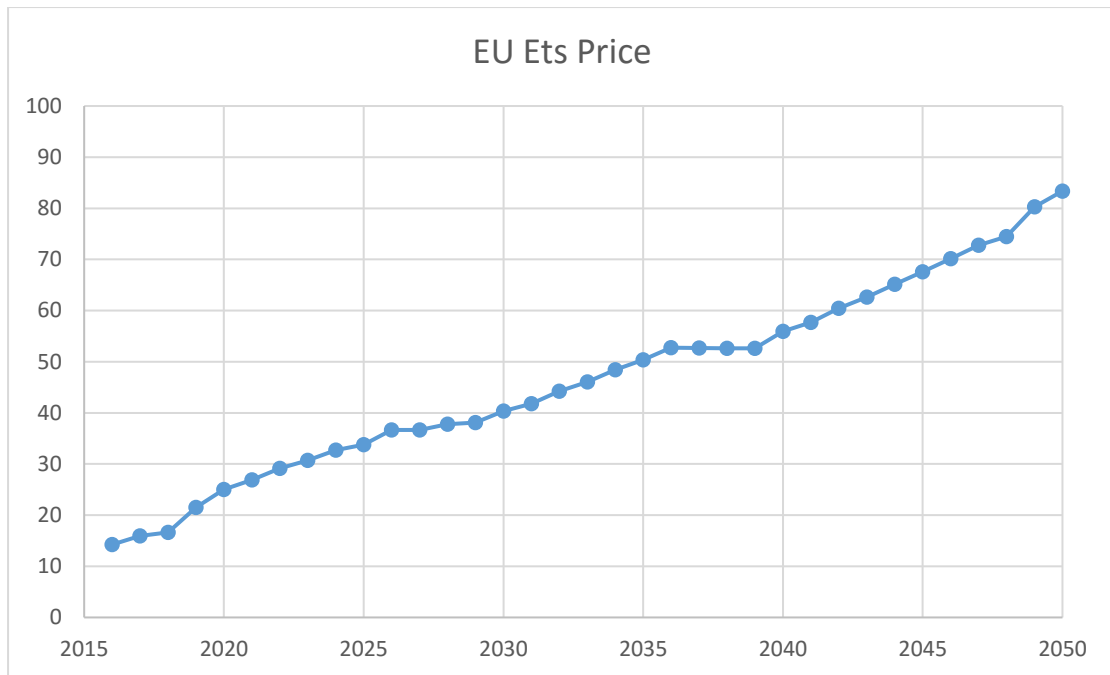


Figure 107 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

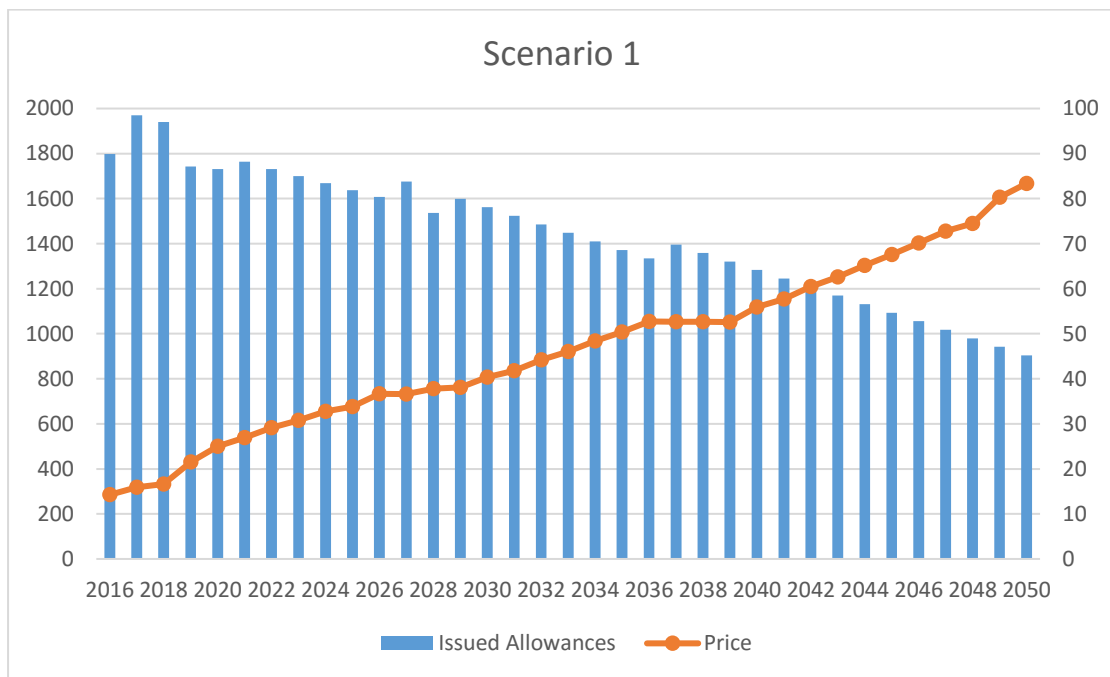


Figure 108 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

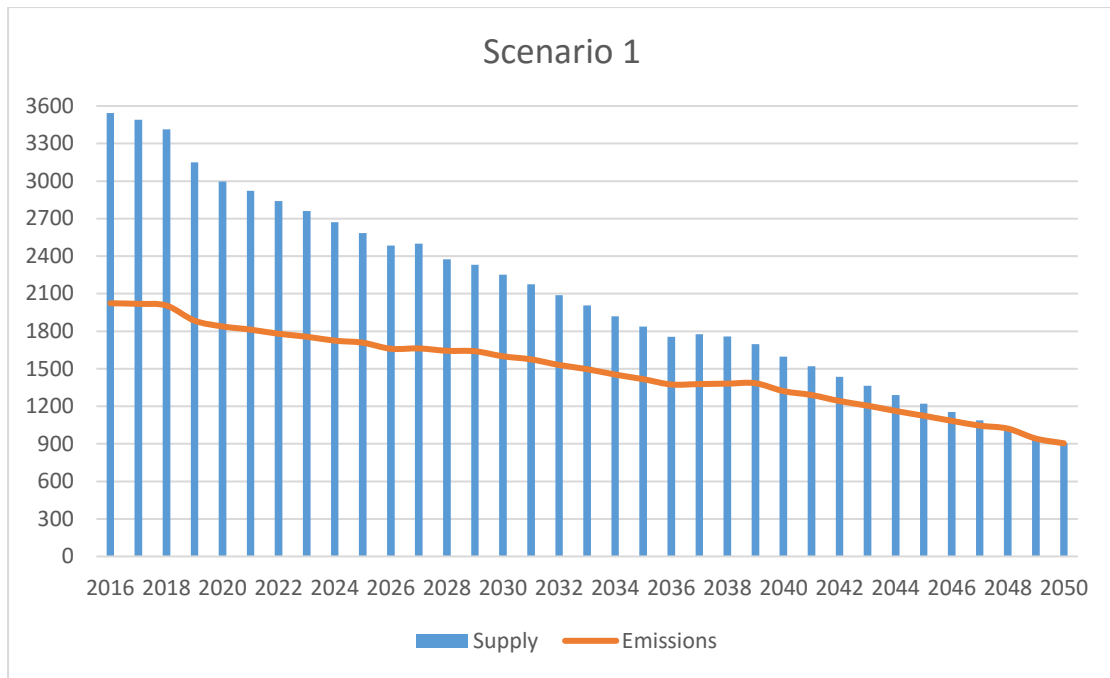


Figure 109 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια tn CO₂e

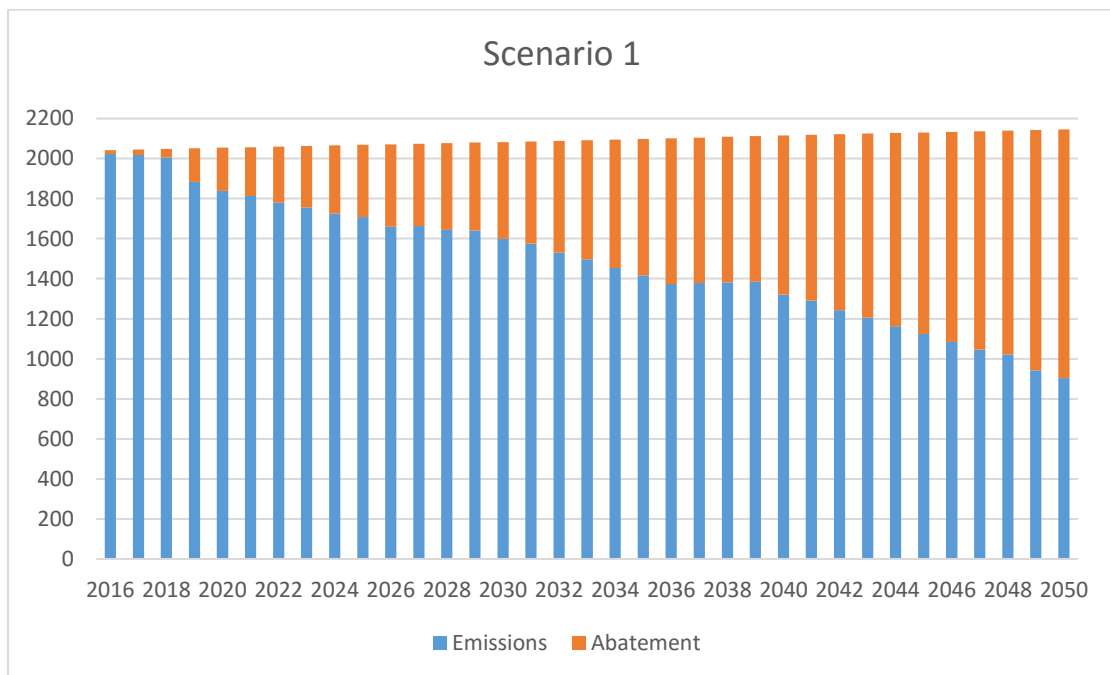


Figure 110 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια tn CO₂e

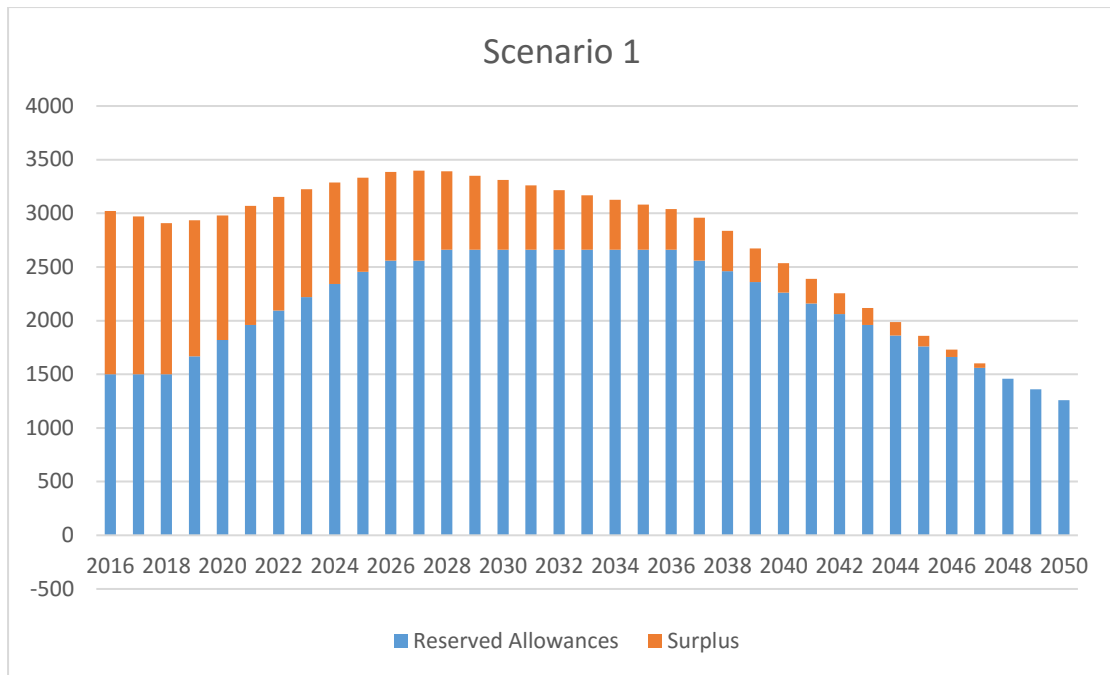


Figure 111 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια.

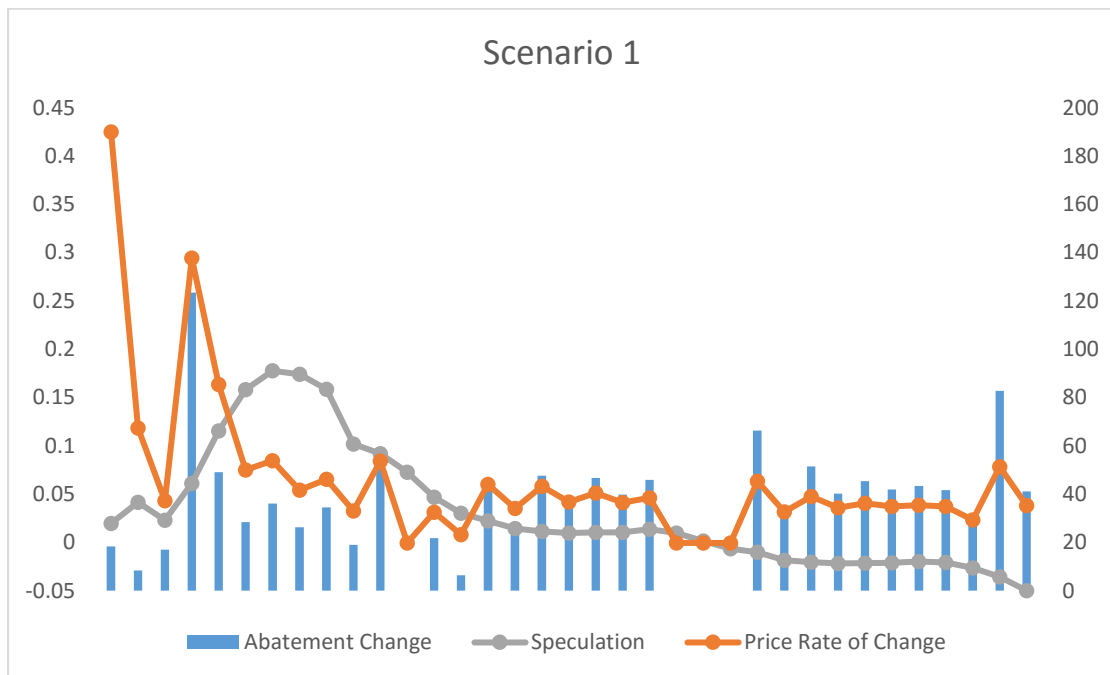


Figure 112 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία. Με Μπλε χρώμα και Γκρι απεικονίζονται και βαθμονομούνται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών και ο αριθμός των αδειών που αγοράστηκαν για κερδοσκοπία και αναλογούν σε εκατομμύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

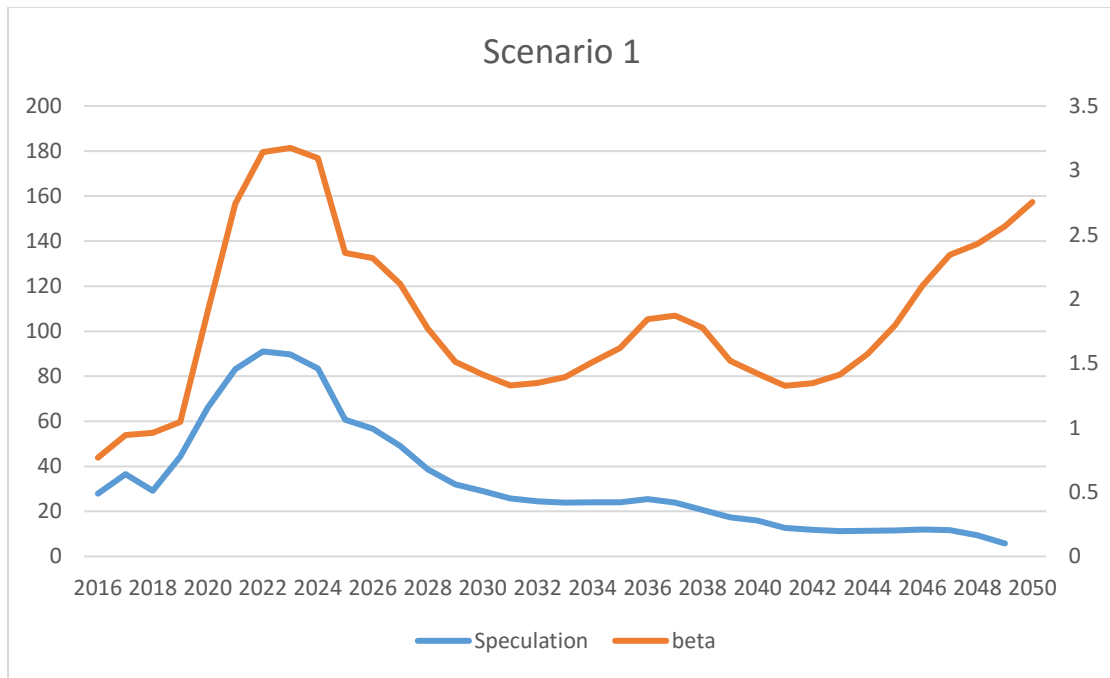


Figure 113 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης (beta) που προκύπτει ετησίως και εξετάζει τα 10 τελευταία χρόνια εφαρμογής του EU ETS. Η κερδοσκοπία αναφέρεται σε εκατομμύρια άδειες ενώ το beta είναι καθαρός αριθμός.

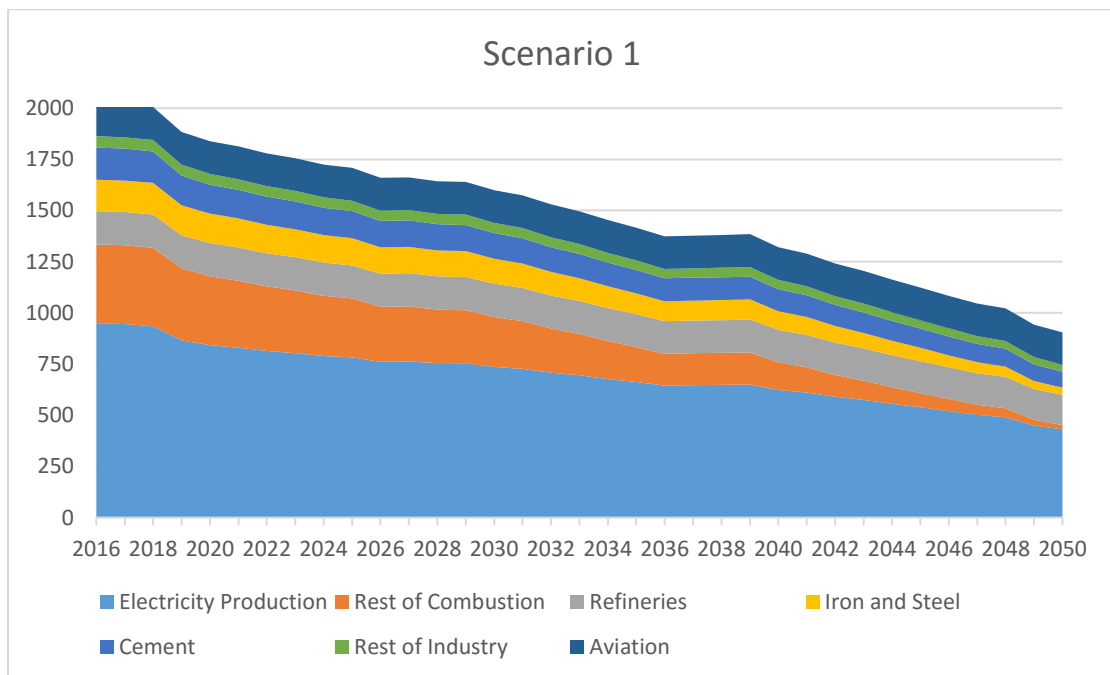


Figure 114 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO2 eq

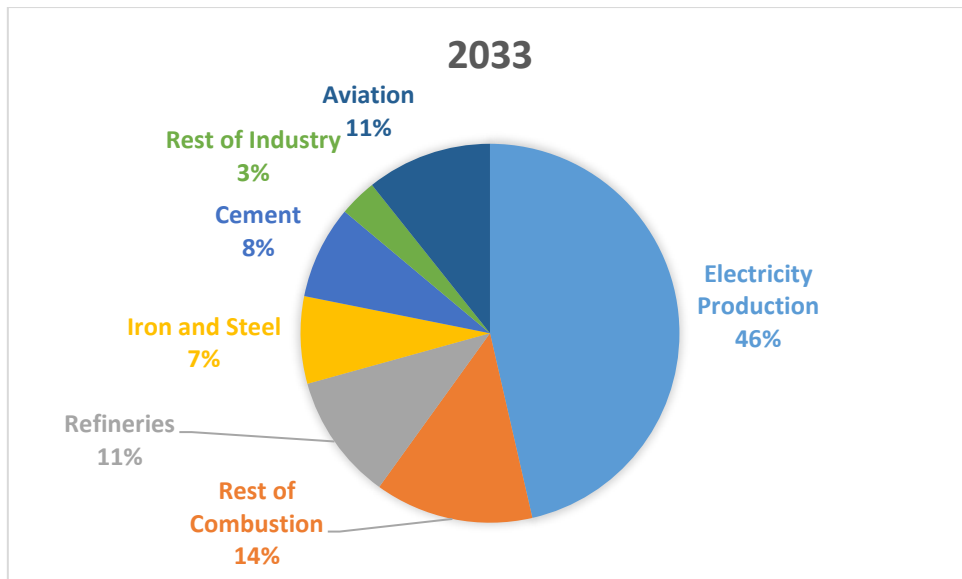


Figure 115 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

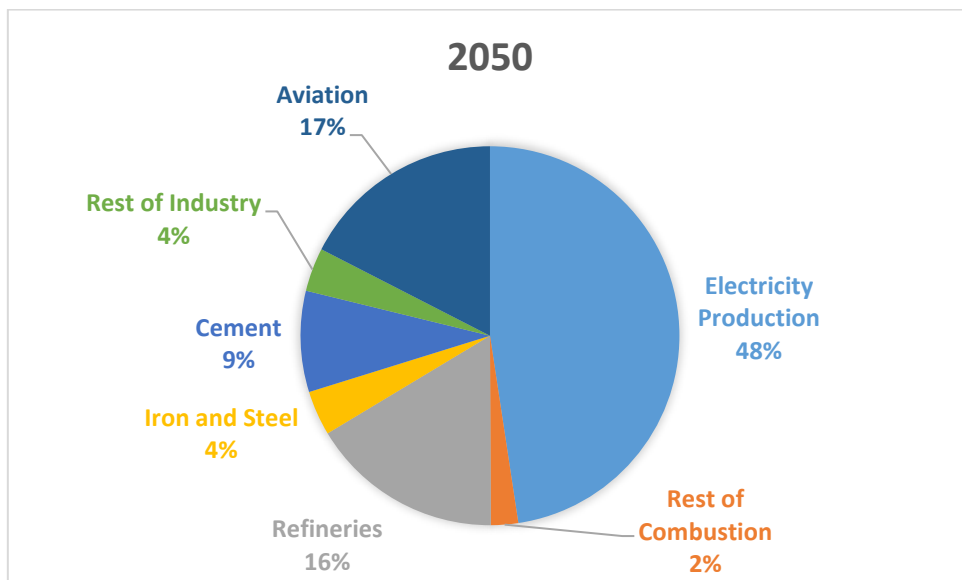


Figure 116 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.2.2 Decarbonisation Σενάριο

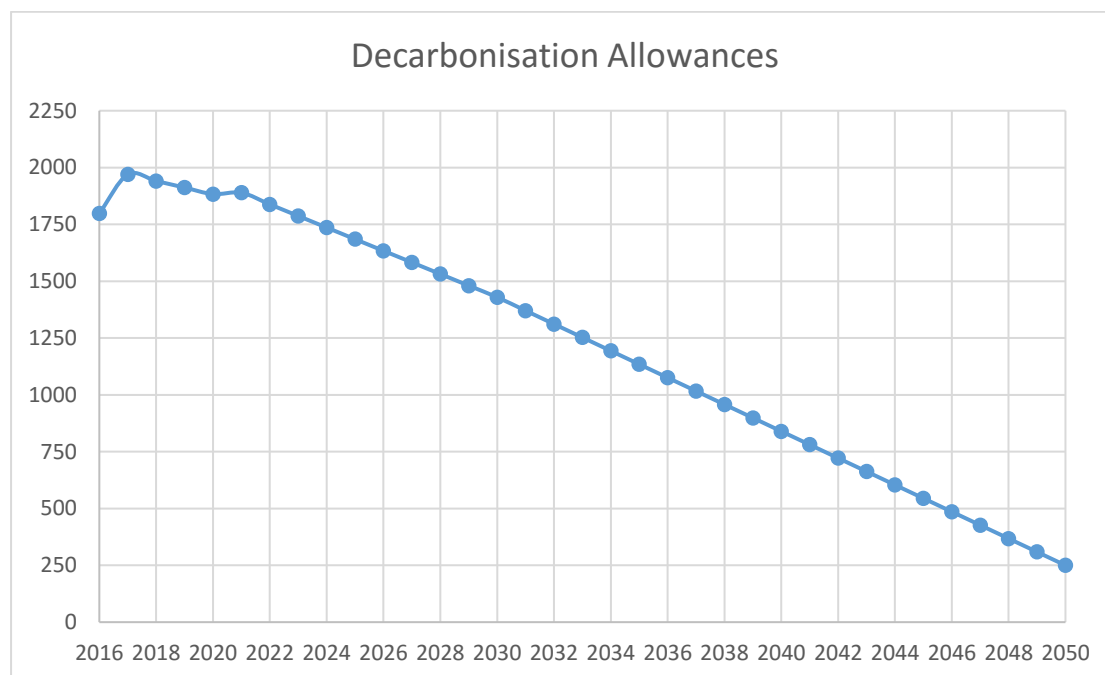


Figure 117 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

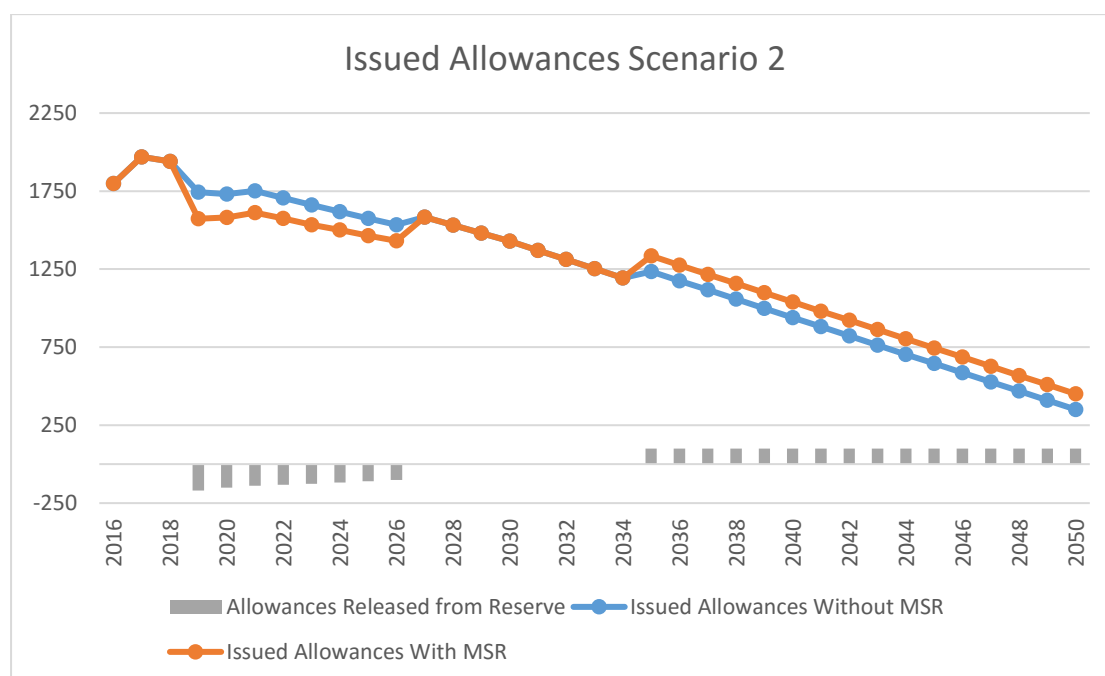


Figure 118 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα).

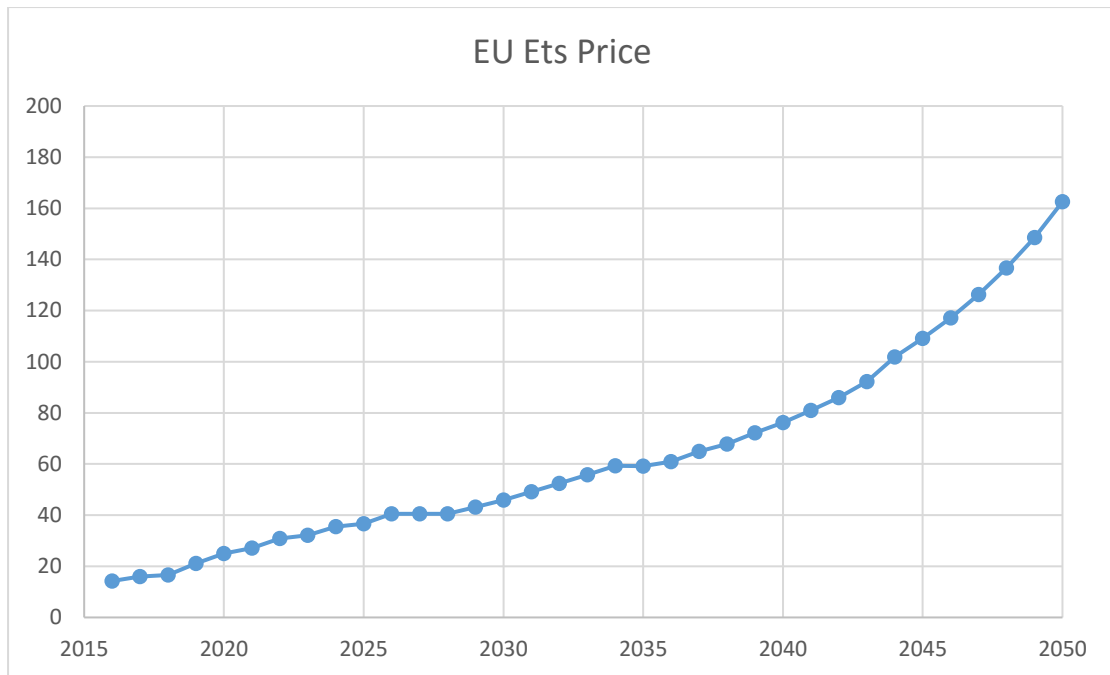


Figure 119 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

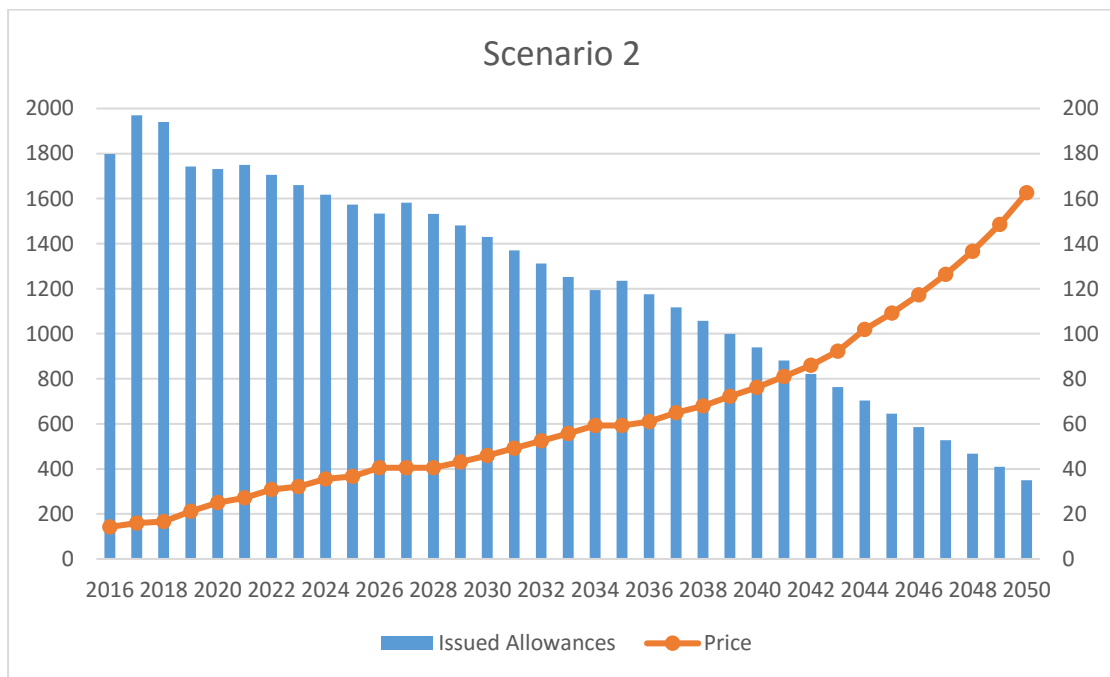


Figure 120 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

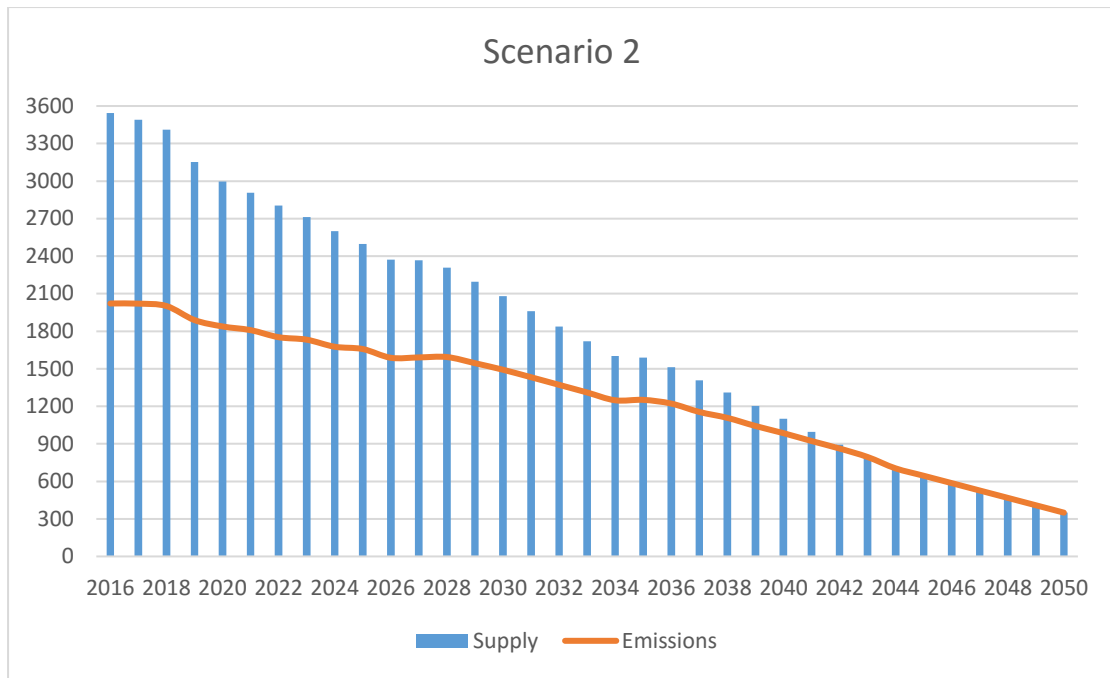


Figure 121 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια $tn\ CO_2eq$

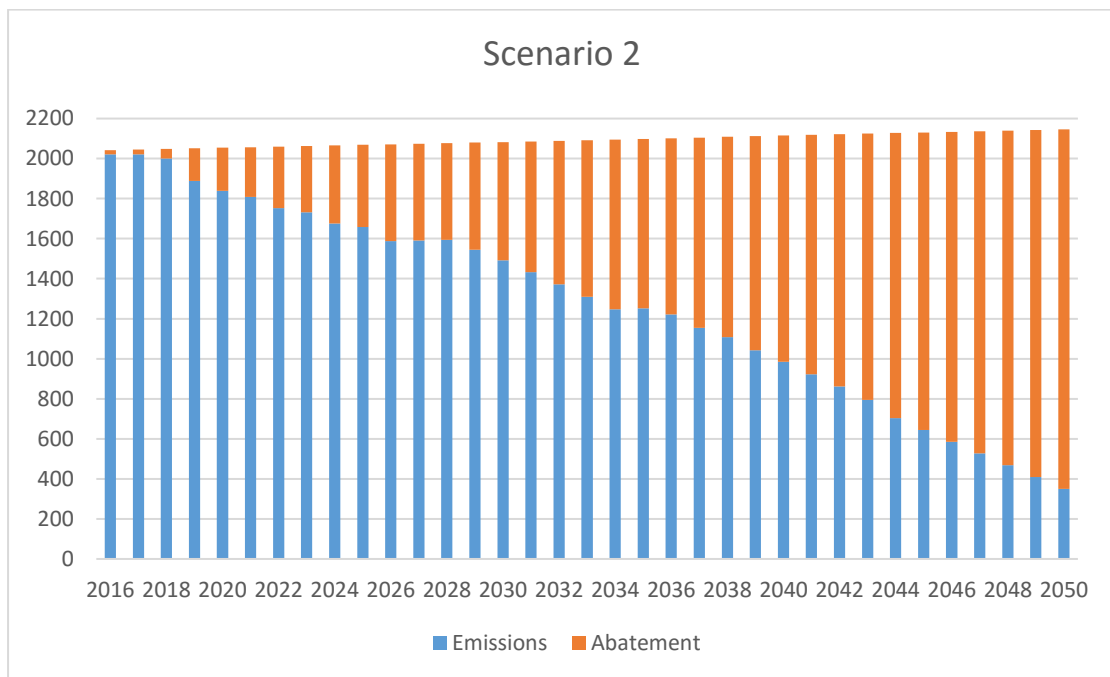


Figure 122 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια $tn\ CO_2eq$

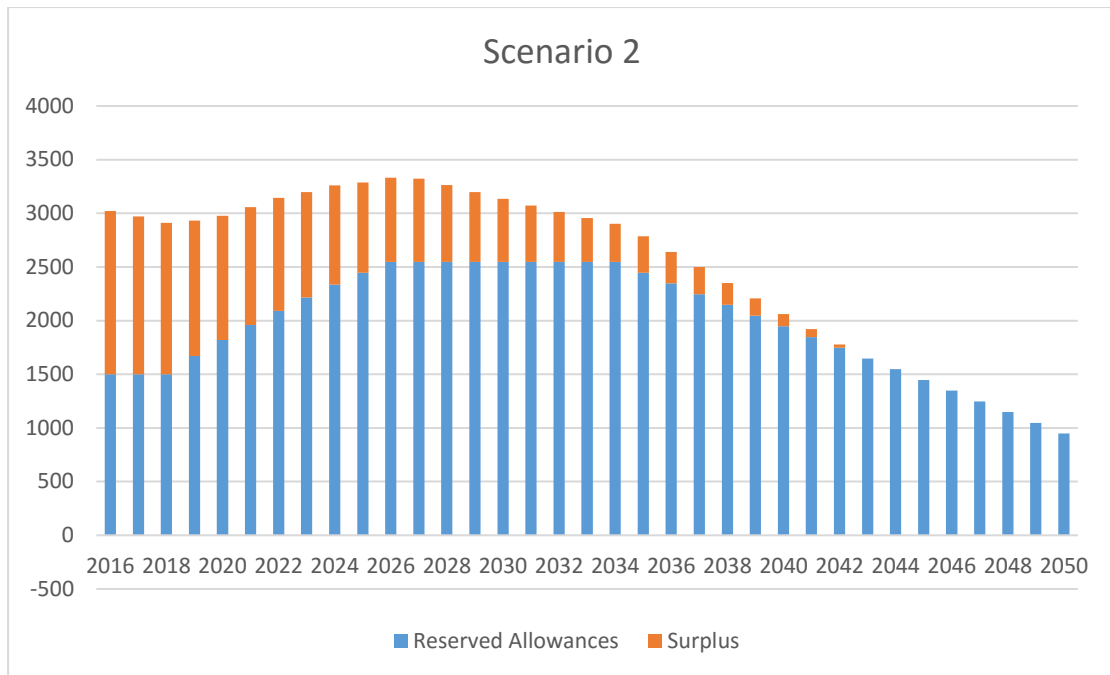


Figure 123 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια.

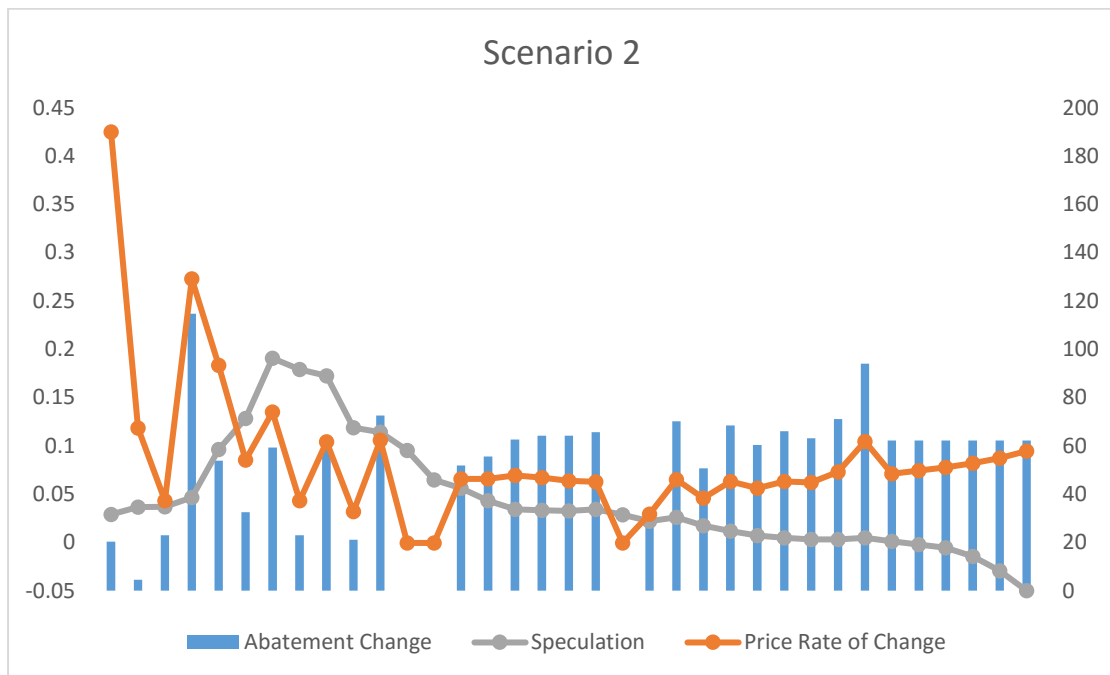


Figure 124 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία. Με Μπλε χρώμα και Γκρι απεικονίζονται και βαθμονομούνται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών και ο αριθμός των αδειών που αγοράστηκαν για κερδοσκοπία και αναλογούν σε εκατομμύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

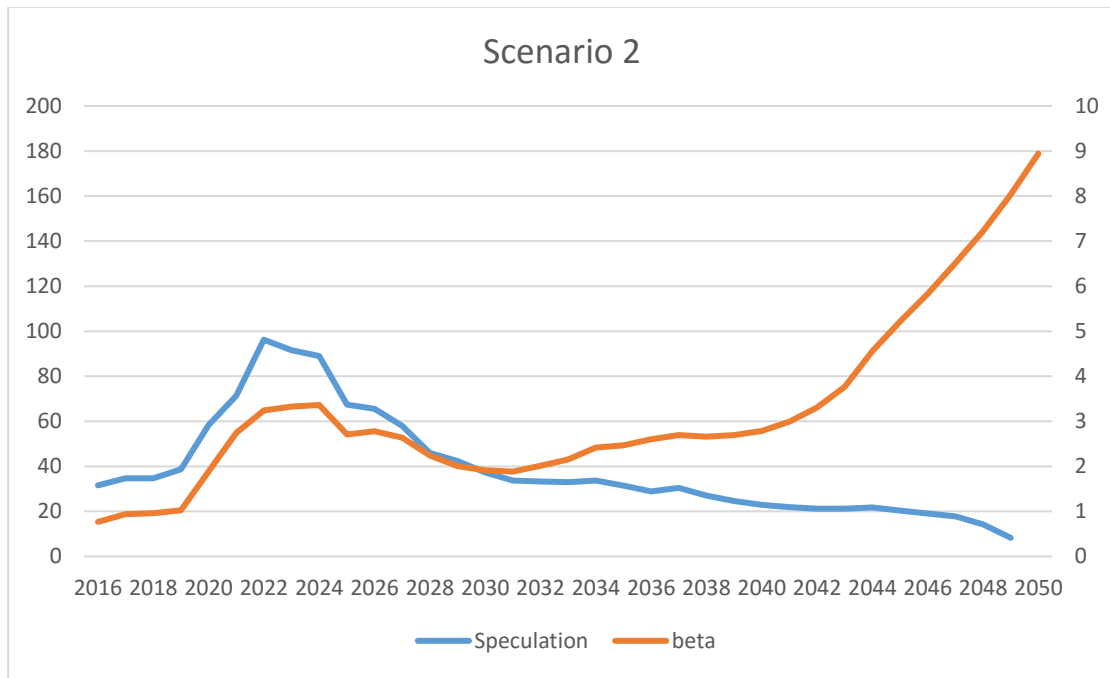


Figure 125 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης (beta) που προκύπτει ετησίως και εξετάζει τα 10 τελευταία χρόνια εφαρμογής του EU ETS. Η κερδοσκοπία αναφέρεται σε εκατομμύρια άδειες ενώ το beta είναι καθαρός αριθμός.

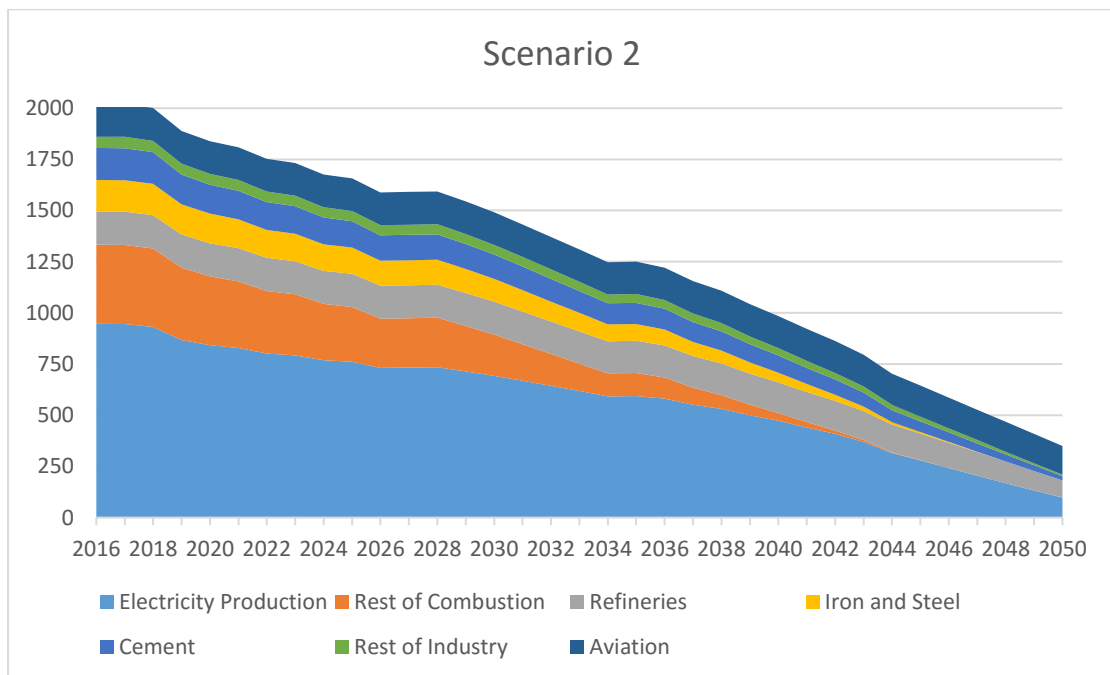


Figure 126 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO2 eq

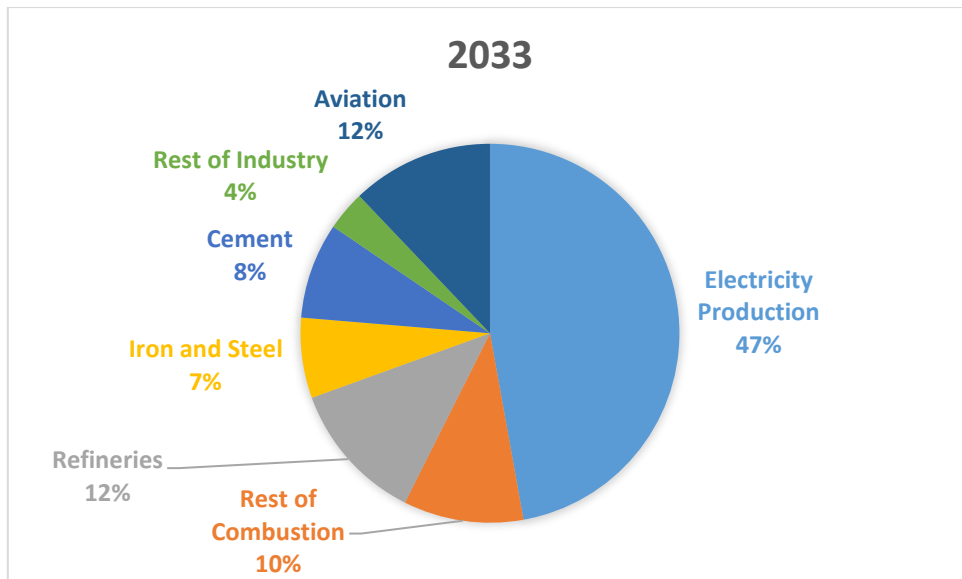


Figure 127 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

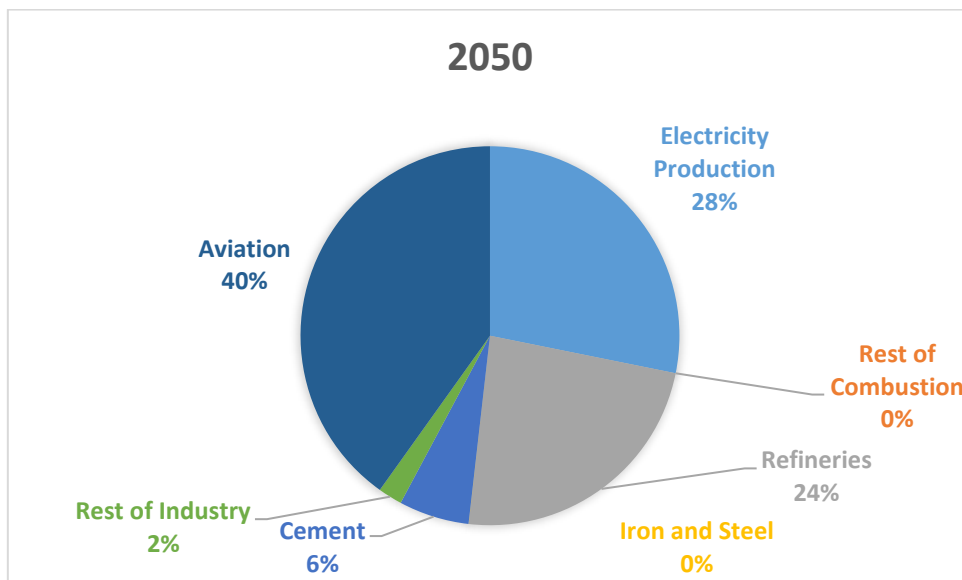


Figure 128 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

5.2.3 Adjusted Decarbonisation Σενάριο

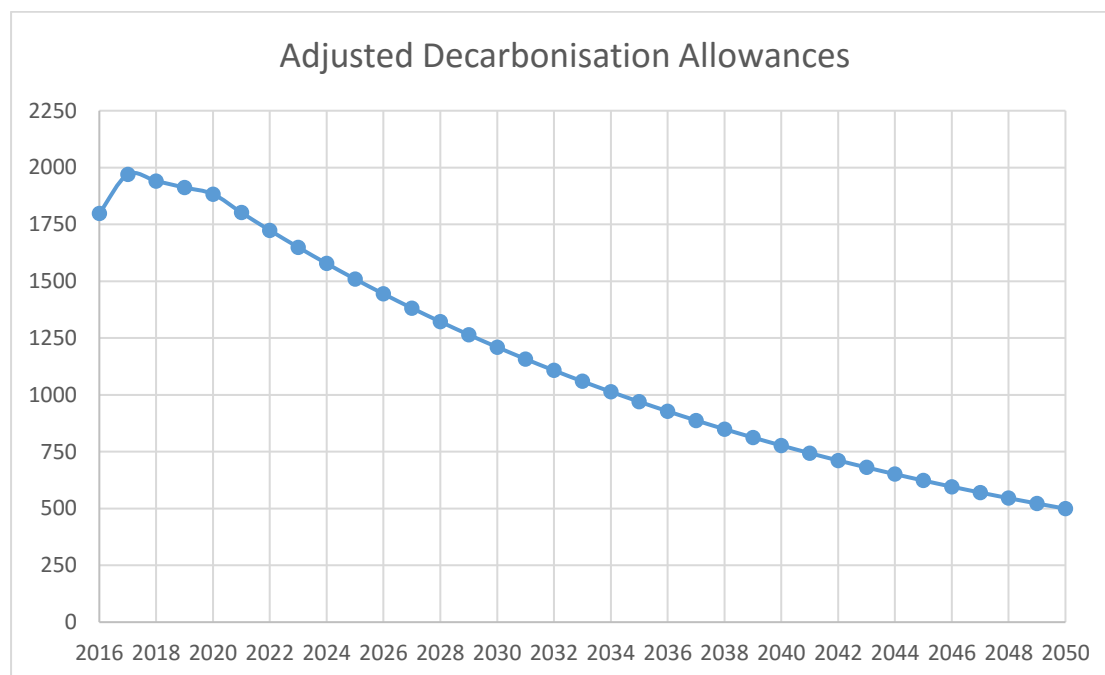


Figure 129 Σενάριο εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς.

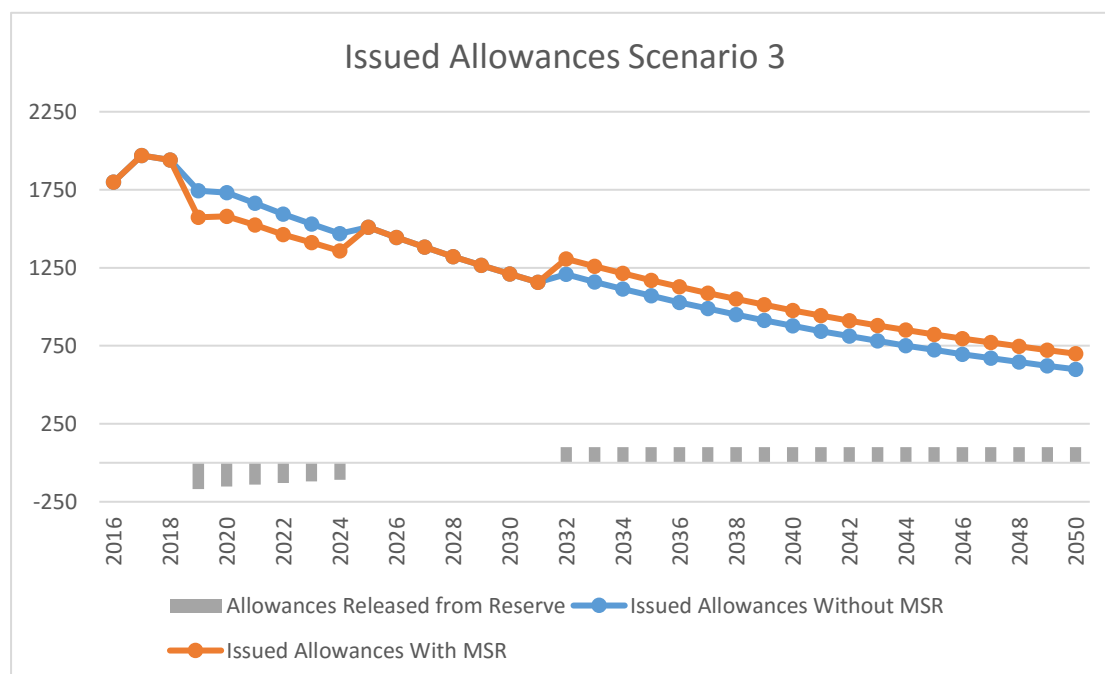


Figure 130 Οι άδειες που εκδίδονται ετησίως σε εκατομμύρια (Πορτοκαλί χρώμα) ισούνται με το άθροισμα των αδειών που είναι προγραμματισμένο να εκδοθούν (Μπλε χρώμα) συν τις άδειες που απορροφώνται ή απελευθερώνονται από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς (Γκρι χρώμα).

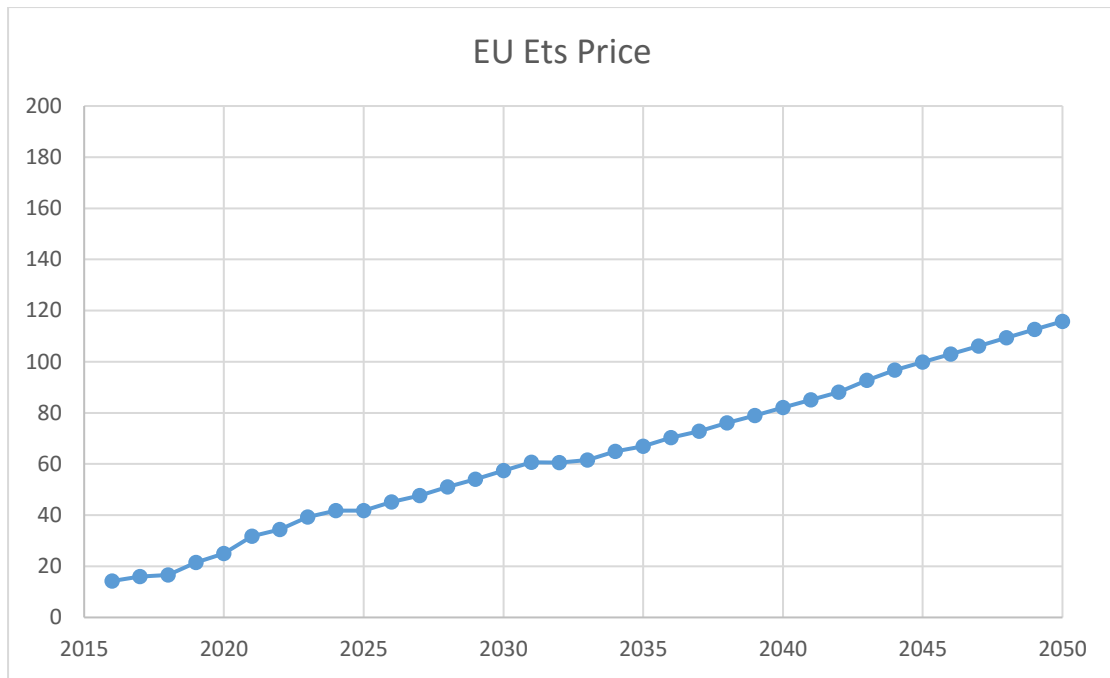


Figure 131 Η Τιμή των Αδειών από το 2015 έως το 2050 όπως προβλέπεται από το Σενάριο αυτό σε €

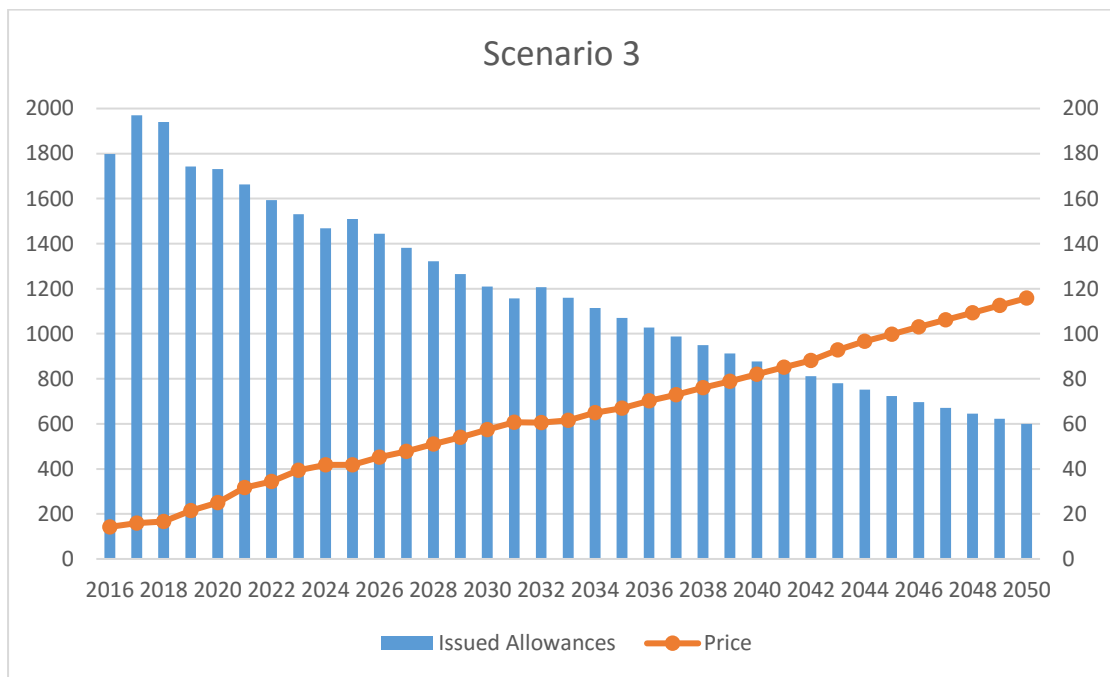


Figure 132 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τιμής του ETS με τις άδειες που εκδίδονται ετησίως. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται και βαθμονομείται στα αριστερά ο αριθμός των αδειών που εκδίδονται συμπεριλαμβανομένων των αδειών που απορροφώνται ή προστίθενται από το MSR σε εκατομύρια. Στα δεξιά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η Τιμή των αδειών σε €.

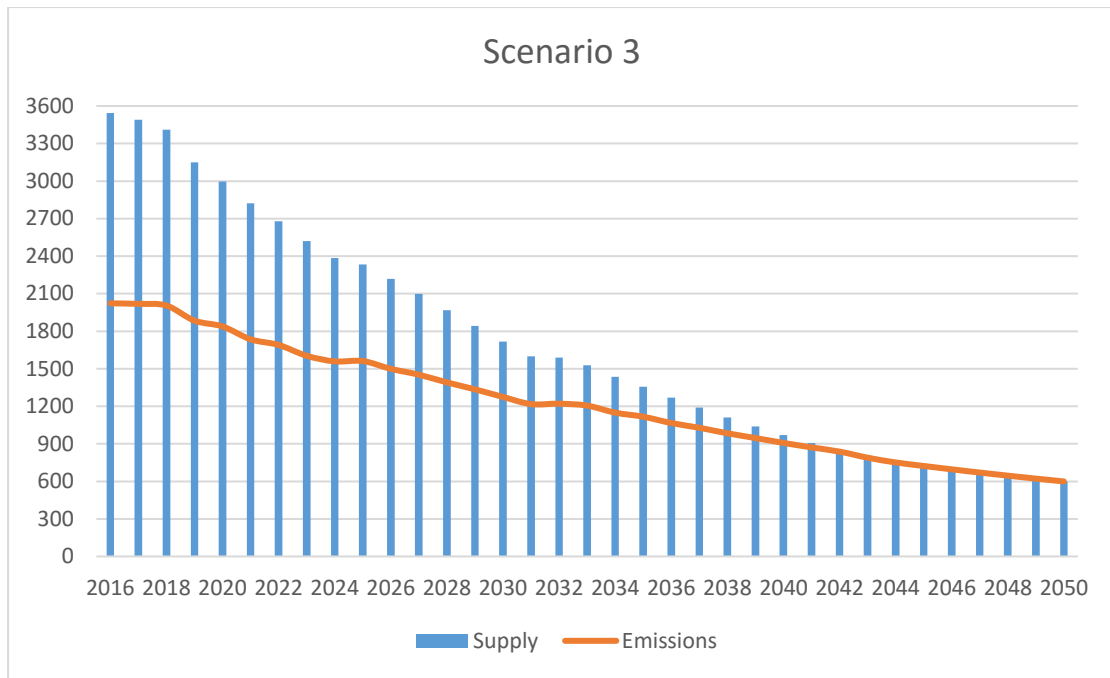


Figure 133 Με Μπλε απεικονίζεται η ετήσια Προσφορά των αδειών ενώ με Πορτοκαλί οι ετήσιες Εκπομπές σε εκατομμύρια tn CO2eq

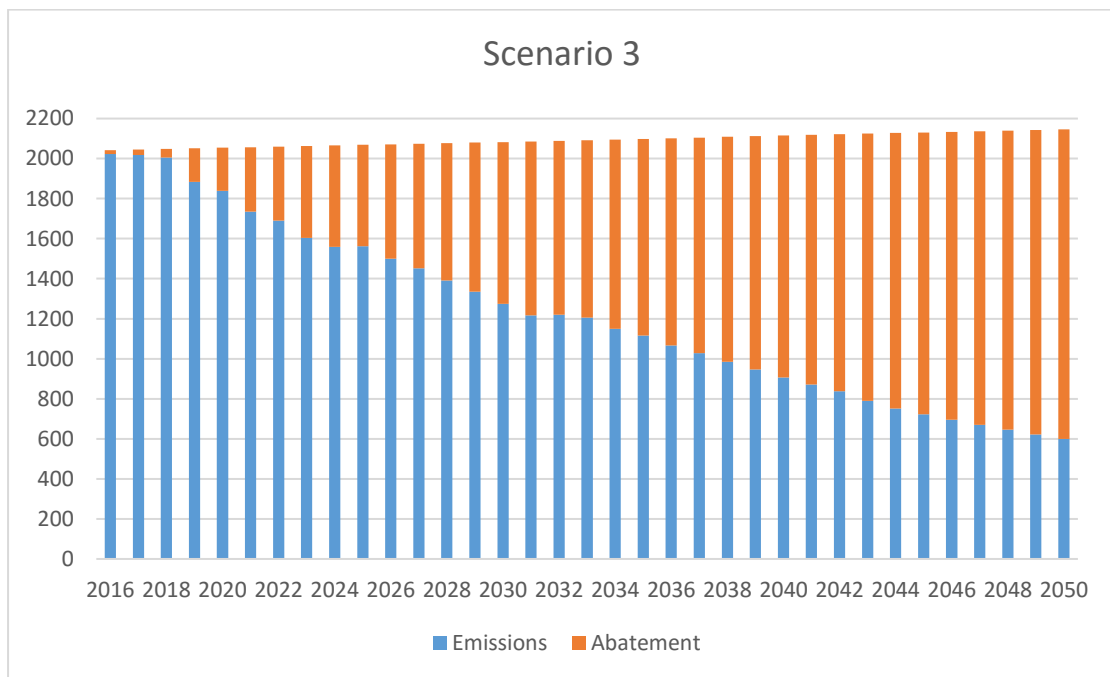


Figure 134 Οι αυξανόμενες ετησίως – συνοδεύοντας την αύξηση του ΑΕΠ – εκπομπές αν θεωρήσουμε μηδενική μόνιμη μείωση εκπομπών (Αθροιστική Καμπύλη) ισούνται με τις Ετήσιες Εκπομπές (Μπλε) συν τη συνολική Επένδυση για Μόνιμη Μείωση Εκπομπών σε εκατομμύρια tn CO2eq

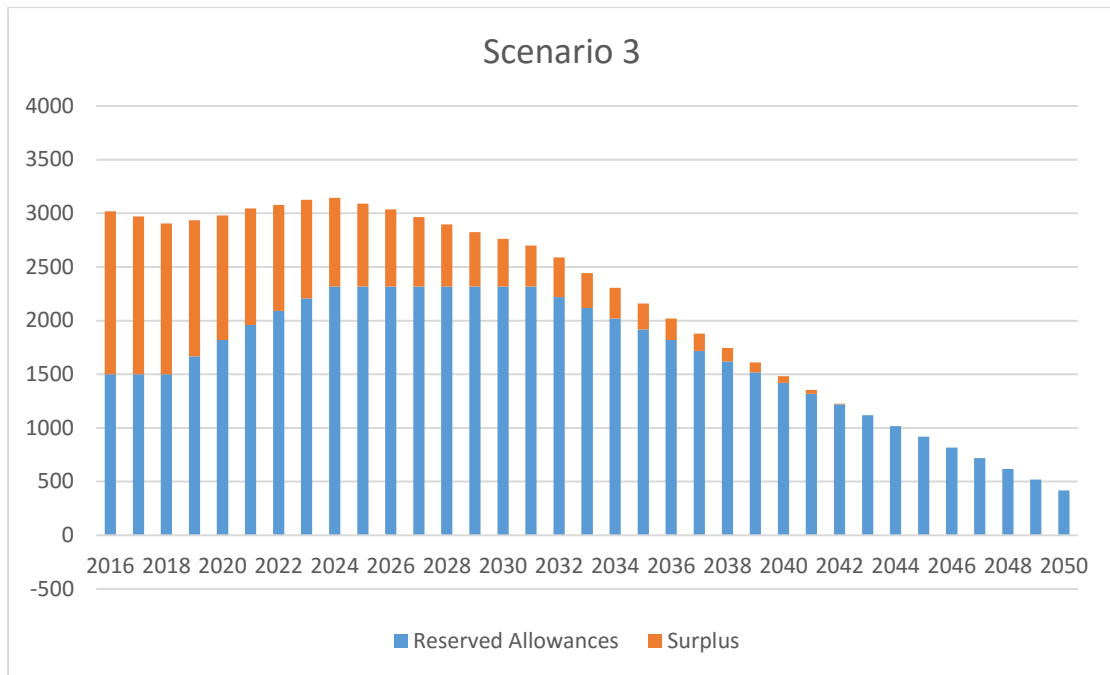


Figure 135 Συγκεντρωτικό διάγραμμα αδειών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ετησίως. Με Μπλε είναι οι άδειες που έχουν κρατηθεί στο Αποθεματικό, ενώ με Πορτοκαλί είναι το Πλεόνασμα των αδειών, δηλαδή οι άδειες που αποθηκεύονται από τους παραγωγούς ετησίως σε εκατομμύρια.

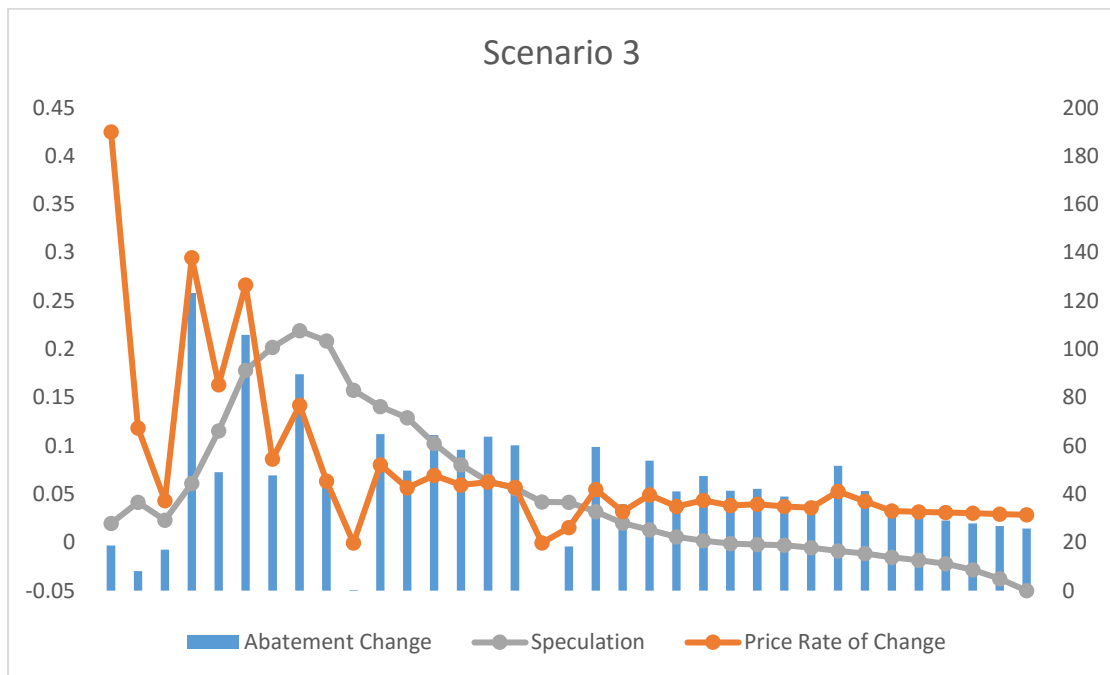


Figure 136 Ο ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής της Τιμής των αδειών σε σχέση με τη Μεταβολή της μόνιμης μείωσης εκπομπών και την κερδοσκοπία. Με Μπλε χρώμα και Γκρι απεικονίζονται και βαθμονομούνται στα Δεξιά η ετήσια Νέα Επένδυση για τη Μόνιμη Μείωση Εκπομπών και ο αριθμός των αδειών που αγοράστηκαν για κερδοσκοπία και αναλογούν σε εκατομμύρια τη CO₂ eq. Στα Αριστερά βαθμονομείται και απεικονίζεται με Πορτοκαλί χρώμα η ποσοστιαία αύξηση στην Τιμή των αδειών σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στο μοντέλο θεωρήθηκε τιμή αδειών για το 2015 10€.

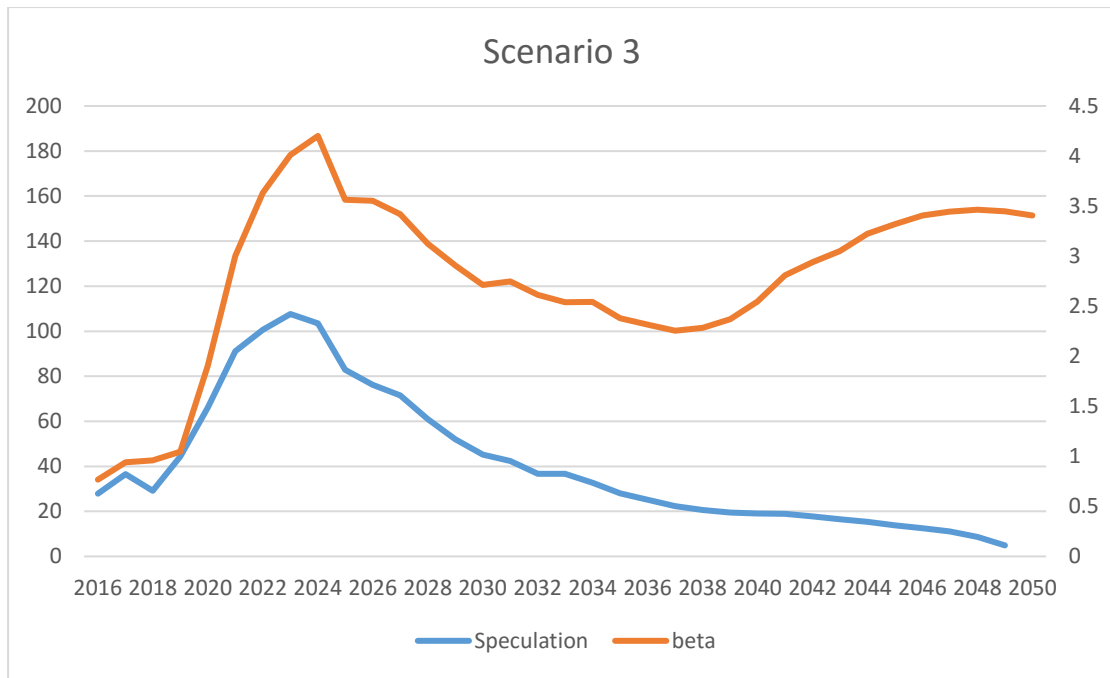


Figure 137 Συγκριτικό Διάγραμμα Συνολικής Κερδοσκοπίας των παραγωγών σε σχέση με την Κλίση της Γραμμικής Παλινδρόμησης (beta) που προκύπτει ετησίως και εξετάζει τα 10 τελευταία χρόνια εφαρμογής του EU ETS. Η κερδοσκοπία αναφέρεται σε εκατομμύρια άδειες ενώ το beta είναι καθαρός αριθμός.

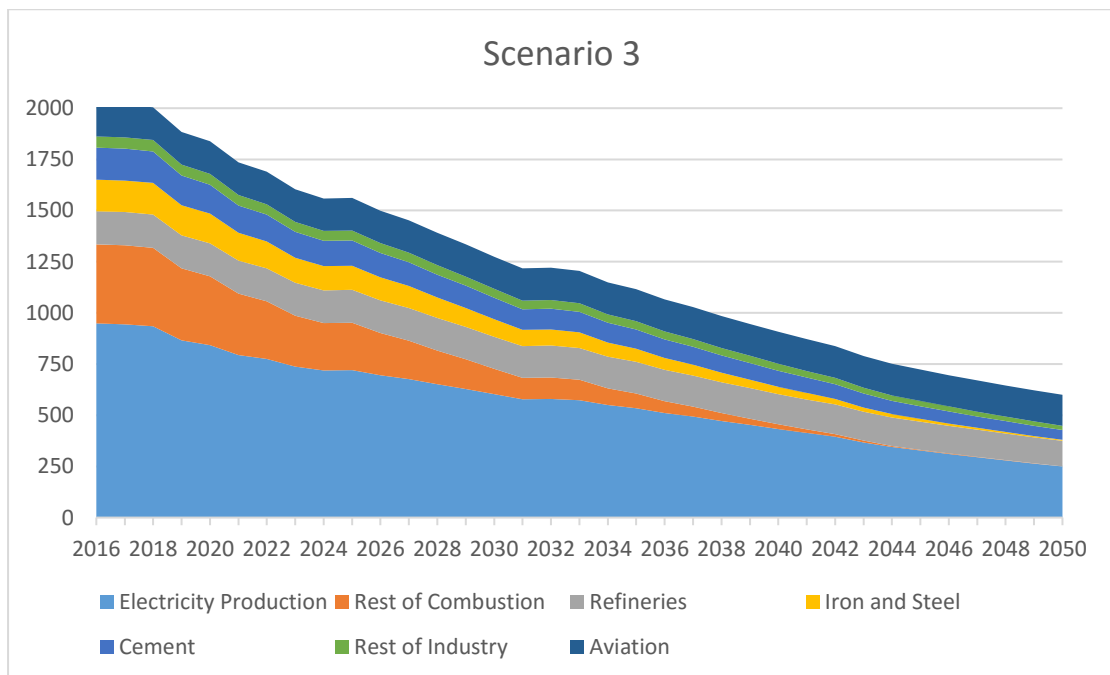


Figure 138 Οι ετήσιες Εκπομπές που αναλογούν σε κάθε Βιομηχανικό τομέα σε τη CO2 eq

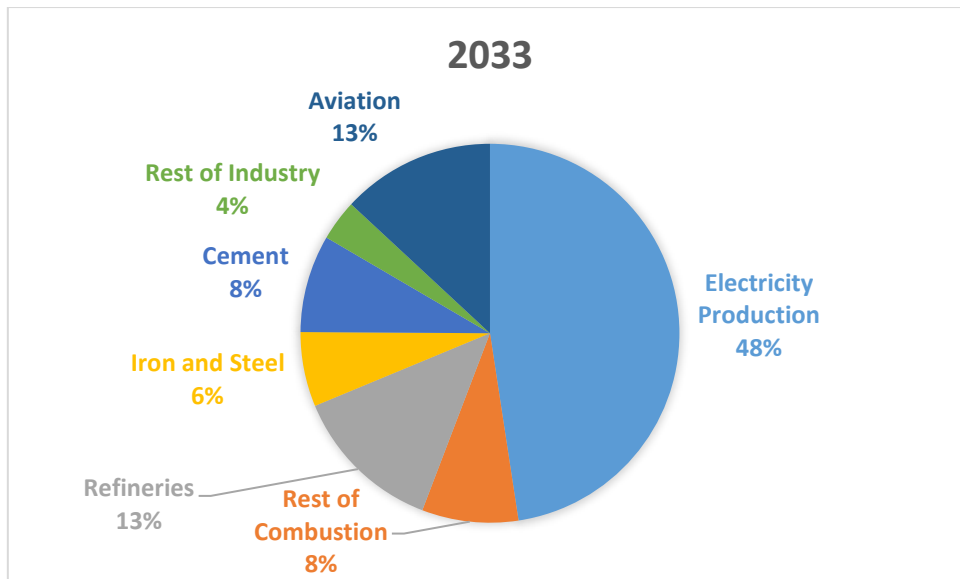


Figure 139 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2033

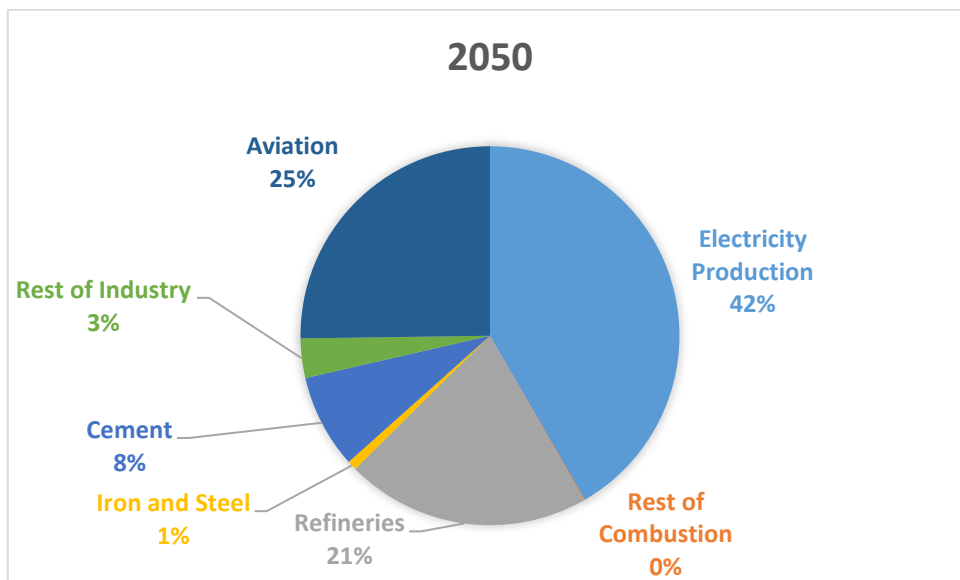


Figure 140 Το μερίδιο των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα και Ισοδυνάμων του που αναλογεί σε κάθε Βιομηχανικό Τομέα για το 2050

6. Ανάλυση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων μοντέλου

Η βασική διαφορά στους δύο τρόπους επίλυσης έγκειται στις αντικειμενικές συναρτήσεις. Στην περίπτωση των δεδομένων εκπομπών, θεωρούμε εκπομπές οι οποίες θα προσεγγιστούν από τους παραγωγούς βέλτιστα. Έτσι η τιμή προκύπτει κυρίως βάσει των καμπυλών οριακού κόστους για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών. Όσον αφορά στον τρόπο επίλυσης των ανεξάρτητων στρατηγικών, οι παραγωγοί αποφασίζουν ατομιστικά, αγοράζοντας ή πουλώντας άδειες. Η κερδοσκοπία και η αύξηση των επενδύσεων για μόνιμη μείωση εκπομπών, εκτινάσσουν ή μειώνουν την τιμή, όταν οι παραγωγοί προβλέπουν αύξηση ή σταθεροποίηση της τιμής στο μέλλον.

Οι διαφορές των σεναρίων που αναφέρονται παραπάνω είναι εμφανείς στα αποτελέσματα ως εξής:

- Τα σεναρία εκπομπών εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις καμπύλες οριακού κόστους για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών και χαρακτηρίζονται από μικρές διαφορές στις εκπομπές των 2 σεναρίων τους ανά περίπτωση. Αυτό συνεπάγεται ότι τα σεναρία θα παίρνουν παρόμοιες τιμές σε κάθε τρέξιμο του μοντέλου. Ακόμα, εξαιτίας του ότι οι δοθείσες εκπομπές καθορίζουν τη ζήτηση των παραγωγών, οποιοδήποτε πλεόνασμα αδειών αποθηκεύεται από τους παραγωγούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη αποθηκευμένων αδειών και για μετά το 2050.
- Στα σεναρία στρατηγικών των παραγωγών οι παραγωγοί αποφασίζουν ξεχωριστά για τις εκπομπές τους βάσει προβλέψεων οι οποίες μεν επηρεάζονται με κανονική κατανομή, αλλά σε κάποιο βαθμό είναι κοινές. Έτσι, όταν εμφανίζεται έλλειμα αδειών εμφανίζονται υψηλές τιμές οι οποίες λόγω της μεθόδου πρόβλεψης των παραγωγών ενισχύονται αφού οι παραγωγοί σπεύδουν να κερδοσκοπήσουν ή να μειώσουν μόνιμα τις εκπομπές τους, λόγω της αβεβαιότητας των τιμών που έρχονται. Έτσι, οι τιμές που προκύπτουν από τα σεναρία αυτά αντιδρούν περισσότερο σε αύξηση των τιμών, ενισχύοντάς τις σε κάποιο βαθμό. Τα επόμενα χρόνια σταθεροποιούνται λόγω της υψηλής επένδυσης για μόνιμη μείωση εκπομπών που φέρει μια ξαφνική αύξηση των τιμών, μέχρι να εμφανιστεί το επόμενο στην αγορά το επόμενο έλλειμα.

6.1 Baseline Σενάρια

Και τα τρία σενάρια προβλέπουν σχεδόν σταθερή αύξηση της τιμής των αδειών, η οποία φτάνει τα 80€ για το 2050 γεγονός που οφείλεται στον παρεμφερή αριθμό εκπομπών.

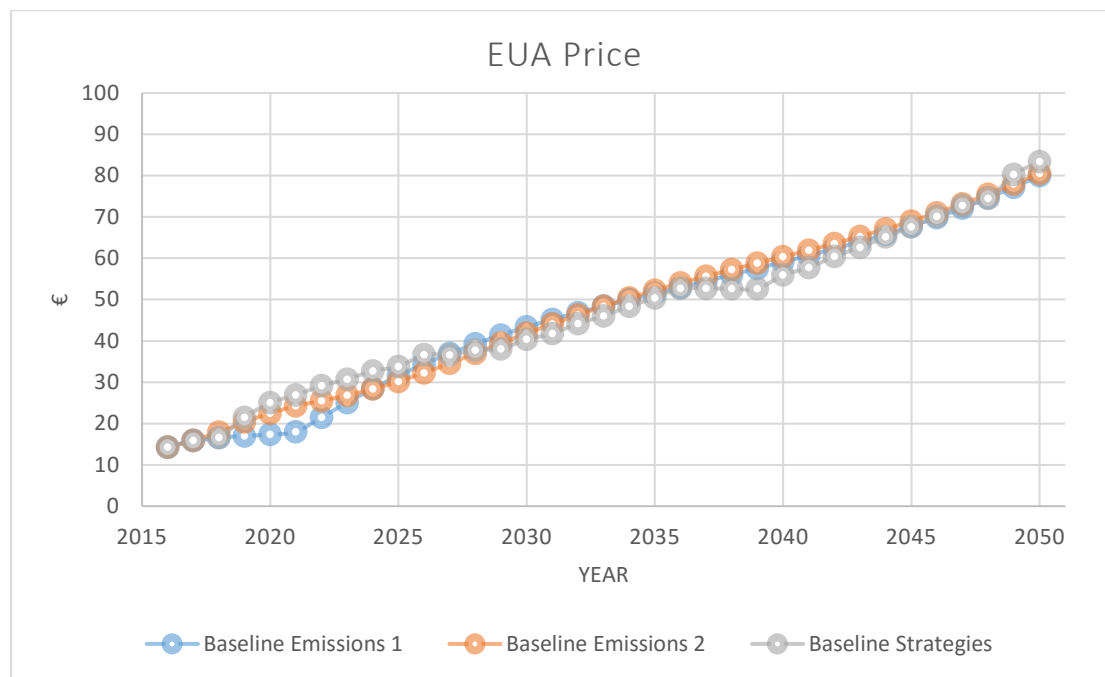


Figure 141 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Baseline σε €

Η κύρια διαφορά μεταξύ των σεναρίων εκπομπών έγκειται στις σχετικά υψηλότερες αρχικές εκπομπές για το 1^ο Baseline σενάριο σε σχέση με το 2^ο, γεγονός που δεδομένης της χρονολογίας συνεπάγεται χαμηλότερο αριθμό αδειών στο MSR, που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη προσφορά αδειών στις αρχικές περιόδους και άρα χαμηλότερη τιμή. Στη συνέχεια όμως η ανάγκη για μείωση εκπομπών είναι ακόμα μεγαλύτερη γεγονός που οδηγεί τις τιμές υψηλότερα.

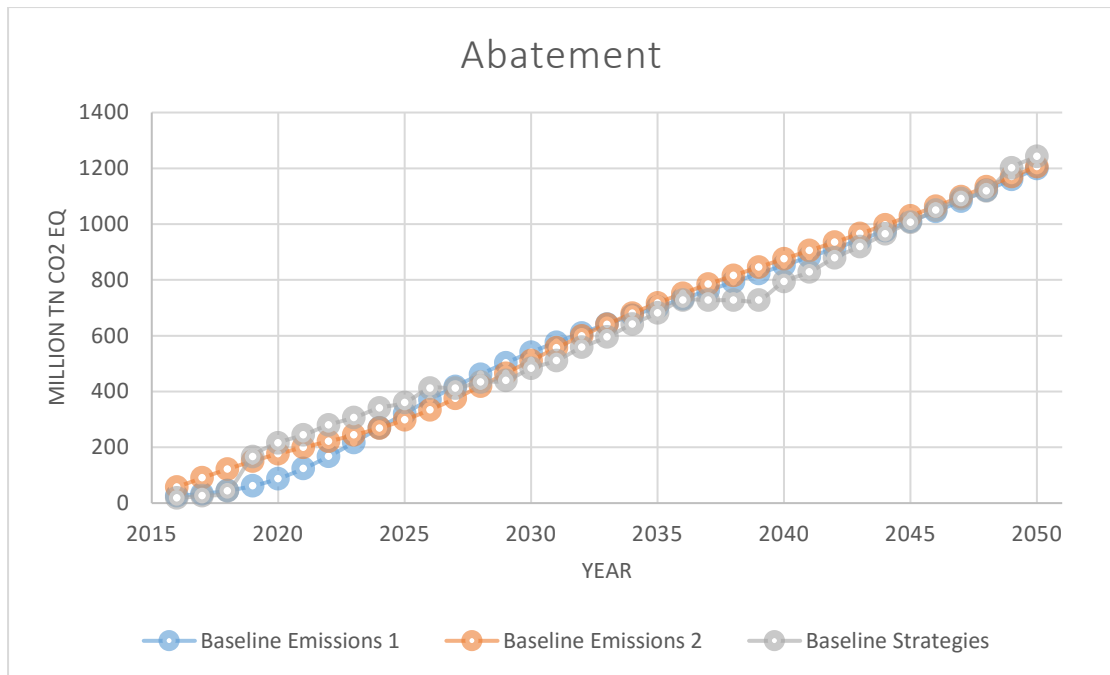


Figure 142 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Baseline σε εκατομμύρια tn CO₂ eq

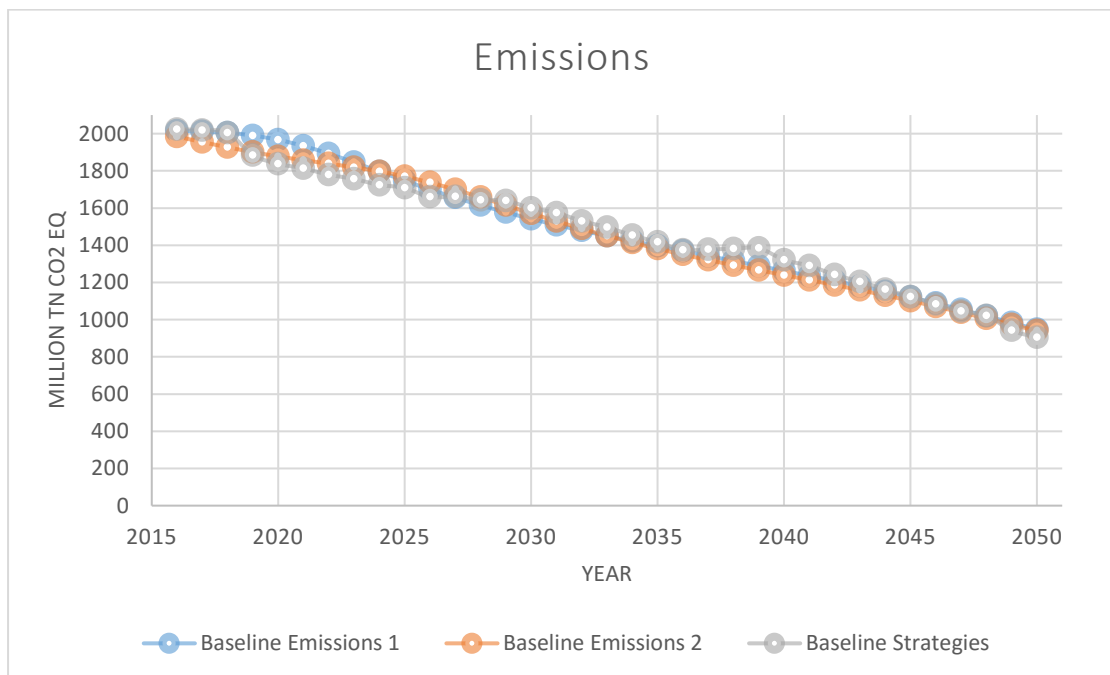


Figure 143 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Baseline σε εκατομμύρια tn CO₂ eq

Όσον αφορά στο σενάρια στρατηγικών των παραγωγών, η τιμή, άρα και η μόνιμη μείωση εκπομπών, μεταβάλλονται αρκετά πιο απότομα σε σχέση με των άλλων δύο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι παραγωγοί αντιδρούν μαζικά στις περιπτώσεις που «βλέπουν» υψηλή μεταβολή στις τιμές και προχωρούν σε υψηλότερη μόνιμη μείωση εκπομπών και κερδοσκοπία. Για παράδειγμα, η χρονιά που έχουμε τη μεγαλύτερη μεταβολή στην τιμή είναι το 2019 όπου ξεκινάει και το MSR. Το έτος αυτό εισάγονται στην αγορά περίπου 200 εκατομμύρια άδειες λιγότερες από την προηγούμενη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της τιμής η οποία κάνει ελκυστική την επένδυση σε μόνιμη μείωση εκπομπών ενώ ταυτόχρονα, ο μεγαλύτερος αριθμός των παραγωγών προβλέπει ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των τιμών στα επόμενα χρόνια, γεγονός που τους οδηγεί σε μεγαλύτερη ζήτηση αδειών για κερδοσκοπία. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια τεχνητά υψηλή τιμή, της οποίας η αύξηση σταθεροποιείται τα επόμενα χρόνια, μέχρι να εμφανιστεί η επόμενη αποσταθεροποίηση της τιμής το 2037 η οποία αυξάνει τον αριθμό των αδειών στην αγορά λόγω του MSR και προκαλεί μείωση των επενδύσεων σε τιμές κοντά στο 0 για τα επόμενα 2 χρόνια.

6.2 Decarbonisation Σενάρια

Εδώ όπως και στα παραλλαγμένα σενάρια απαλλαγής από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που ακολουθούν, εμφανίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τρόπων επίλυσης.

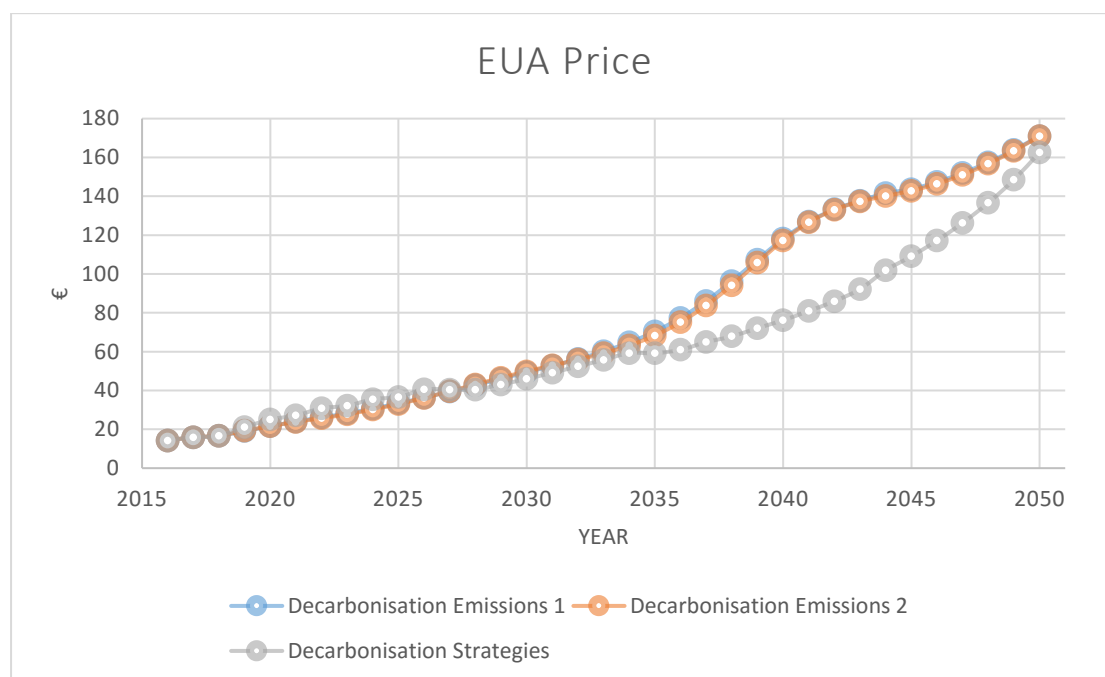


Figure 144 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Decarbonisation σε €

Από τη μια πλευρά οι σχεδόν παρόμοιες εκπομπές των σεναρίων 1 και 2 των εκπομπών τις κάνουν να ακολουθούν σχεδόν ίδια τιμή για τον πρώτο τρόπο επίλυσης. Η σημαντική διαφορά στην τιμή μεταξύ των δύο τρόπων επίλυσης εξηγείται στη συνέχεια.

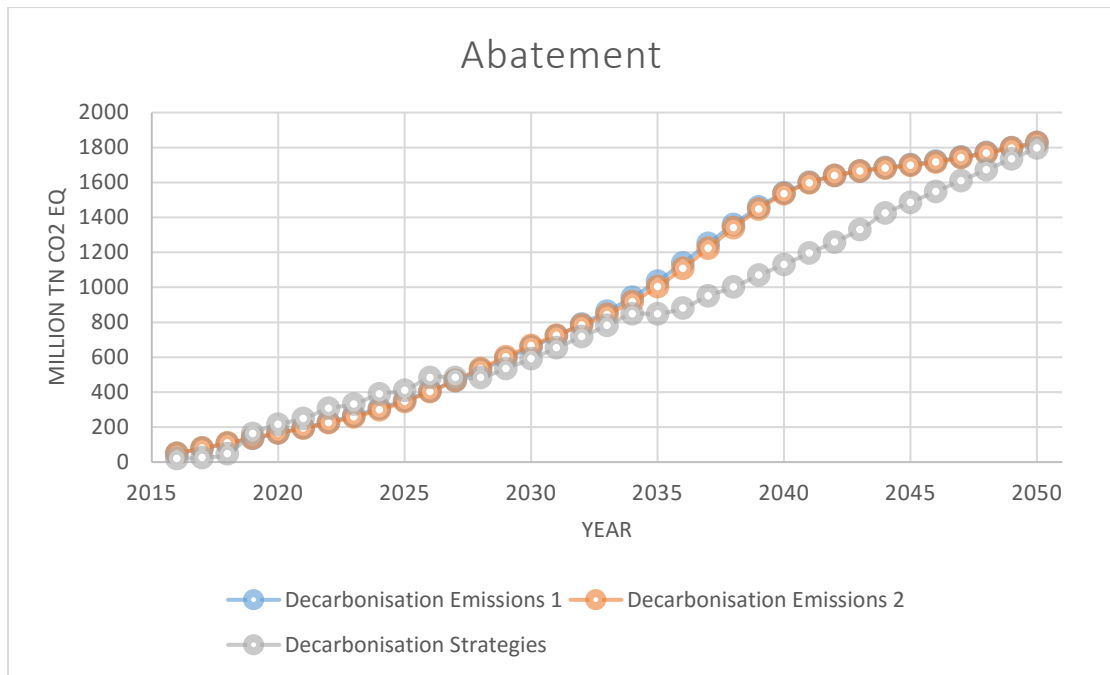


Figure 145 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Decarbonisation σε εκατομμύρια tn CO2 eq

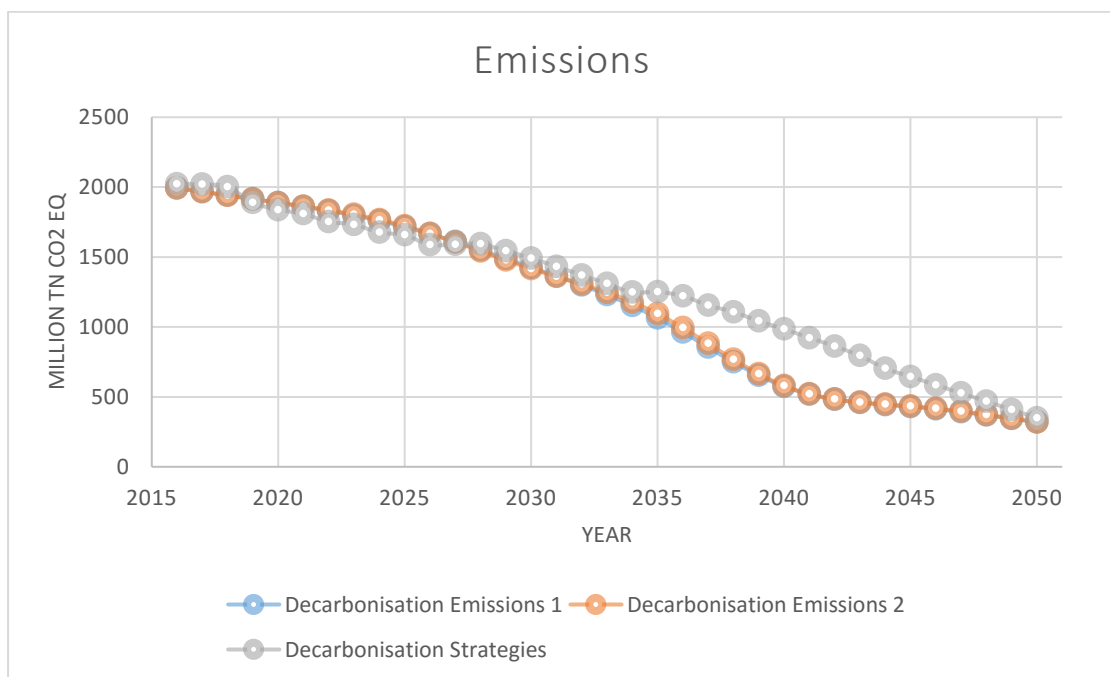


Figure 146 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Decarbonisation σε εκατομμύρια tn CO2 eq

Για να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός που δημιουργεί τη διαφορά αυτή στις εκπομπές και τις τιμές των δύο τρόπων επίλυσης απαιτείται το ακόλουθο διάγραμμα.

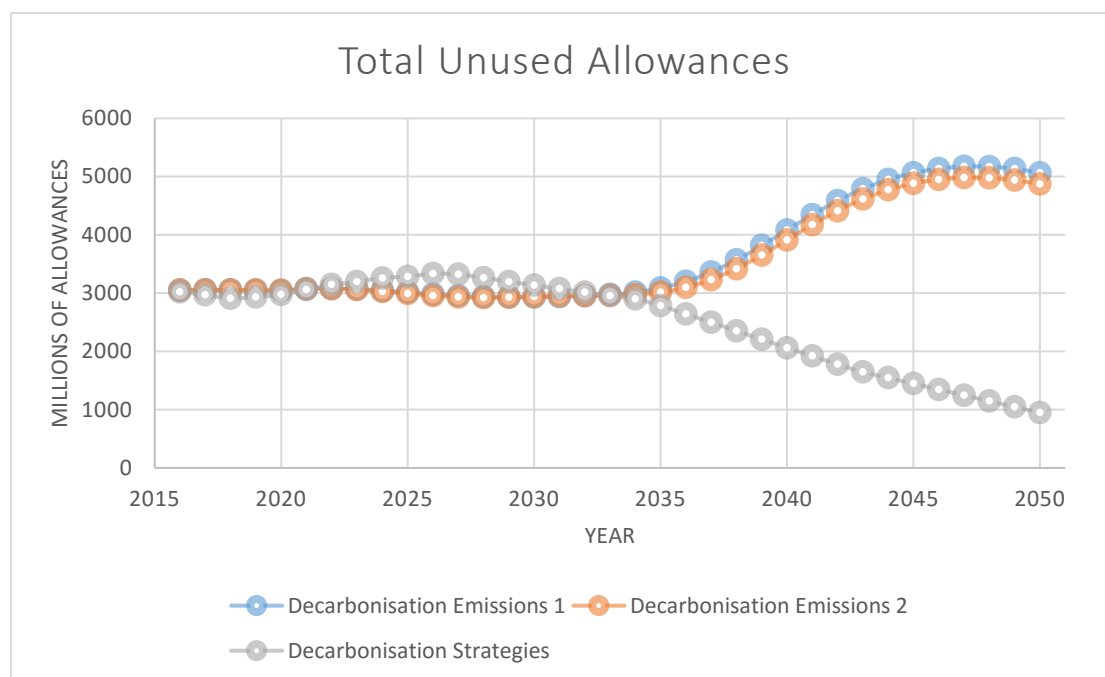


Figure 147 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και δεν χρησιμοποιούνται για τα σενάρια Decarbonisation. Οι άδειες αυτές είτε είναι αποθηκευμένες από τους παραγωγούς, ή είναι δεσμευμένες από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς.

Στο διάγραμμα αυτό είναι φανερό ότι η περίπτωση με τις δεδομένες εκπομπές μεταθέτει ένα μεγάλο αριθμό αδειών στα επόμενα έτη. Το βασικό αίτιο του φαινομένου αυτού είναι ότι ο αριθμός των εκπομπών που δόθηκαν για τον τρόπο επίλυσης των δεδομένων εκπομπών δε συμβαδίζει με την αυξομείωση των αδειών στην αγορά λόγω του Αποθεματικού για τη Σταθερότητα της Αγοράς (MSR). Έτσι, λόγω των υπερβολικά χαμηλών εκπομπών συσσωρεύεται πλεόνασμα αδειών το οποίο ενεργοποιεί ξανά το μηχανισμό απορρόφησης του MSR. Στην περίπτωση του τρόπου επίλυσης των ανεξάρτητων στρατηγικών, δεδομένου ότι δεν είναι συμφέρον για τους παραγωγούς να αποθηκεύουν άδειες αφού το κόστος μείωσης των εκπομπών είναι υψηλό, μετά το πέρας της απορρόφησης του αποθεματικού οι εκπομπές σταματούν να μειώνονται και οι παραγωγοί χρησιμοποιούν το απόθεμά τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του μηχανισμού αποβολής αδειών στην αγορά από το αποθεματικό γεγονός το οποίο προκαλεί με τη σειρά του μείωση των τιμών των αδειών οι οποίες όσο περνούν τα χρόνια αυξάνονται ταχύτερα επειδή οι παραγωγοί δεν έχουν άδειες στα αποθεματικά τους και αναγκάζονται να εφαρμόζουν συνεχώς μόνιμη μείωση των εκπομπών.

6.3 Adjusted Decarbonisation Σενάρια

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια ο βασικός λόγος ύπαρξης του σεναρίου αυτού είναι η ισορροπία του ETS όσον αφορά στο MSR. Στο κεφάλαιο για την κατασκευή του σεναρίου αυτού, έγινε μία προσπάθεια μείωσης του πλεονάσματος των αδειών, μέσω της ρύθμισης του αριθμού των ετήσια εκδιδόμενων αδειών, γεγονός που αποτέλεσε μεγάλο πρόβλημα για τα σενάρια εκπομπών στην προηγούμενη ομάδα σεναρίων. Έτσι, για αυτή την ομάδα σεναρίων δημιουργήθηκε τεχνητό έλλειμμα αδειών στη μέση της περιόδου κρατώντας όμως σταθερό τον αριθμό των αδειών που θα εκδίδονταν συνολικά, γεγονός που συνεπάγεται ότι σε μεταγενέστερα έτη ο αριθμός των νέων αδειών θα είναι υψηλότερος σε σχέση με πριν όπως βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα.

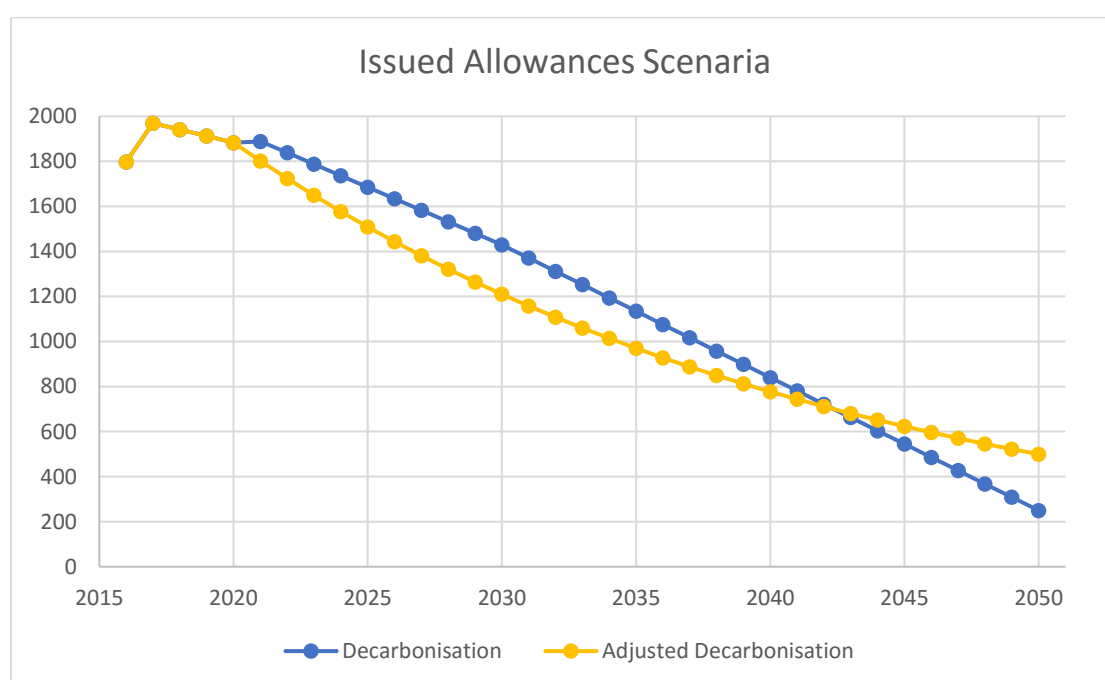


Figure 148 Ο αριθμός των εκδιδόμενων αδειών για τις περιόδους 2016 έως 2050 σε εκατομμύρια χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι άδειες που απελευθερώνονται ή απορροφώνται από το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς για τα δύο σενάρια απαλλαγής από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ισοδυνάμων του.

Εδώ, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι διαφορές μεταξύ των 2 τρόπων επίλυσης είναι εμφανείς. Οι άδειες που εκδίδονται χωρίς να ληφθεί υπόψιν το Αποθεματικό για τη Σταθερότητα της Αγοράς αφορούν κατά κύριο λόγο τα σενάρια εκπομπών αφού πάνω σε αυτά βασίστηκαν οπότε δεν περιμένουμε αντίστοιχη αντίδραση από τον τρόπο επίλυσης στρατηγικών.

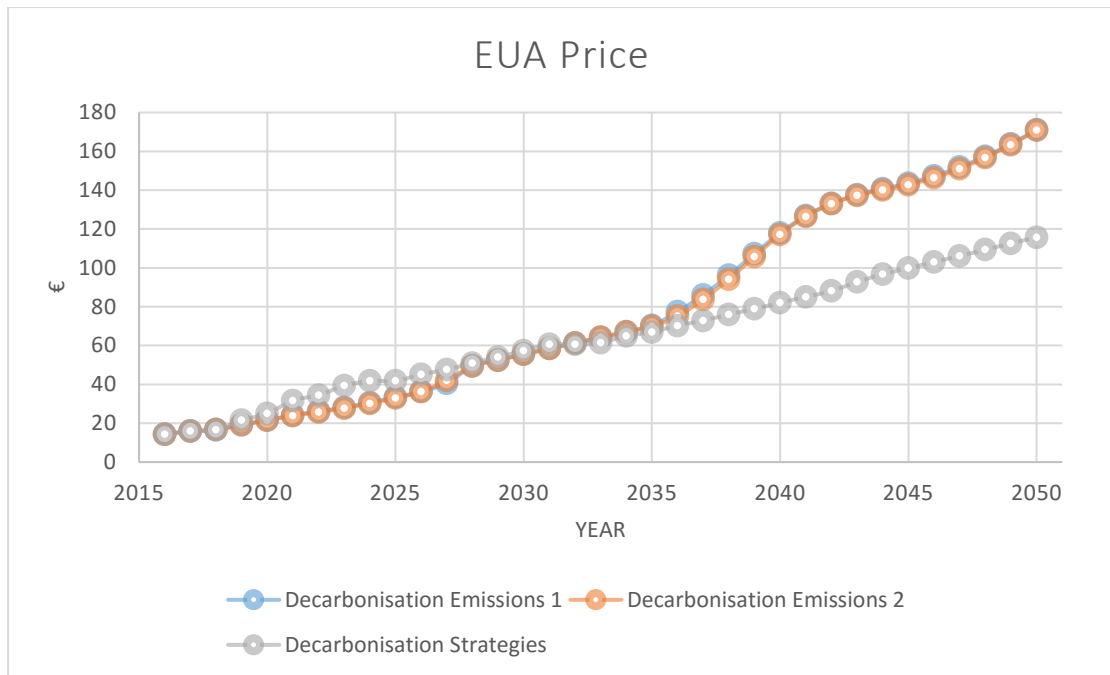


Figure 149 Συγκριτική καμπύλη των τιμών των αδειών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation σε €

Από τη μια πλευρά οι σχεδόν παρόμοιες εκπομπές των σεναρίων 1 και 2 των εκπομπών τις κάνουν να ακολουθούν σχεδόν ίδια τιμή για τον πρώτο τρόπο επίλυσης. Ακόμα, οι ίδιοι μηχανισμοί που προκάλεσαν τη διαφορά στις τελικές τιμές των αδειών πριν εμφανίζονται και σε αυτή την περίπτωση.

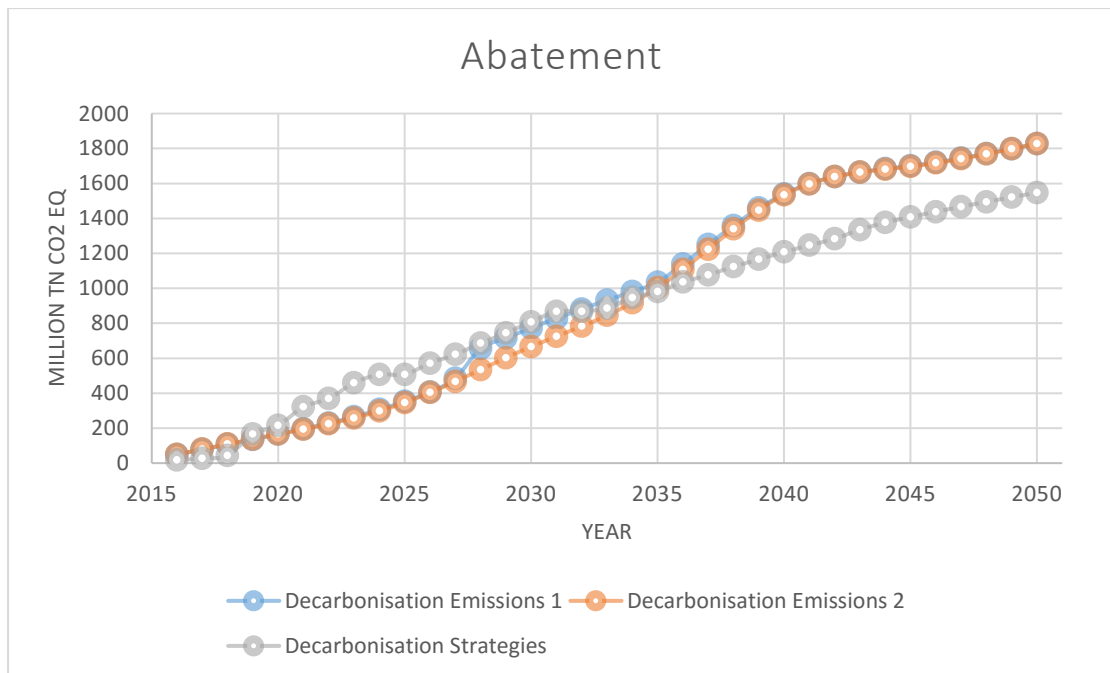


Figure 150 Συγκριτική καμπύλη της αθροιστικής μόνιμης μείωσης των εκπομπών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation σε εκατομμύρια tn CO2 eq

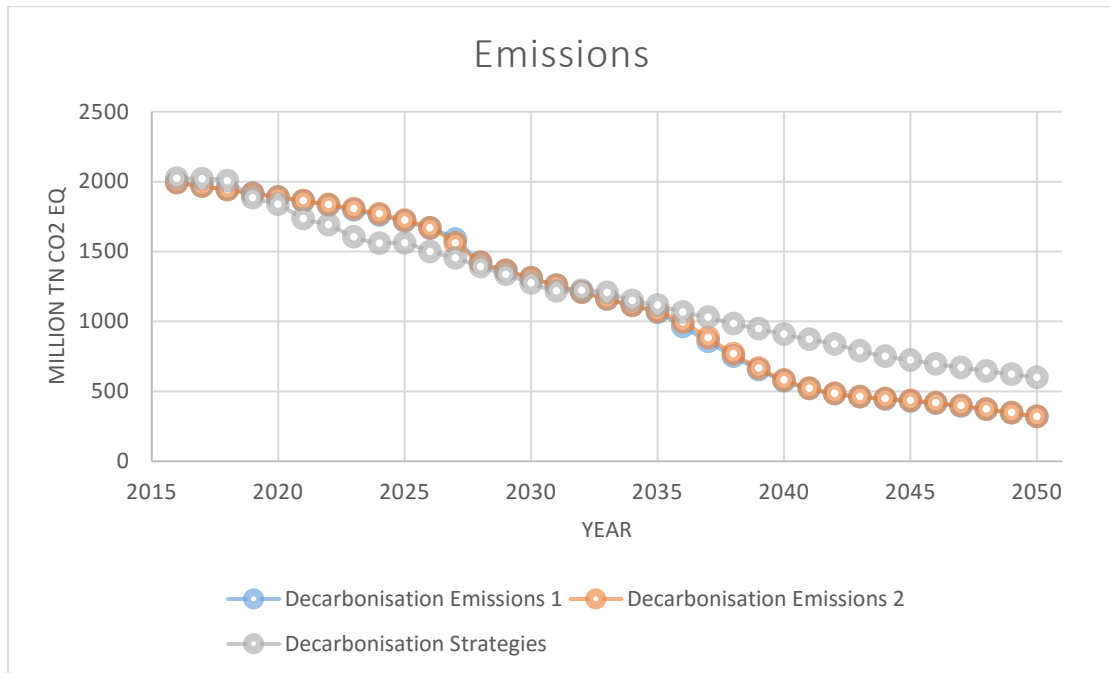


Figure 151 Συγκριτική καμπύλη ετήσιων εκπομπών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation σε εκατομμύρια tn CO2 eq

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι σημαντικό να δούμε τις συνέπειες της παραλλαγμένης έκδοσης αδειών για τα συγκεκριμένα σενάρια και κυρίως για αυτά των εκπομπών. Σε αυτό θα βοηθήσει το παρακάτω διάγραμμα.

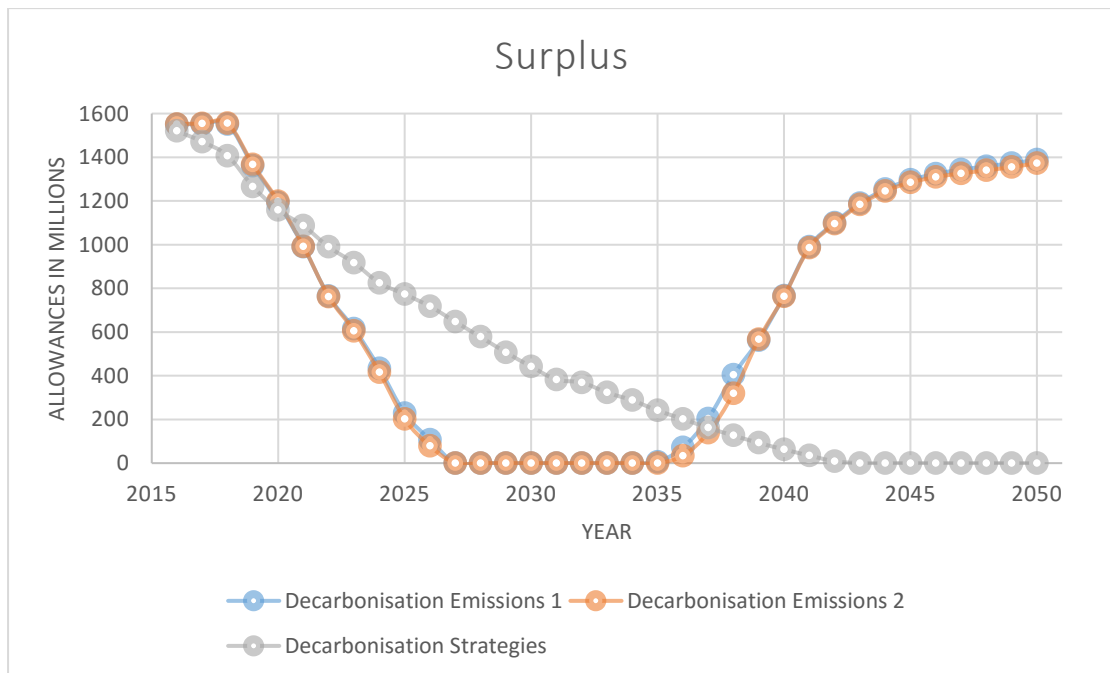


Figure 152 Συγκριτική καμπύλη του ετήσιου πλεονάσματος των αδειών για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.

Όπως είδαμε προηγουμένως, μειώνοντας τον αριθμό αδειών για δημοπρασία στη μέση της περιόδου, το πλεόνασμα για τα σενάρια εκπομπών τείνει στο μηδέν. Με τον τρόπο αυτό ενεργοποιείται το MSR προσθέτοντας νέες άδειες στην αγορά. Έτσι οι άδειες που αποθηκεύονται στο Αποθεματικό τα αρχικά έτη, απελευθερώνονται στο μέσο της περιόδου, ενώ αργότερα δεδομένων των μόνιμων μειώσεων εκπομπών που έχουν επιτευχθεί στο μέσο της περιόδου δημιουργείται πλεόνασμα το οποίο ενεργοποιεί με τη σειρά του την απορρόφηση του Αποθεματικού. Τελικά ο αριθμός των αδειών που εισέρχονται στο Αποθεματικό είναι σαφώς μεγαλύτερος από τον αριθμό που εξέρχονται από το αποθεματικό στα 2 σενάρια εκπομπών, αλλά σίγουρα μικρότερος σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια, φέρνοντας έτσι τη λεγόμενη Ισορροπία στο Σύστημα.

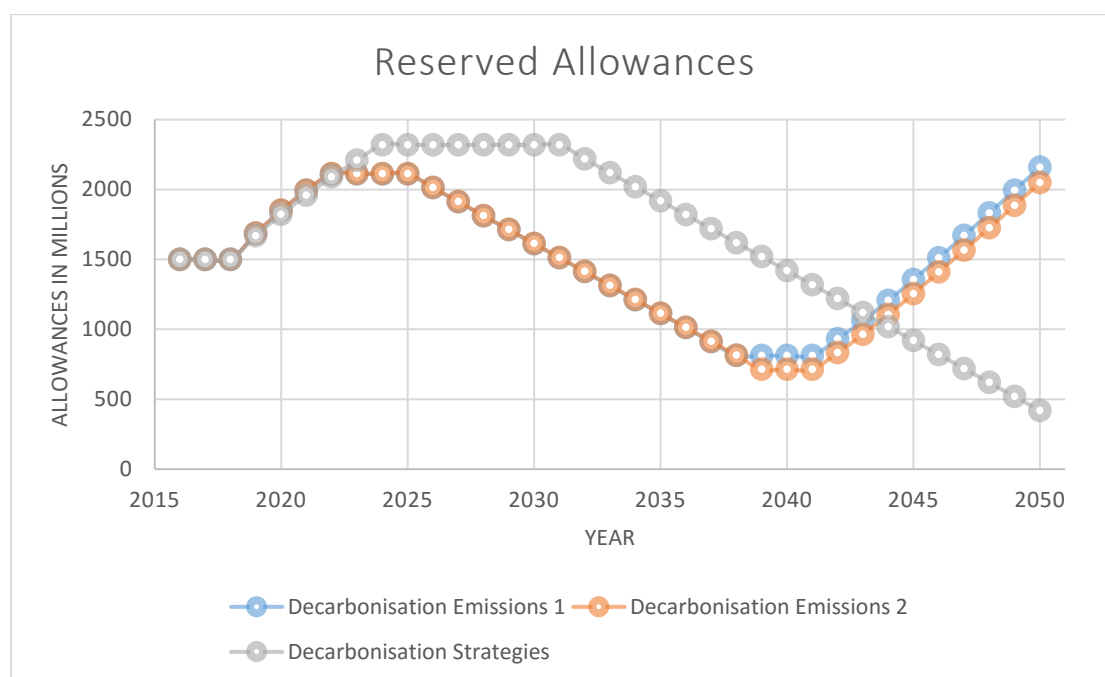


Figure 153 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και είναι δεσμευμένες από το Αποθεματικό για τη Σταθεροποίηση της Αγοράς για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation.

Παρόλα αυτά, οι εκπομπές και οι τιμές για το δεύτερο τρόπο επίλυσης παραμένουν χαμηλότερες. Οι μηχανισμοί στους οποίους οφείλεται αυτό είναι παρόμοιοι με τους προηγούμενους.

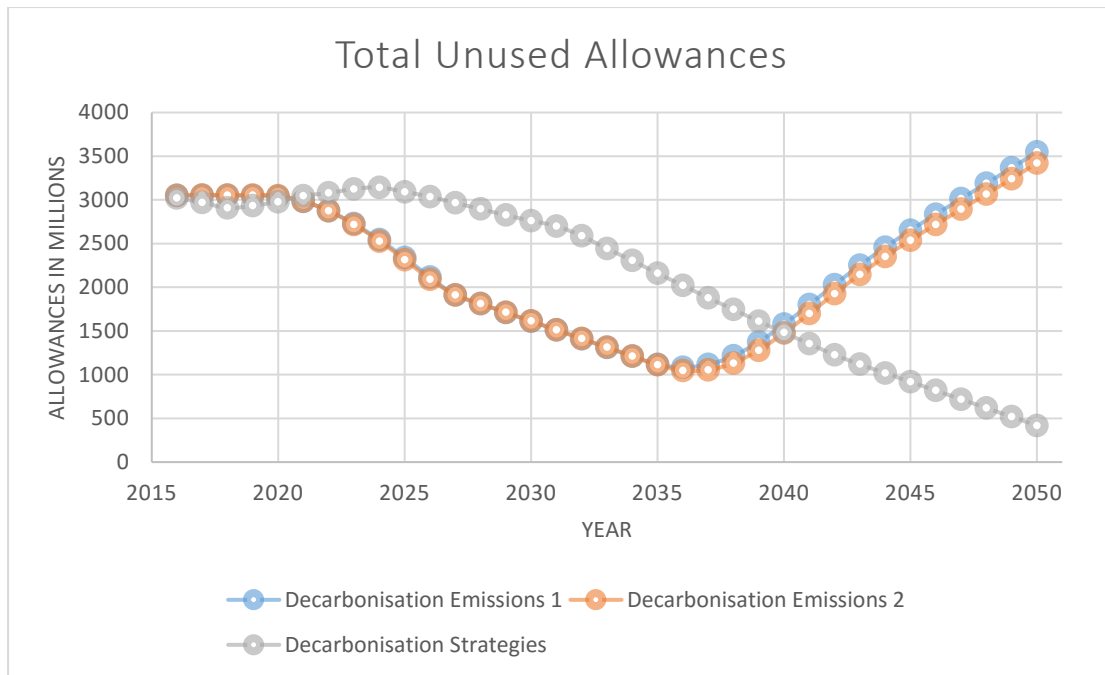


Figure 154 Συγκριτική καμπύλη των αδειών που έχουν εκδοθεί και δεν χρησιμοποιούνται για τα σενάρια Adjusted Decarbonisation. Η καμπύλη αυτή αποτελεί το αλγεβρικό άθροισμα των καμπυλών των δύο παραπάνω διαγραμμάτων.

Στο παραπάνω διάγραμμα, είναι φανερό ότι η περίπτωση με τις δεδομένες εκπομπές μεταθέτει ένα μεγάλο αριθμό αδειών στα επόμενα έτη, γεγονός που γιγαντώνεται από τη στιγμή που το πλεόνασμα αυξάνεται. Λόγω χαμηλών εκπομπών συσσωρεύεται πλεόνασμα αδειών το οποίο ενεργοποιεί ξανά το μηχανισμό απορρόφησης του MSR. Στην περίπτωση του τρόπου επίλυσης των ανεξάρτητων στρατηγικών, μετά το πέρας της απορρόφησης του αποθεματικού οι εκπομπές μειώνονται σταθερά και οι παραγωγοί χρησιμοποιούν το απόθεμά τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του μηχανισμού αποβολής αδειών στην αγορά από το αποθεματικό γεγονός το οποίο προκαλεί με τη σειρά του μείωση των τιμών των αδειών. Στην περίπτωση αυτή το γεγονός ότι έχουμε σταδιακή μείωση των αδειών με χαμηλότερο βαθμό σε σχέση με την προηγούμενη οδηγεί σε σταθερότερη τιμή που συνεπάγεται χαμηλότερη κερδοσκοπία και περεταίρω επένδυση για μείωση εκπομπών.

6.4 Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα σενάρια και τα αποτελέσματα μεταξύ τους μπορούμε να καταλήξουμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

1) Κάθε τρόπος επίλυσης έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και θετικά σημεία. Από τη μία πλευρά η κοστολόγηση με δεδομένο αριθμό εκπομπών βασίζεται σε αποτελέσματα άλλων μεθόδων οι οποίες ενδέχεται να είναι αποτελεσματικότερες από αυτή των στρατηγικών των παραγωγών. Στην περίπτωση αυτή η τιμή των αδειών προκύπτει κυρίως από τον αριθμό των αδειών που εκδίδονται και από τις καμπύλες οριακού κόστους. Από την άλλη μεριά, από τον τρόπο επίλυσης των στρατηγικών των παραγωγών, λαμβάνεται υπόψιν η τυχαιότητα πάνω στην οποία λειτουργεί η αγορά, οι αλληλεπιδράσεις των παραγωγών όταν ο καθένας ακολουθεί ατομιστικά πρότυπα συμπεριφοράς, καθώς και η μεταβολή της συμπεριφοράς των παραγωγών όταν μία μέθοδος προβλέψεων καθίσταται αποτελεσματική. Το πρόβλημα με την πρώτη μέθοδο έγκειται στο γεγονός ότι εφαρμόζει στατικές προβλέψεις σε δυναμικό μοντέλο. Αυτό συνεπάγεται ότι με κάποια αλλαγή στα δεδομένα, δεν υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής στις νέες συνθήκες πέρα από την εφαρμογή ελαστικότερης τετραγωνικής ποινής η οποία με τη σειρά της θα δημιουργήσει αποκλίσεις από τις προβλέψεις. Παραδείγματος χάριν, στα σενάρια απαλλαγής από τις εκπομπές του διοξειδίου το άνθρακα δημιουργείται σημαντικό πλεόνασμα και ειδικά προς το τέλος των περιόδων. Πρακτικά θα ήταν πολύ φθηνότερο για τους παραγωγούς να αγοράσουν άδειες από το πλεόνασμα από το να συνεχίσουν με τη μείωση των εκπομπών, γεγονός που λόγω του ότι έπρεπε να ακολουθηθούν συγκεκριμένες εκπομπές λόγω της τετραγωνικής ποινής στην αντικειμενική συνάρτηση, ήταν αδύνατο. Αντίστοιχα το πρόβλημα με τη δεύτερη μέθοδο αφορά στο γεγονός ότι η συμπεριφορά των παραγωγών είναι πολύ πιο δύσκολο να προσομοιωθεί σε σχέση με τις πανευρωπαϊκές εκπομπές γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει το μοντέλο σε μεγαλύτερα σφάλματα σε σχέση με αυτά της πρώτης μεθόδου.

2) Τα σενάρια των ανεξάρτητων στρατηγικών εκμεταλλεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό το πλεόνασμα σε σχέση με τα σενάρια δεδομένων εκπομπών. Αυτό συμβαίνει επειδή όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι παραγωγοί τείνουν να αξιοποιούν το πλεόνασμα για κερδοσκοπία, αλλά και στη θέση της μόνιμης μείωσης εκπομπών. Η μόνιμη μείωση εκπομπών έχει μεγάλο κόστος γεγονός το οποίο σύμφωνα με το μοντέλο δεν είναι προτιμητέο δεδομένης της αβεβαιότητας που έχει οριστεί.

3) Ο τρόπος επίλυσης δεδομένων εκπομπών προσφέρει χαμηλότερη διακύμανση στην τιμή. Ο τρόπος επίλυσης των στρατηγικών λειτουργεί με προβλέψεις παραγωγών οι οποίες εξαρτώνται από τυχαίους αριθμούς που ακολουθούν κανονική κατανομή. Ακόμα, ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν οι προβλέψεις αυτές δημιουργεί ανάδραση με τις υψηλές τιμές. Όταν προβλέπεται μία υψηλή τιμή δημιουργείται αύξηση στις μελλοντικές προβλέψεις των παραγωγών οι οποίοι αυξάνουν με τη σειρά τους τη ζήτηση αδειών για κερδοσκοπία. Ταυτόχρονα όμως αυξάνονται και οι επενδύσεις για μόνιμη μείωση εκπομπών, η οποία ρίχνει την τιμή των επόμενων ετών. Έτσι, σε όλα τα σενάρια στρατηγικών, η είσοδος του MSR προκαλεί ξαφνική αύξηση των τιμών, η οποία οδηγεί σε αύξηση στη μόνιμη μείωση εκπομπών, η οποία με τη σειρά της προκαλεί χαμηλότερες μελλοντικές. Το γεγονός αυτό προκαλεί τη διακύμανση των τιμών των αδειών μέσα στα χρόνια για τα σενάρια αυτά.

6.5 Δυνατότητες επέκτασης

Η αξία της γνώσης της μελλοντικής τιμής των εκπομπών άνθρακα είναι τεράστια. Η προσομοίωση όμως μιας αγοράς είναι πολύ δύσκολη υπόθεση. Στο μοντέλο αυτό έγινε μία προσπάθεια προσομοίωσης αγοράς μέσω του τρόπου επίλυσης των ανεξάρτητων στρατηγικών. Η προσέγγιση των δεδομένων εκπομπών προσεγγίζει σε καλύτερο βαθμό την αντικειμενική αξία των αδειών. Η αξία αυτή διαστρεβλώνεται στις αγορές αλλά αποτελεί μια πολύ καλή προσέγγιση της πραγματικότητας. Η αντικειμενική αξία των αδειών προκύπτει από τις εκάστοτε Καμπύλες Οριακού Κόστους για τη μόνιμη μείωση των εκπομπών. Όσο καλύτερη η προσέγγιση των καμπυλών οριακού κόστους για τον κάθε τομέα στο πραγματικό κόστος μείωσης των εκπομπών του τομέα, τόσο καλύτερη η πρόβλεψη της αντικειμενικής αξίας των αδειών και άρα η τελική πρόβλεψη. Επιπροσθέτως, η προσθήκη νέων παιχτών στην αγορά, πέρα από τους παραγωγούς, με συμπεριφορές αποκλειστικά κερδοσκοπικές και ερωτηματολόγια σε παραγωγούς και κερδοσκόπους για τα μοντέλα πρόβλεψης τιμών και λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιούν θα βοηθούσαν για την κατασκευή ενός ακόμα καλύτερου μοντέλου. Απλούστεροι τρόποι βελτίωσης των αποτελεσμάτων αποτελούν η εύρεση νέας καμπύλης πρόβλεψης των τιμών για τους παραγωγούς η οποία χρησιμοποιείται συχνότερα από τους παραγωγούς κατά τη λήψη αποφάσεων, η εισαγωγή νέων βιομηχανικών τομέων με ειδικές συμπεριφορές και καμπύλες οριακού κόστους, η εισαγωγή ακόμα καλύτερης προσέγγισης της Καθαρής Παρούσας Αξίας της επένδυσης της μόνιμης μείωσης των εκπομπών και άρα της αντικειμενικής συνάρτησης, σε κάθε τρόπο επίλυσης, εισάγοντας την αβεβαιότητα με κάποια στοχαστική διαδικασία.

Βιβλιογραφία

- [1] Π. Κάπρος και Κ. Ντελκής, Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2007.
- [2] Π. Κάπρος, Μοντέλα Μαθηματικού Προγραμματισμού, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2008.
- [3] G. Tverberg, «Our Finite World,» 15 November 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ourfiniteworld.com/>. [Πρόσβαση 3 6 2016].
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, 2014.
- [5] Goddard Institute for Space Studies, «National Aeronautics and Space Administration,» National Aeronautics and Space Administration, 20 7 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/. [Πρόσβαση 20 8 2016].
- [6] J. T. Kiehl και Κ. E. Trenberth, «Earth's Annual Global Mean Energy Budget,» *Bulletin of the American Meteorological Association*, τόμ. 78, pp. 197-208, 1997.
- [7] R. A. Rohde, «Wikimedia Commons,» 2000. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1396111>. [Πρόσβαση 20 8 2016].
- [8] The European Environment Agency (EEA), «EU ETS future contract prices 2005–2009,» European Union, Copenhagen, 2012.
- [9] European Commission, «Emissions trading: 2007 verified emissions from EU ETS businesses,» σε *European Commission Press Release IP/08/787*, Brussels, 2008.
- [10] Eurostat, «Eurostat Statistics Explained,» June 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_trends. [Πρόσβαση 4 August 2016].
- [11] D. Hone, «The Energy Collective,» 26 July 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.theenergycollective.com/davidhone/97271/bureaucracy-europe-blinks>. [Πρόσβαση 5 8 2016].
- [12] European Energy Exchange AG, «European Energy Exchange,» 25 8 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/spot-market/european-emission-allowances#!/2016/08/25>. [Πρόσβαση 25 8 2016].

- [13] Corporate Europe Observatory, «Corporate Europe Observatory,» 2015 October 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://corporateeurope.org/environment/2015/10/eu-emissions-trading-5-reasons-scrap-ets>. [Πρόσβαση 4 June 2016].
- [14] B. Nicolas, C. Benoît, A. Emilie and C. Julien, "The CO2 emissions of the European power sector: economic drivers and the climate-energy policies 'contribution.," Caisse des Dépôts, October 2014.
- [15] T. Laing, M. Sato, M. Grubb και Comberti, «The effects and side-effects of the EU emissions trading scheme,» *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, τόμ. 5, αρ. 4, 2014.
- [16] European Court of Auditors, «The integrity and implementation of the EU ETS,» Publications Office of the European Union, Luxemburg, 2015.
- [17] European Commission, EU ETS Handbook, European Union: European Commission, 2013.
- [18] R. Trotignon, *In search for the carbon price. The European CO2 emission trading scheme: From ex ante and ex post analysis to the projection in 2020*, Paris: Paris Dauphine University, 2012.
- [19] «European Environment Agency,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/eu-ets-future-contract-prices-200520132009>.