



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διαμόρφωση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής των
Σκανδιναβικών χωρών με βάση τη Μέθοδο Αποτίμησης
Χαρτοφυλακίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΡΑΚΛΗΣ Χ. ΚΑΜΠΑΞΗΣ

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διαμόρφωση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής των
Σκανδιναβικών χωρών με βάση τη Μέθοδο Αποτίμησης
Χαρτοφυλακίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΗΡΑΚΛΗΣ Χ. ΚΑΜΠΑΞΗΣ

Επιβλέπων: Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....
Ηρακλής Χ. Κάμπαξης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ηρακλής Κάμπαξης, 2015

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.

Στον αδερφό μου Βασίλη και στη Δανάη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αξιολογήσει τον ενεργειακό σχεδιασμό των Σκανδιναβικών χωρών και της Σκανδιναβίας εν τω συνόλω της ως προς την διαμόρφωση των μισμάτων ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2011. Επιπροσθέτως, πραγματοποιείται η παρουσίαση προτάσεων για τη μελλοντική κατανομή των εκάστοτε διαθέσιμων ενεργειακών πηγών στην ηλεκτροπαραγωγή σε μεσο-μακροπρόθεσμο ορίζοντα σε περίπτωση επαλήθευσης σεναρίων που αφορούν μέτριες και υψηλές τιμές καυσίμων και τιμών εκπομπών CO₂. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων στηρίζεται στο θεμελιώδες υπόδειγμα μέσου – διακύμανσης που κατέχει κυρίαρχη θέση στο πλαίσιο της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου που πρώτος ανέπτυξε ο καθηγητής Harry M. Markowitz την δεκαετία του 1950.

Το πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας εισάγει τον αναγνώστη στα βασικά σημεία της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου ξεκινώντας με την καίρια συμβολή του Markowitz. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η μαθηματική διατύπωση των βασικών μεγεθών της απόδοσης και του κινδύνου όπως και της αρχής της διαφοροποίησης. Ακολούθως, παρουσιάζεται αναλυτικά ο προσδιορισμός του αποτελεσματικού μετώπου στις περιπτώσεις δύο και πολλών χρεογράφων και το πώς αυτό επηρεάζεται με την εισαγωγή ενός ακίνδυνου χρεογράφου. Στην επόμενη ενότητα, ακολουθεί η ανάλυση χρησιμότητας και γίνεται αναφορά στις στάσεις των επενδυτικών μονάδων απέναντι στον κίνδυνο. Έπειτα, πραγματοποιούνται κάποιες γενικές παρατηρήσεις όσον αφορά στα αρνητικά σημεία του υποδείγματος μέσου – διακύμανσης, ενώ στην τελευταία ενότητα του πρώτου μέρους γίνεται συνοπτική παρουσίαση άλλων υποδειγμάτων διαχείρισης χαρτοφυλακίου.

Το δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας, εισάγει αρχικά τον αναγνώστη στην εφαρμογή της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό και προχωράει στην παρουσίαση της ενεργειακής κατάστασης στην Σκανδιναβία στα πλαίσια της οποίας παρατίθενται τα πραγματικά μίγματα ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2011. Ακολούθως, γίνεται εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά των ενεργειακών τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής που επιλέχθηκαν να συμπεριληφθούν και αναλυτικός προσδιορισμός της απόδοσης και του κινδύνου ανά ενεργειακή πηγή ηλεκτροπαραγωγής. Κατόπιν, πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή του τρόπου εξαγωγής των άριστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων και αποτελεσματικών μετώπων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι προτάσεις ενεργειακού σχεδιασμού για την ηλεκτροπαραγωγή ανά έτος και ανά σενάριο τιμών καυσίμων και τιμών εκπομπών CO₂. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν και γίνεται αναφορά σε προτάσεις επέκτασης της παρούσας μελέτης.

Λέξεις – Κλειδιά : Μοντέρνο Χαρτοφυλάκιο, Βέλτιστο Ενεργειακό Χαρτοφυλάκιο, Markowitz, Αποτελεσματικό Μέτωπο, Αποδοτικό Σύνορο, Υπόδειγμα Μέσου Διακύμανσης, Ενεργειακός Σχεδιασμός, Ηλεκτροπαραγωγή στις Σκανδιναβικές χώρες

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to evaluate the energy planning in the Nordic countries and the whole of Scandinavia on the configuration of electricity production mixes for 2011. Additionally, there is a presentation of proposals for the future allocation of the available energy sources for electricity generation in medium-long-term time horizon, in scenarios including medium and high fuel costs and carbon dioxide emission prices. The results are extracted by using the fundamental mean – variance model, a core component of the Modern Portfolio Theory, first developed by Professor Harry M. Markowitz in the 1950s.

The first part of this thesis introduces the basic ideas behind Modern Portfolio Theory, starting with the important contribution of Markowitz. Then, a mathematical formulation of the most basic terms, such as the return, the risk and the diversification, is provided. Subsequently, we present a -step by step- determination of the efficient frontier for two or many securities and the way it is affected by a risk-free security. In the next section, we have a utility analysis and we refer to attitudes of investors toward risk. Afterwards, we have some general remarks on the disadvantages of mean – variance model and the last section of the first part refers to other portfolio management models.

In the second part of this thesis, we first come up with an introduction to the application of Modern Portfolio Theory in energy planning and then we present the energy profile of Scandinavia and the ‘real’ electricity production mixes for 2011. Then, we have a detailed reference to the characteristics of the selected energy technologies and a -step by step- calculation of the return and risk for each energy source. Afterwards, a detailed description of the optimal energy portfolios and the efficient frontiers calculation is given and we present the results and the proposals for the energy planning on electricity production per year for each scenario. Finally, some general conclusions are presented and we refer to proposed extensions to the topic of this thesis.

Keywords : Modern Portfolio, Optimal Energy Portfolio, Markowitz, Efficient Frontier, Efficient Set, Mean-Variance Model, Energy Planning, Electricity Production in Nordic Countries

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου	18
1.1 Εισαγωγή.....	18
1.2 Η συμβολή του Harry M. Markowitz στη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου	19
1.2.1 Portfolio Selection (1952).....	19
1.2.2 Portfolio Selection (1959).....	27
1.3 Η έννοια της Απόδοσης και του Κινδύνου	30
1.3.1 Απόδοση και κίνδυνος χρεογράφων	30
1.3.2 Απόδοση και κίνδυνος χαρτοφυλακίων	33
1.4 Η Αρχή της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου	40
1.5 Προσδιορισμός αποτελεσματικού μετώπου	43
1.5.1 Εισαγωγή	43
1.5.2 Σχέση αναμενόμενης απόδοσης- κινδύνου και ελαχιστοποίηση κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων.....	46
1.5.3 Προσδιορισμός αποτελεσματικού μετώπου στην περίπτωση πολλών χρεογράφων	53
1.5.4 Εισαγωγή ακίνδυνου χρεογράφου	59
1.6 Ανάλυση χρησιμότητας και στάση οικονομικών μονάδων απέναντι στον κίνδυνο	62
1.7 Προβλήματα του υποδείγματος του Markowitz	72
1.8 Άλλα υποδείγματα διαχείρισης χαρτοφυλακίου	73
1.8.1 Υποδείγματα ισορροπίας	73
1.8.1.1 Το υπόδειγμα Αποτίμησης Κεφαλαιακών Στοιχείων (Capital Asset Pricing Model - CAPM).....	73
1.8.1.2 Το υπόδειγμα Αντισταθμιστικής Αποτίμησης (Arbitrage Pricing Theory – APT).....	76
2. Σύγχρονη θεωρία διαχείρισης χαρτοφυλακίου και ενεργειακός σχεδιασμός για την ηλεκτροπαραγωγή.....	78
2.1 Εισαγωγή	78

2.2 Ενεργειακή Κατάσταση στις Σκανδιναβικές Χώρες	86
2.2.1 Εισαγωγή	86
2.2.2 Παρουσίαση πραγματικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων ηλεκτροπαραγωγής των Σκανδιναβικών χωρών.....	96
2.3 Χαρακτηριστικά, Απόδοση και Κίνδυνος Ενεργειακών Τεχνολογιών	104
2.3.1 Εισαγωγή	104
2.3.2 Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Τεχνολογιών.....	107
2.3.3 Προσδιορισμός της Απόδοσης Ενεργειακών Τεχνολογιών χρησιμοποιώντας το SETIS - Energy Cost Calculator	122
2.3.4 Προσδιορισμός του κινδύνου-ρίσκου των ενεργειακών τεχνολογιών .	143
2.4 Προσδιορισμός αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων και αποτελεσματικών μετώπων σε περιβάλλον Microsoft Office Excel	148
2.4.1 Εισαγωγή	148
2.4.2 Μεθοδολογία προσδιορισμού αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών ενεργειακών πηγών	149
2.4.3 Μεθοδολογία προσδιορισμού αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών και ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών.....	154
2.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Προτάσεις Αξιολόγησης του Ενεργειακού Σχεδιασμού των Σκανδιναβικών Χωρών.....	158
2.5.1 Εισαγωγή	158
2.5.2 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2011.....	160
2.5.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας και Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού της Σουηδίας, της Φινλανδίας και του Σκανδιναβικού συμπλέγματος για το έτος 2011	160
2.5.2.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων χωρίς την πυρηνική τεχνολογία και Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού της Νορβηγίας και της Δανίας για το έτος 2011	170
2.5.3 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2020.....	176
2.5.3.1. Εισαγωγή	176
2.5.3.2. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	177
2.5.3.3. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	181

2.5.3.4. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	185
2.5.3.5. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	188
2.5.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2030.....	191
2.5.4.1. Εισαγωγή	191
2.5.4.2. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	192
2.5.4.3. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	194
2.5.4.4. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	197
2.5.4.5. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	199
3. Επίλογος.....	203
3.1. Συμπεράσματα Μελέτης	203
3.2 Προοπτικές και προτάσεις επέκτασης της μελέτης	207
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	210
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	213

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1.1 Αποδοτικοί συνδυασμοί (E,V).....	22
Γράφημα 1.2 Γεωμετρική επίλυση συστήματος τριών εξισώσεων για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εντός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών.....	23
Γράφημα 1.3 Γεωμετρική επίλυση συστήματος τριών εξισώσεων για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εκτός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών	25
Γράφημα 1.4 Σύνορο βέλτιστων εφικτών συνδυασμών (E,V) κατά Markowitz 1952.....	26
Γράφημα 1.5 Πιθανές θέσεις κέντρου για τις οικογένειες ομόκεντρων ελλείψεων ισοδιακύμανσης.....	28
Γράφημα 1.6 Πιθανές θέσεις κέντρου για τα συστήματα ελλείψεων ισοδιακύμανσης.....	29
Γράφημα 1.7 Γεωμετρική επίλυση συστήματος για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εκτός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών και η ευθεία Π δεν τέμνει κάποιο σύνορο εφικτών συνδυασμών.....	30
Γράφημα 1.8 Αναπαράσταση κανονικών κατανομών με την ίδια μαθηματική προσδοκία απόδοσης και διαφορετική τυπική απόκλιση.....	33
Γράφημα 1.9 Περίπτωση τέλει αρνητικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα X, Y.....	36
Γράφημα 1.10 Περίπτωση τέλει θετικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα X, Y.....	37
Γράφημα 1.11 Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεσματικού μετώπου σε καθεστώς όπου δεν επιτρέπονται οι ανοιχτές πωλήσεις.....	44
Γράφημα 1.12 Γράφημα αποτελεσματικού μετώπου σε καθεστώς μη απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων.....	45
Γράφημα 1.13 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση της τέλει θετικής συσχέτισης.....	48
Γράφημα 1.14 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση της τέλει αρνητικής συσχέτισης.....	50
Γράφημα 1.15 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση μηδενικής συσχέτισης.....	52
Γράφημα 1.16 Περιγραφή ιδιοτήτων χαρακτηριστικών χαρτοφυλακίων στο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου.....	59
Γράφημα 1.17 Αποτελεσματικό Μέτωπο στην περίπτωση εισαγωγής ακίνδυνου χρεογράφου.....	61
Γράφημα 1.18 Συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο.....	64
Γράφημα 1.19 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο.....	65

Γράφημα 1.20 Συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι εραστές του κινδύνου.....	66
Γράφημα 1.21 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που είναι εραστής ή λήπτης κινδύνου.....	68
Γράφημα 1.22 Συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που αποστρέφονται τον κίνδυνο.....	69
Γράφημα 1.23 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που αποστρέφεται τον κίνδυνο και επιλογή βέλτιστου επενδυτικού χαρτοφυλακίου.....	71
Γράφημα 2.1 Διαχρονική εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής στις Σκανδιναβικές χώρες (1985 έως 2012)	88
Γράφημα 2.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στις Σκανδιναβικές χώρες για το έτος 2010.....	89
Γράφημα 2.3 Πρωτογενείς καθαρές εισαγωγές και εξαγωγές ορυκτών καυσίμων των Σκανδιναβικών χωρών για το έτος 2011.....	91
Γράφημα 2.4 Διαχρονική Εξέλιξη των εκπομπών CO ₂ ανά τομέα για τις Σκανδιναβικές χώρες.....	92
Γράφημα 2.5 Ενεργειακές ροές για την ηλεκτροπαραγωγή και άλλους τομείς (έτος 2010).....	94
Γράφημα 2.6 Ενεργειακές ροές για την ηλεκτροπαραγωγή και άλλους τομείς (έτος 2050).....	95
Γράφημα 2.7 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σουηδίας για το έτος 2011.....	96
Γράφημα 2.8 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σουηδίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011.....	97
Γράφημα 2.9 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Φινλανδίας για το έτος 2011.....	98
Γράφημα 2.10 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Φινλανδίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011.....	98
Γράφημα 2.11 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Νορβηγίας για το έτος 2011.....	99
Γράφημα 2.12 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Νορβηγίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011.....	100
Γράφημα 2.13 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Δανίας για το έτος 2011.....	101
Γράφημα 2.14 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Δανίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011.....	101
Γράφημα 2.15 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής σκανδιναβικού συμπλέγματος για το έτος 2011.....	102
Γράφημα 2.16 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σκανδιναβικού συμπλέγματος χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011.....	103
Γράφημα 2.17 Βαθμός Απόδοσης (%) και Κόστος Κεφαλαίου (€/kW) συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών και τεχνολογιών με CCS για το έτος 2011.....	120

Γράφημα 2.18 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	136
Γράφημα 2.19 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	137
Γράφημα 2.20 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	138
Γράφημα 2.21 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	139
Γράφημα 2.22 Επίδραση του κόστους εκπομπών CO ₂ στις αποδόσεις των ενεργειακών πηγών για τα έτη 2020 και 2030 για τις περιπτώσεις μέτριων και υψηλών τιμών καυσίμων.....	140
Γράφημα 2.23 Διαχρονική Εξέλιξη Τιμών Καυσίμων (1987– 2011).....	144
Γράφημα 2.24 Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας).....	160
Γράφημα 2.25 Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας).....	161
Γράφημα 2.26 Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων πυρηνικών και ΑΠΕ).....	162
Γράφημα 2.27 Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων πυρηνικών και ΑΠΕ).....	163
Γράφημα 2.28 : Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Φινλανδίας για το έτος 2011	166
Γράφημα 2.29 : Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σουηδίας για το έτος 2011.....	167
Γράφημα 2.30 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2011	168
Γράφημα 2.31 Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - χωρίς να συμπεριλαμβάνεται πυρηνική τεχνολογία).....	169
Γράφημα 2.32 Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η πυρηνική τεχνολογία).....	170
Γράφημα 2.33 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Δανίας (μόνο για τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες) για το έτος 2011	171
Γράφημα 2.34 Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες και ΑΠΕ χωρίς τα πυρηνικά).....	172
Γράφημα 2.35 Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες και ΑΠΕ χωρίς τα πυρηνικά).....	173
Γράφημα 2.36 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Νορβηγίας για το έτος 2011	174
Γράφημα 2.37 Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο	

μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	176
Γράφημα: 2.38 Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	178
Γράφημα 2.39 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	179
Γράφημα 2.40 Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	180
Γράφημα 2.41 Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	182
Γράφημα 2.42 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	183
Γράφημα: 2.43 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	185
Γράφημα 2.44 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	186
Γράφημα 2.45 Σύγκριση Αποδοτικών Συνόρων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) για όλα τα σενάρια.....	187
Γράφημα 2.46 Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	188
Γράφημα 2.47 Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	189
Γράφημα 2.48 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	190
Γράφημα 2.49 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	192
Γράφημα 2.50 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	193
Γράφημα 2.51 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	195
Γράφημα 2.52 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	196

Γράφημα 2.53 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	197
Γράφημα 2.54 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	198
Γράφημα 2.55 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	199
Γράφημα 2.56 Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	200
Γράφημα 2.57 Σύνθεση συμβατικού ενεργειακού χαρτοφυλακίου Μ για τα έτη 2020 – 2030 ανά σενάριο τιμών καυσίμου και τιμών εκπομπών.....	201

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 Διαδικασία κατασκευής βέλτιστων χαρτοφυλακίων και αποτελεσματικού μετώπου.....	56
Σχήμα 2.1 Διαδικασία λειτουργίας του SETIS – Energy Cost Calculator.....	123

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Κατανομή της Εγκατεστημένης Ισχύος (MW) στις Σκανδιναβικές χώρες ανά μορφή ενέργειας για το έτος 2011	88
Πίνακας 2.2 Πίνακας τιμών καυσίμων για τα 2011 , 2020, 2030 και των δύο σεναρίων τιμών για τα έτη 2020,2030.....	126
Πίνακας 2.3 Πίνακας τιμών εκπομπών CO ₂ και κόστους παροπλισμού πυρηνικού αντιδραστήρα για τα 2011 , 2020, 2030 και των δύο σεναρίων τιμών εκπομπών για τα έτη 2020,2030.....	126
Πίνακας 2.4 Πίνακας κοινών οικονομικών παραμέτρων για όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες.....	128
Πίνακας 2.5 Τιμές τεχνικών παραμέτρων για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτροπαραγωγής (*Οι τιμές των αποδόσεων των τεχνολογιών CCS αναφέρονται στο έτος 2015).....	129
Πίνακας 2.6 Τιμές παραμέτρων κόστους για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής	130
Πίνακας 2.7 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για το έτος 2011 καθώς επίσης και για τα έτη 2020 και 2030 για το πρώτο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	132

Πίνακας 2.8 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το δεύτερο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	133
Πίνακας 2.9 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τρίτο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	134
Πίνακας 2.10 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τέταρτο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	135
Πίνακας 2.11 Τυπική απόκλιση και συντελεστές συσχέτισης ενεργειακών πηγών.....	146

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου που χρησιμοποιεί Φυσικό Αέριο (CCGT).....	109
Εικόνα 2.2 Αναπαράσταση ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας με καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) που χρησιμοποιεί υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά ατμού.....	112
Εικόνα 2.3 Κύρια τμήματα μονάδας Ολοκληρωμένης αεριοποίησης (ενσωματωμένης εξαερίωσης) συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined , IGCC)..	113
Εικόνα 2.4 Αναπαράσταση πυρηνικού σταθμού παραγωγής ισχύος με αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό πίεση (PWR, Pressurized Water Reactors).....	116
Εικόνα 2.5 Αναπαράσταση πυρηνικού σταθμού παραγωγής ισχύος με αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό βρασμό (BWR , Boiling Water Reactors).....	117

1. Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου

1.1 Εισαγωγή

Στην χρηματοοικονομική επιστήμη, η έννοια του χαρτοφυλακίου (portfolio) αφορά τη συλλογή χρηματοπιστωτικών και πραγματικών περιουσιακών στοιχείων (assets) που βρίσκονται στην κυριότητα μιας οικονομικής μονάδας. Η σύνθεση ενός χαρτοφυλακίου συνήθως απαρτίζεται από τοποθετήσεις σε πολλά στοιχεία που κατέχουν διαφορετικές αποδόσεις. Για παράδειγμα πολλοί επενδυτές μπορεί να έχουν στην κατοχή τους ένα ή περισσότερα ακίνητα, να έχουν επενδύσει σε μετοχές, ομολογίες, σε μερίδια αμοιβαίων κεφαλαίων, τραπεζικές καταθέσεις, εμπορεύματα ή σε άλλα αξιόγραφα. Τα ταμεία συντάξεων επενδύουν για λογαριασμό των επενδυτών τους οι οποίοι είναι εργαζόμενοι, οι κρατήσεις των οποίων επενδύονται αποσκοπώντας τη δημιουργία κεφαλαίων για μελλοντικές συντάξεις. Οι τράπεζες και άλλοι θεσμικοί επενδυτές επίσης επενδύουν σε χαρτοφυλάκια μετοχών, ομολογιών και άλλων περιουσιακών στοιχείων.

Στο πλαίσιο της θεωρίας επενδύσεων χαρτοφυλακίου, κάθε επενδυτής βρίσκεται μπροστά στις δύο όψεις του ίδιου νομίσματος. Η μία όψη είναι η απόδοση της επένδυσης που πραγματοποιεί, δηλαδή η ανταμοιβή για την επενδυτική ανάληψη, ενώ η άλλη είναι το ρίσκο που αναλαμβάνει, δηλαδή η αβεβαιότητα για την πραγματοποίηση των αναμενόμενων αποδόσεων. Τα εν λόγω συστατικά είναι οι ακρογωνιαίοι λίθοι σε ένα χρηματοοικονομικό σύστημα και λαμβάνονται υπόψη στα πλαίσια όλων των επενδυτικών αποφάσεων. Είναι προφανές ότι κάθε ορθολογικός επενδυτής αποβλέπει σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες αποδόσεις μπορεί να πετύχει αναλαμβάνοντας όσο μικρότερο ρίσκο είναι εφικτό.

Η παγκοσμιοποίηση των αγορών και οι έντονα ανταγωνιστικές συνθήκες που λαμβάνουν χώρα στον κλάδο της επαγγελματικής διαχείρισης χαρτοφυλακίου καθιστούν επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας επιστημονικά προηγμένων διαχειριστικών εργαλείων που αποτελούν το αποτέλεσμα ενός γόνιμου συνδυασμού της επιστημονικής μεθοδολογίας και της εμπειρίας των επαγγελματιών του κλάδου.

Κυρίαρχη θέση στο πλαίσιο της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου (Modern Portfolio Theory) κατέχει το θεμελιώδες υπόδειγμα μέσου-διακύμανσης (mean-

variance portfolio analysis). Το εν λόγω υπόδειγμα αποτελεί ένα μαθηματικό πρότυπο σύνθεσης χαρτοφυλακίων, το οποίο βασίζεται στον ανταγωνισμό (trade-off) των επενδυτικών κριτηρίων της απόδοσης και του κινδύνου, όπως αυτά εκφράζονται από τα στατιστικά μέτρα της αναμενόμενης τιμής (expected value) και της διακύμανσης (variance). Το τελικό εξαγόμενο του μοντέλου, το οποίο στην ουσία υλοποιεί μια αλγοριθμική διαδικασία βελτιστοποίησης (optimization), οδηγεί στον υπολογισμό της βέλτιστης σύνθεσης ενός χαρτοφυλακίου, δηλαδή την ποσοστιαία συνεισφορά με την το κάθε αξιόγραφο πρέπει να συμμετέχει σε αυτό, για διάφορους συνδυασμούς απόδοσης - κινδύνου. Η διαδικασία αποσκοπεί στον άριστο στρατηγικό επιμερισμό κεφαλαίου στο πλαίσιο μιας πλήρως διαφοροποιημένης επενδυτικής πολιτικής.

1.2 Η συμβολή του Harry M. Markowitz στη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου

1.2.1 Portfolio Selection (1952)

Η πρώτη καίρια και πρωτοποριακή συμβολή στον τομέα των Χρηματοοικονομικής Επιστήμης πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1950 από τον καθηγητή Harry M. Markowitz. Ο βραβευμένος με το Nobel οικονομικών Markowitz ανέπτυξε μια θεωρία για τη βέλτιστη επένδυση του πλούτου που μπορούν να επιδιώξουν διάφορες οικονομικές μονάδες σε περιουσιακά στοιχεία (assets) με στόχο το δημιουργούμενο χαρτοφυλάκιο να έχει βέλτιστα χαρακτηριστικά απόδοσης - κινδύνου εν τω συνόλω του ανεξάρτητα από τα αντίστοιχα μεμονωμένα χαρακτηριστικά των επιμέρους περιουσιακών στοιχείων.

Η εργασία του με τίτλο 'Portfolio Selection' που δημοσιεύτηκε το 1952 στο περιοδικό 'Journal of Finance' έθεσε το θεμέλιο λίθο για την διατύπωση της περίφημης Σύγχρονης Θεωρίας Χαρτοφυλακίου (Modern Portfolio Theory). Στην εν λόγω εργασία, ο Markowitz αρχικά ομαδοποιεί τη διαδικασία επιλογής ενός χαρτοφυλακίου σε 2 στάδια: Το πρώτο στάδιο ξεκινά με την παρατήρηση και την εμπειρία και τελειώνει με τις πεποιθήσεις για τις μελλοντικές αποδόσεις των αξιόγραφων και το δεύτερο στάδιο ξεκινά με τις πεποιθήσεις για τις μελλοντικές αποδόσεις των διαθέσιμων αξιόγραφων και καταλήγει στην επιλογή ενός

χαρτοφυλακίου. Η συγκεκριμένη εργασία εξετάζει το δεύτερο στάδιο κατά την επιλογή του βέλτιστου χαρτοφυλακίου.

Ο Markowitz εξετάζει κάποιους κανόνες επιλογής χαρτοφυλακίου και ασχολείται με το αν η καθοδήγηση της συμπεριφοράς ενός επενδυτή μπορεί να καθοριστεί από τον κάθε κανόνα ξεχωριστά. Συγκεκριμένα απορρίπτει τους κανόνες συμπεριφοράς σύμφωνα με τους οποίους

- ✓ ο επενδυτής τοποθετεί όλα του τα κεφάλαια σε ένα αξιόγραφο με τη μεγαλύτερη προεξοφλημένη αξία
- ✓ ο επενδυτής διαφοροποιεί τα κεφάλαια του μεταξύ όλων εκείνων των αξιόγραφων που οδηγούν σε μέγιστη αναμενόμενη απόδοση.

Ο πρώτος κανόνας απορρίπτεται από τον Markowitz καθότι δεν πραγματοποιεί χρήση της διαφοροποίησης. Ο ίδιος χαρακτηριστικά αναφέρει ότι η διαφοροποίηση είναι λογική και παρατηρήσιμη. Ένας κανόνας συμπεριφοράς που αποκλίνει από την τα οφέλη και την υπεροχή της διαφοροποίησης πρέπει να απορριφθεί τόσο σαν υπόθεση όσο σαν απόφθεγμα. Ο δεύτερος κανόνας δεν γίνεται αποδεκτός καθότι το χαρτοφυλάκιο με τη μέγιστη αναμενόμενη απόδοση δεν εμπεριέχει κατ'ανάγκη την ελάχιστη διακύμανση. Ο Markowitz επισήμανε την ύπαρξη μιας αναλογίας στα πλαίσια της οποίας ένας επενδυτής μπορεί να αποκομίσει μεγαλύτερη αναμενόμενη απόδοση αναλαμβάνοντας μεγαλύτερο κίνδυνο ή να μειώσει τον κίνδυνο κάνοντας έκπτωση στα επίπεδα της αναμενόμενης απόδοσης.

Ο Markowitz υποστηρίζει ότι η συμπεριφορά ενός επενδυτή θα πρέπει να καθορίζεται από έναν συγκεκριμένο κανόνα (E-V rule) σύμφωνα με το οποίο ο επενδυτής επιλέγει ένα από εκείνα τα χαρτοφυλάκια που οδηγούν σε συνδυασμούς που για δεδομένο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης δεν υπάρχει συνδυασμός με χαμηλότερη διακύμανση και αντίστροφα σε συνδυασμούς που για δεδομένο επίπεδο διακύμανσης δεν υφίσταται συνδυασμός με μεγαλύτερη αναμενόμενη απόδοση. Έτσι λοιπόν εισάγεται το μεθοδολογικό πλαίσιο μέσου διακύμανσης στο οποίο η αναμενόμενη απόδοση E και η διακύμανση της απόδοσης V του χαρτοφυλακίου δίνονται από τους τύπους :

$$E = \sum_{i=1}^N X_i \mu_i$$

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} X_i X_j$$

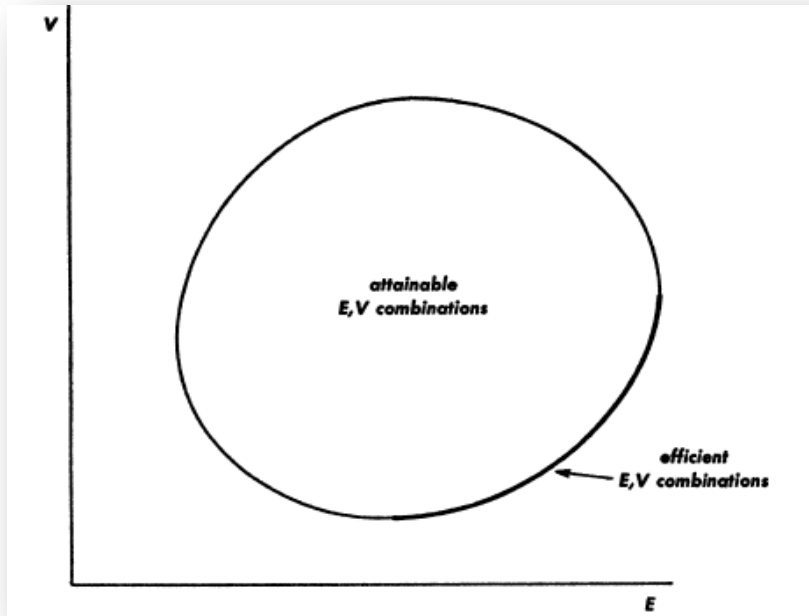
όπου μ_i είναι η αναμενόμενη απόδοση του i χρεογράφου , σ_{ij} είναι η συνδιακύμανση μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων i , j και X_i , X_j είναι τα ποσοστά του κεφαλαίου που επενδύει μια οικονομική μονάδα στα χρεόγραφα i , j αντιστοίχως και για τα οποία ισχύουν οι σχέσεις :

$$\sum_{i=1}^N X_i = 1$$

$$X_i \geq 0, \forall i$$

Όσον αφορά στην τελευταία σχέση , ο Markowitz αναφέρει ότι το ποσοστό του i χρεογράφου είναι πάντοτε μεγαλύτερο ή ίσο με μηδέν καθότι δεν επιτρέπονται οι πωλήσεις χρεογράφων ή ο δανεισμός.

Για δεδομένες λοιπόν αναμενόμενες αποδόσεις χρεογράφων μ_i , και συνδιακυμάνσεις σ_{ij} , ο επενδυτής μπορεί να επιλέξει μεταξύ πολλών συνδυασμών (E, V) ανάλογα με την επιλογή χαρτοφυλακίου που θα πραγματοποιήσει (X_1, X_2, \dots, X_N) . Στο ακόλουθο γράφημα παρουσιάζονται τόσο οι εφικτοί συνδυασμοί (E, V) οι οποίοι βρίσκονται εντός του μαύρου συνόρου, όσο και οι βέλτιστες επιλογές χαρτοφυλακίου (αποδοτικοί συνδυασμοί) οι οποίες απεικονίζονται με το μαύρο σύνορο.



Γράφημα 1.1 Αποδοτικοί συνδυασμοί (E,V) (Πηγή : Portfolio Selection , Markowitz 1952)

Ακολούθως, η συγκεκριμένη μελέτη περιορίζεται σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των συμπεριλαμβανομένων χρεογράφων είναι μικρός και συγκεκριμένα εξετάζει την περίπτωση τριών χρεογράφων ($N=3$) για την εύρεση αποδοτικών συνδυασμών (E,V).

Η μαθηματική διατύπωση της εν λόγω περίπτωσης έχει ως εξής :

$$E = \sum_{i=1}^3 X_i \mu_i \quad (1)$$

$$V = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sigma_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^3 X_i = 1 \quad (3)$$

$$(3) \Rightarrow X_3 = 1 - X_1 - X_2 \quad (3')$$

$$X_i \geq 0, i = 1,2,3 \quad (4)$$

Ακολουθώς χρησιμοποιώντας την σχέση (3') στις σχέσεις (1) , (2) μπορούμε να πάρουμε την αναμενόμενη απόδοση E και την διακύμανση της απόδοσης V του χαρτοφυλακίου σαν συνάρτηση των ποσοστών X_1 , X_2 . Έχουμε λοιπόν :

$$(1) \stackrel{(3')}{\Rightarrow} E = \mu_3 + X_1(\mu_1 - \mu_3) + X_2(\mu_2 - \mu_3) \quad (1')$$

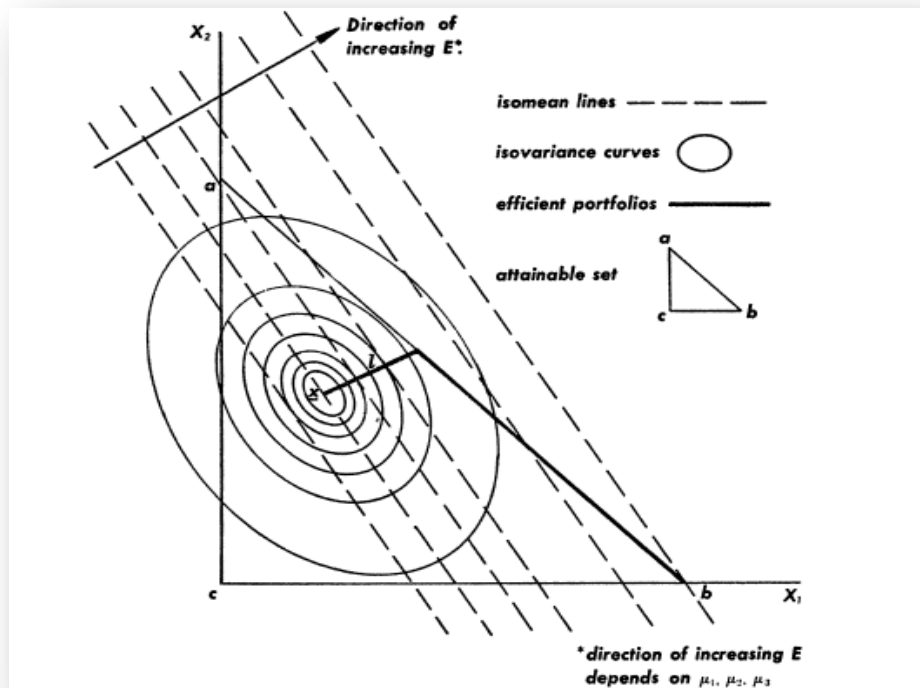
$$(2) \stackrel{(3')}{\Rightarrow} V = X_1^2(\sigma_{11} - 2\sigma_{13} + \sigma_{33}) + X_2^2(\sigma_{22} - 2\sigma_{23} + \sigma_{33}) + 2X_1X_2(\sigma_{12} - \sigma_{13} - \sigma_{22} + \sigma_{33}) + 2X_1(\sigma_{13} - \sigma_{33}) + 2X_2(\sigma_{23} - \sigma_{33}) + \sigma_{33} \quad (2')$$

Καταλήγουμε λοιπόν στην ακόλουθη μαθηματική διατύπωση ενός προβλήματος 2 διαστάσεων που περιγράφεται από τις ακόλουθες 3 εξισώσεις ενώ η γραφική επίλυση του παρουσιάζεται στο ακόλουθο γράφημα :

$$E = E(X_1, X_2) \quad (a)$$

$$V = V(X_1, X_2) \quad (b)$$

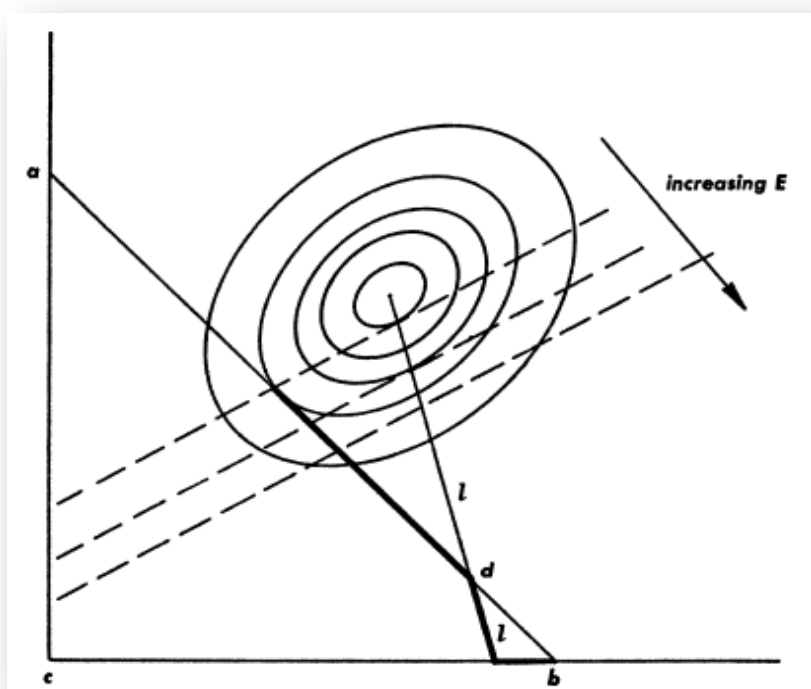
$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \quad 1 - X_1 - X_2 \geq 0 \quad (c)$$



Γράφημα 1.2 Γεωμετρική επίλυση συστήματος τριών εξισώσεων για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εντός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών (Πηγή : Portfolio Selection , Markowitz 1952)

Εξετάζοντας την γεωμετρική επίλυση των τριών εξισώσεων (a) , (b) , (c) στα γραφήματα 1.2 και 1.3 παρατηρούμε ότι όλοι οι εφικτοί συνδυασμοί για την επιλογή χαρτοφυλακίου βρίσκονται στην περιοχή εντός του τριγώνου abc. Αυτό συμβαίνει καθότι μόνο εντός της συγκεκριμένης περιοχής ικανοποιούνται οι περιορισμοί που προκύπτουν από τον συνδυασμό των σχέσεων (c) και (3) (ή ισοδύναμα των σχέσεων (3) και (4)). Συγκεκριμένα οποιοδήποτε σημείο αριστερά του άξονα X_2 παραβιάζει τον περιορισμό $X_1 \geq 0$,οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται κάτω από τον άξονα X_1 παραβιάζει τον περιορισμό $X_2 \geq 0$ και οποιοδήποτε σημείο πάνω από την ευθεία $1 - X_1 - X_2 = 0$ παραβιάζει τον περιορισμό $X_3 = 1 - X_1 - X_2 \geq 0$. Επίσης στα συγκεκριμένα γραφήματα απεικονίζονται οι καμπύλες τα σημεία των οποίων έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα το σύνολο των σημείων κατά μήκος μιας από τις εικονιζόμενες παράλληλες ευθείες έχει ίδια αναμενόμενη απόδοση (ευθεία ισομέσου) ενώ το σύνολο των σημείων πάνω σε μια από τις εικονιζόμενες ομόκεντρες ελλείψεις έχει την ίδια διακύμανση απόδοσης (έλλειψη ισοδιακύμανσης). Αν θέλουμε να γίνουμε πιο αναλυτικοί, η σχέση (1') αποτελεί μια οικογένεια παράλληλων ευθειών καθώς προκύπτει μια διαφορετική παράλληλη ευθεία για κάθε τιμή της αναμενόμενης απόδοσης E. Αυτό συμβαίνει διότι αλλάζοντας μόνο την τιμή E στη σχέση (1') προκύπτουν διαφορετικές ευθείες με ίδια κλίση ίση με $\lambda = -\frac{\mu_1 - \mu_3}{\mu_2 - \mu_3}$. Ομοίως η σχέση (2') αποτελεί μια οικογένεια ομόκεντρων ελλείψεων όπου για κάθε τιμή της διακύμανσης V προκύπτει μια διαφορετική ομόκεντρη έλλειψη. Το κέντρο όλων των ομόκεντρων ελλείψεων (σημείο X) είναι το σημείο με την ελάχιστη διακύμανση και μπορεί να βρίσκεται εντός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών abc (Γράφημα 1.2) ή εκτός του τριγώνου (Γράφημα 1.3). Όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο X προκύπτουν ελλείψεις μεγαλύτερης διακύμανσης. Το σημείο μιας ισομέσου ευθείας που εφάπτεται σε μια έλλειψη ισοδιακύμανσης είναι το σημείο ελάχιστης διακύμανσης για την εν λόγω ευθεία. Το σύνολο όλων αυτών των σημείων απεικονίζεται με την ευθεία I και στα δύο γραφήματα. Στο γράφημα 1.2 όπου το σημείο X βρίσκεται εντός του τριγώνου abc , η ευθεία I ξεκινάει από το σημείο X

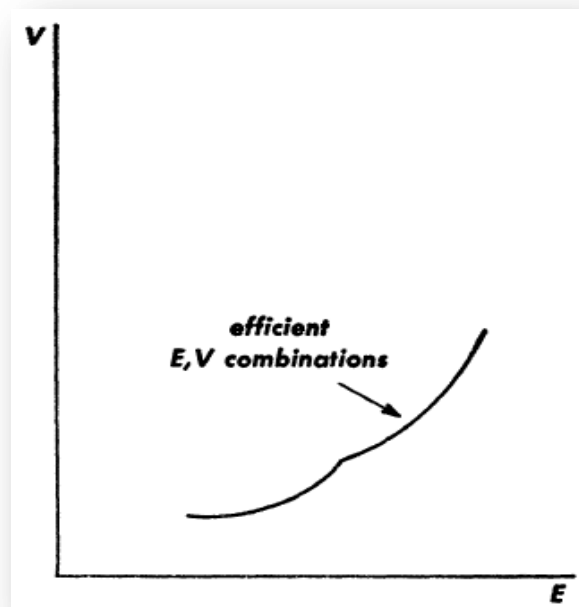
,εκτίνεται μέχρι την καμπύλη ab (περιορισμός εφικτού συνόλου συνδυασμών) και συνεχίζει μέχρι το σημείο b (σημείο μέγιστης εφικτής αναμενόμενης απόδοσης) κατά μήκος της καμπύλης ab . Έτσι δημιουργείται το σύνορο εφικτών βέλτιστων συνδυασμών (E,V) όπως απεικονίζεται στο γράφημα 1.2. Στο γράφημα 1.3 όπου το σημείο X βρίσκεται εκτός του τριγώνου abc , η ευθεία l ξεκινάει από το σημείο X και τέμνει το σύνορο εφικτών συνδυασμών ab . Στην εν λόγω περίπτωση το σύνορο εφικτών βέλτιστων συνδυασμών (E,V) ξεκινά από το σημείο ελάχιστης εφικτής διακύμανσης που βρίσκεται πάνω στην καμπύλη ab , κινείται κατά μήκος αυτής προς το σημείο b μέχρι να συναντήσει το σημείο d (σημείο τομής της ευθείας l με την καμπύλη ab). Έπειτα κινείται κατά μήκος της ευθείας l εντός της περιοχής abc μέχρι να συναντήσει το σύνορο εφικτών συνδυασμών cb και καταλήγει στο σημείο b κατά μήκος αυτού του συνόρου.



Γράφημα 1.3 Γεωμετρική επίλυση συστήματος τριών εξισώσεων για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εκτός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών (Πηγή :Portfolio Selection , Markowitz 1952)

Στο σημείο αυτό αξίζει να σχολιάσουμε το επισυναπτόμενο γράφημα (E,V) που απεικονίζει το σύνορο βέλτιστων εφικτών συνδυασμών (E,V) όπως συμπεριλήφθηκε στην συγκεκριμένη εργασία. Το εν λόγω γράφημα φαίνεται να απεικονίζει μια κυρτή

καμπύλη. Κάτι τέτοιο φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με όσα θα παρουσιάσουμε σχετικά με την μορφή του αποτελεσματικού μετώπου (καμπύλη συνόλου βέλτιστων εφικτών χαρτοφυλακίων) στη σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίου. Όπως θα δούμε και παρακάτω, το αποτελεσματικό μέτωπο σε διαγράμματα (σ, E) είναι σε κάθε περίπτωση μια κοίλη συνάρτηση (concave function) που δεν είναι δυνατόν να περιέχει κυρτά τμήματα καθώς ο συνδυασμός χρεογράφων ή χαρτοφυλακίων χρεογράφων δεν είναι δυνατόν να συνεπάγεται μεγαλύτερο κίνδυνο από τον κίνδυνο που εκφράζεται μέσω του ευθύγραμμου τμήματος το οποίο συνδέει τα συγκεκριμένα χρεόγραφα ή χαρτοφυλάκια.



Γράφημα 1.4 Σύνολο βέλτιστων εφικτών συνδυασμών (E, V) κατά Markowitz 1952

(Πηγή : Portfolio Selection , Markowitz 1952)

Ο Markowitz πίστεψε ότι το μεθοδολογικό πλαίσιο μέσου διακύμανσης πρέπει να χρησιμοποιείται και να κατευθύνει την επενδυτική συμπεριφορά στα πλαίσια του δευτέρου σταδίου της διαδικασίας επιλογής χαρτοφυλακίου και τόνισε :

- Ο κανόνας E-V (E –V rule) συνεπάγεται διαφοροποίηση για ένα μεγάλο εύρος τιμών της αναμενόμενης απόδοσης χρεογράφων (μ_i) και της συνδιακύμανσης

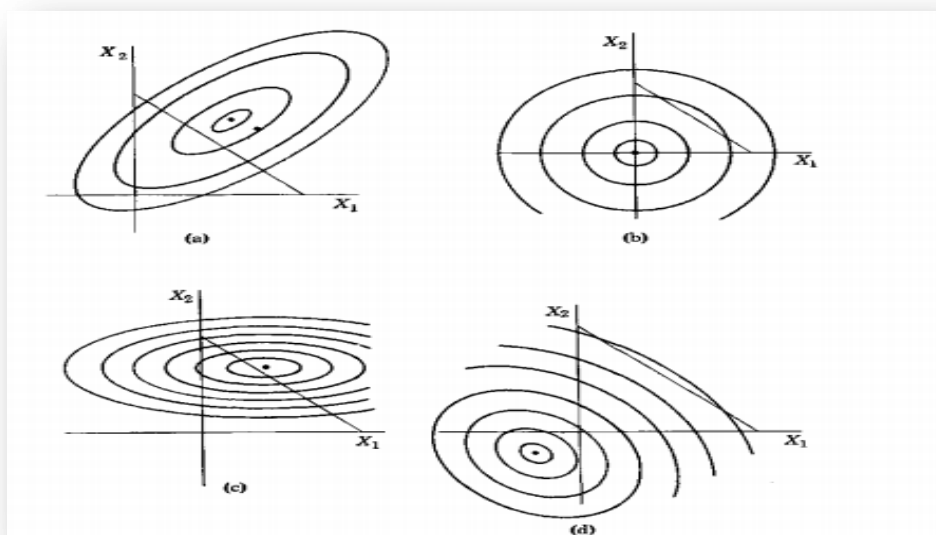
(σ_{ij}) και οδηγεί σε αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια.

- Η διαφοροποίηση συμβάλει αποτελεσματικά στον προσδιορισμό του βέλτιστου επενδυτικού χαρτοφυλακίου αλλά πρέπει να πραγματοποιείται με το σωστό τρόπο. Για παράδειγμα υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης ενός μόνο χρεογράφου που να υπερτερεί σχετικά με διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια τόσο σε αναμενόμενη απόδοση όσο και σε διακύμανση.
- Ο κανόνας E-V αποτελεί ένα λογικό λειτουργικό αξίωμα για μια μεγάλη ποικιλία επενδυτικών μονάδων που θεωρούν την απόδοση "επωφελές πράγμα", τον κίνδυνο "ανεπιθύμητο πράγμα" και ότι η αλόγιστη επιδίωξη ρίσκου πρέπει να αποφεύγεται.
- Το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε θεωρητικές αναλύσεις αλλά κυρίως στην πραγματική επιλογή επενδυτικού χαρτοφυλακίου. Στην εν λόγω περίπτωση θα πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί ένα δοκιμαστικό σύνολο λογικών τιμών για τα μ_i , σ_{ij} και το σύνολο αυτό να αναθεωρηθεί εφόσον κάποιες παράμετροι δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Εν συνεχεία, με την χρήση του συγκεκριμένου ορθότερου αναθεωρημένου συνόλου αρχικών δεδομένων, ο επενδυτής μπορεί να επιλέξει το βέλτιστο εφικτό συνδυασμό (E, V) που προτιμά.

1.2.2 Portfolio Selection (1959)

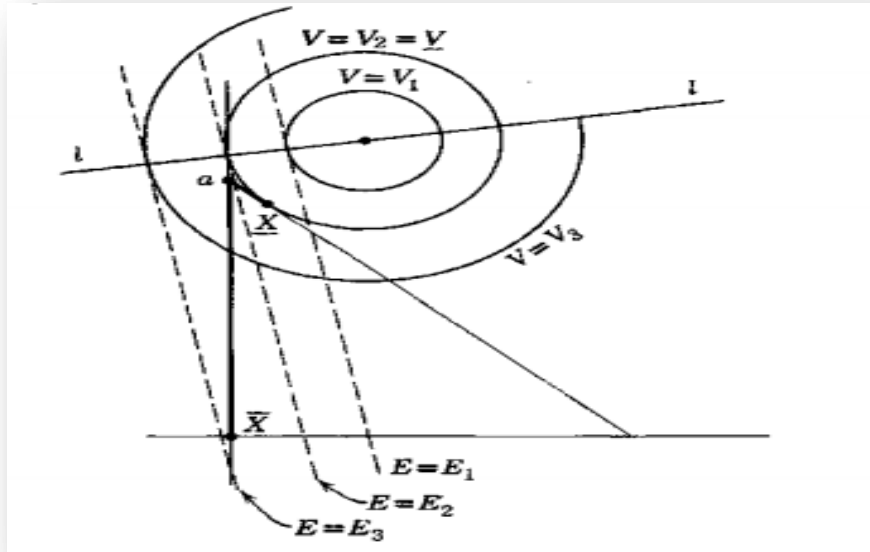
Το 1959 ο Harry Markowitz εξέδωσε το βιβλίο με τίτλο 'Portfolio Selection' στα πλαίσια επέκτασης και μαθηματικής θεμελίωσης της θεωρίας του σχετικά με την διαχείριση χαρτοφυλακίου. Στο εν λόγω βιβλίο εστίασε στην σχέση μεταξύ χρεογράφων και χαρτοφυλακίων κάνοντας εκτενείς αναλύσεις και υπολογισμούς στατιστικών μεγεθών όπως η τυπική απόκλιση και η διακύμανση στα πλαίσια συγκεκριμένων παραδειγμάτων χρεογράφων και χαρτοφυλακίων, επικεντρώθηκε στο επενδυτικό πλαίσιο που συμπεριλαμβάνει μεγάλο αριθμό χρεογράφων και ασχολήθηκε με το μέγεθος της απόδοσης σε μακροχρόνια βάση.

Στο τρίτο κεφάλαιο του βιβλίου του ασχολήθηκε με τον προσδιορισμό αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων και έδωσε ένα στέρεο και εκτενές μαθηματικό υπόβαθρο στην μελέτη του που προηγήθηκε το 1952. Συγκεκριμένα υπολόγισε τη μορφή και τις αναλυτικές σχέσεις για τις παράλληλες ευθείες ισομέσου και για τις ομόκεντρες ελλείψεις ισοδιακύμανσης στην περίπτωση τριών και τεσσάρων χρεογράφων. Επιπλέον έδειξε σχηματικά, όπως φαίνεται και στο γράφημα 1.5, τις θέσεις που ενδέχεται να έχει το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης σχετικά με το τρίγωνο εφικτών συνδυασμών και σχολίασε την κάθε υποπερίπτωση.



Γράφημα 1.5 Πιθανές θέσεις κέντρου για τις οικογένειες ομόκεντρων ελλείψεων ισοδιακύμανσης (Πηγή: Portfolio Selection, Markowitz 1959)

Ακολούθως στη περίπτωση τριών χρεογράφων παρέθεσε σχετικό γράφημα (γράφημα 1.6) που εμπειρείχε τις καμπύλες ισομέσου και ισοδιακύμανσης και εξήγησε πως κάθε ευθεία με δεδομένη αναμενόμενη απόδοση εφάπτεται μόνο σε μία καμπύλη δεδομένης διακύμανσης ενώ με όλες τις άλλες έχει δύο ή κανένα κοινό σημείο. Στο εν λόγω γράφημα βλέπουμε πως το σύνολο αυτών των σημείων απεικονίζονται με την ευθεία II (critical line).



Γράφημα 1.7 Γεωμετρική επίλυση συστήματος για την εύρεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων όπου το κέντρο των ελλείψεων ισοδιακύμανσης βρίσκεται εκτός του τριγώνου εφικτών συνδυασμών και η ευθεία II δεν τέμνει κάποιο σύνορο εφικτών συνδυασμών (Πηγή : Portfolio Selection , Markowitz 1959)

1.3 Η έννοια της Απόδοσης και του Κινδύνου

1.3.1 Απόδοση και κίνδυνος χρεογράφων

Για τον προσδιορισμό της αναμενόμενης απόδοσης και του κινδύνου στη περίπτωση χρεογράφων κάνουμε χρήση των μαθηματικών στατιστικών μεγεθών της μέσης τιμής και της διακύμανσης (ή της τυπικής απόκλισης) αντιστοίχως. Συγκεκριμένα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δείγμα ιστορικών στοιχείων υποθέτοντας ότι η συμπεριφορά των χρεογράφων στο παρελθόν θα αντικατοπτρίσει την μελλοντική τους συμπεριφορά, ή μπορούμε να κάνουμε χρήση πιθανών μελλοντικών τιμών για τιμές των αποδόσεων τους.

Συγκεκριμένα, για την αναμενόμενη απόδοση (expected return) ενός χρεογράφου αναφορικά σε ένα διαθέσιμο δείγμα N διαφορετικών παρελθοντικών αποδόσεων του χρεογράφου i , η αναμενόμενη απόδοση $E(r_i)$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E(r_i) = \sum_{j=1}^N \frac{r_{ij}^{(past)}}{N}$$

όπου $r_{ij}^{(past)}$ η j παρελθοντική απόδοση του i χρεογράφου. Στην περίπτωση που για τον υπολογισμό της αναμενόμενης απόδοσης λαμβάνουμε υπόψη μια σειρά μελλοντικών χρονικών περιόδων κατά τις οποίες οι αποδόσεις του i χρεογράφου θεωρούνται ισοπίθανες, η αναμενόμενη απόδοση δίνεται από τη σχέση :

$$E(r_i) = \sum_{j=1}^N \frac{r_{ij}^{(future)}}{N}$$

όπου $r_{ij}^{(future)}$ η j μελλοντική απόδοση του i χρεογράφου. Τέλος , όταν οι μελλοντικές αποδόσεις του χρεογράφου δεν θεωρούνται ισοπίθανες, η αναμενόμενη απόδοση δίνεται από τη σχέση :

$$E(r_i) = \sum_{j=1}^N P_{ij} r_{ij}^{(future)}$$

όπου P_{ij} η πιθανότητα πραγματοποίησης της j μελλοντικής απόδοσης του i χρεογράφου.

Ως μέτρο του κινδύνου (ή του ρίσκου) που ενσωματώνεται στην επένδυση ενός χρεογράφου, χρησιμοποιούμε την διακύμανση της απόδοσης (variance of returns) ή την τυπική απόκλιση (standard deviation) που δεν είναι τίποτα άλλο από την τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης. Συγκεκριμένα, για τη διακύμανση της απόδοσης ενός χρεογράφου αναφορικά σε ένα διαθέσιμο δείγμα N διαφορετικών παρελθοντικών αποδόσεων του χρεογράφου i έχουμε :

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{ij}^{(past)} - E(r_i)]^2}{N}$$

Για τη διακύμανση της απόδοσης ενός χρεογράφου αναφορικά σε μια σειρά μελλοντικών χρονικών περιόδων κατά τις οποίες οι αποδόσεις του i χρεογράφου θεωρούνται ισοπίθανες έχουμε :

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{ij}^{(future)} - E(r_i)]^2}{N}$$

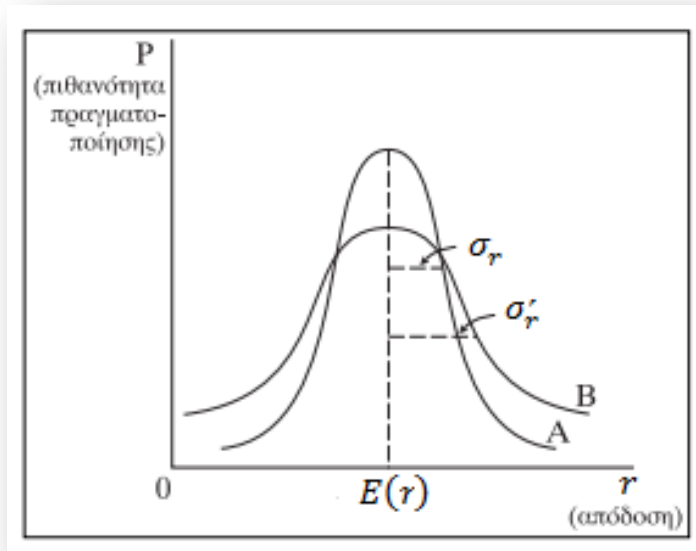
Τέλος, στην περίπτωση που οι μελλοντικές αποδόσεις του χρεογράφου δεν θεωρούνται ισοπίθανες, τη διακύμανση της απόδοσης του είναι :

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^N P_{ij} [r_{ij}^{(future)} - E(r_i)]^2$$

Όπως αναφέραμε και πριν, η τυπική απόκλιση δεν είναι τίποτα άλλο από την τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και εκφράζει ένα μέτρο της διακύμανσης της απόδοσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος (ή το ρίσκο) που ενσωματώνεται σε ένα χρεόγραφο. Όσον αφορά λοιπόν στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούμε ένα διαθέσιμο δείγμα N διαφορετικών παρελθοντικών αποδόσεων του χρεογράφου i , η τυπική απόκλιση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{[r_{ij} - E(r_i)]^2}{N}}$$

Η τυπική απόκλιση μετρά τη διασπορά των πιθανοτήτων αποδόσεων (r_{ij}) γύρω από το μέσο, που είναι η μαθηματική προσδοκία απόδοσης ή η μέση προσδοκώμενη(αναμενόμενη) τιμή $E(r)$. Όσο πιο μικρή είναι η τυπική απόκλιση τόσο οι πιθανότητες απόδοσης θα συγκεντρώνονται πλησιέστερα προς την προσδοκώμενη (αναμενόμενη) απόδοση και, επομένως, τόσο μικρότερος θα είναι ο κίνδυνος του αβέβαιου αποτελέσματος και αντίθετα. Στο ακόλουθο γράφημα παρουσιάζονται δύο κανονικές κατανομές με την ίδια μαθηματική προσδοκία απόδοσης, αλλά με διαφορετική τυπική απόκλιση. Η κατανομή A , αν και έχει την ίδια προσδοκώμενη απόδοση με την κατανομή B , ωστόσο περικλείει μικρότερη αβεβαιότητα πραγματοποίησης και, επομένως, μικρότερο κίνδυνο σε σχέση με την κατανομή B .



Γράφημα 1.8 Αναπαράσταση κανονικών κατανομών με την ίδια μαθηματική προσδοκία απόδοσης και διαφορετική τυπική απόκλιση

1.3.2 Απόδοση και κίνδυνος χαρτοφυλακίων

Υποθέτουμε χαρτοφυλάκιο p το οποίο αποτελείται από πλήθος χρεογράφων n . Η απόδοση του χαρτοφυλακίου p (r_p) δίνεται από τη σχέση:

$$r_p = \sum_{i=1}^n X_i r_i$$

Όπου r_i η απόδοση του χρεογράφου i και X_i το ποσοστό του επενδυόμενου κεφαλαίου στο χρεόγραφο i . Αν $E(r_i)$ είναι η αναμενόμενη απόδοση του χρεογράφου i , τότε η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου p $E(r_p)$ δίνεται από τη σχέση :

$$E(r_p) = E\left(\sum_{i=1}^n X_i r_i\right) = \sum_{i=1}^n E(X_i r_i) = \sum_{i=1}^n X_i E(r_i)$$

Για την περίπτωση δύο χρεογράφων (n=2) η απόδοση του χαρτοφυλακίου r_p και η αναμενόμενη απόδοση του ($E(r_p)$) δίνονται από τις σχέσεις :

$$r_p = X_1 r_1 + X_2 r_2$$

$$E(r_p) = X_1 E(r_1) + X_2 E(r_2)$$

και για την τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου r έχουμε :

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \sqrt{\sigma_p^2} = \sqrt{E[r_p - E(r_p)]^2} \\ &= \sqrt{E[X_1 r_1 + X_2 r_2 - X_1 E(r_1) - X_2 E(r_2)]^2} \\ &= \sqrt{E\{ X_1 [r_1 - E(r_1)] + X_2 [r_2 - E(r_2)] \}^2} \\ &= \sqrt{E\{ X_1^2 [r_1 - E(r_1)]^2 + X_2^2 [r_2 - E(r_2)]^2 + 2X_1 X_2 [r_1 - E(r_1)][r_2 - E(r_2)] \}} \\ &= \sqrt{X_1^2 E[r_1 - E(r_1)]^2 + X_2^2 E[r_2 - E(r_2)]^2 + 2X_1 X_2 E\{ [r_1 - E(r_1)][r_2 - E(r_2)] \}} \\ &\Rightarrow \sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + X_2^2 \sigma_2^2 + 2X_1 X_2 COV(r_1 r_2)} \end{aligned}$$

όπου

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 &= E[r_1 - E(r_1)]^2 = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{1j} - E(r_1)]^2}{N} \\ \sigma_2^2 &= E[r_2 - E(r_2)]^2 = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{2j} - E(r_2)]^2}{N} \\ COV(r_1 r_2) &= (E\{ [r_1 - E(r_1)][r_2 - E(r_2)] \}) = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{1j} - E(r_1)][r_{2j} - E(r_2)]}{N} \end{aligned}$$

όπου σ_i^2 ($i = 1,2$) είναι οι διακυμάνσεις των αποδόσεων των χρεογράφων και $COV(r_1 r_2)$ η συνδιακύμανση (covariance) μεταξύ αυτών.

Η συνδιακύμανση αποτελεί ένα στατιστικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για να καθοριστεί το κατά πόσο δύο περιοχές δεδομένων μεταβάλλονται μαζί. Συγκεκριμένα, αποτελεί ένα απόλυτο μέτρο της συν-κίνησης (co-movements) μεταξύ των τιμών των αποδόσεων δύο χρεογράφων. Στη γενική περίπτωση, η συνδιακύμανση μεταξύ δύο χρεογράφων X, Y δίνεται από τη σχέση :

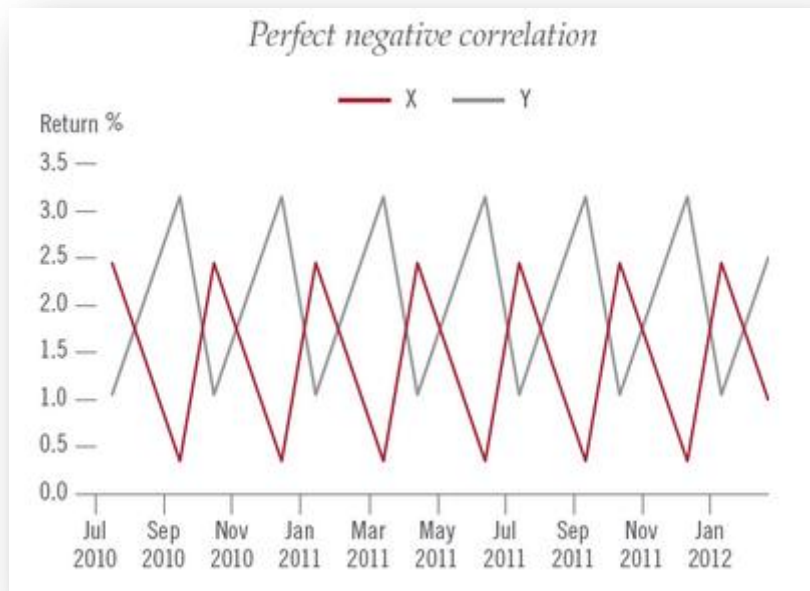
$$COV(r_X r_Y) = E\{ [r_X - E(r_X)][r_Y - E(r_Y)] \} = \sum_{j=1}^N \frac{[r_{Xj} - E(r_X)][r_{Yj} - E(r_Y)]}{N}$$

Ένα επιπρόσθετο μέγεθος μέσω του οποίου μπορεί να επεξηγηθεί το πως οι τιμές των αποδόσεων των χρεογράφων κινούνται μαζί, είναι ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient). Συγκεκριμένα, ο συντελεστής συσχέτισης είναι ένα στατιστικό μέγεθος της σχετικής συν-κίνησης (co-movements) μεταξύ των τιμών των αποδόσεων χρεογράφων το οποίο μετρά την έκταση στην οποία οι τιμές των αποδόσεων δύο χρεογράφων σχετίζονται, ωστόσο δηλώνει μόνο σχέση και όχι αιτιότητα. Στη γενική περίπτωση δύο χρεογράφων X, Y με συνδιακύμανση $COV(r_X r_Y)$ και τυπικές αποκλίσεις σ_i ($i = X, Y$) ο συντελεστής συσχέτισης δίνεται από τη σχέση :

$$\rho_{XY} = \frac{COV(r_X r_Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

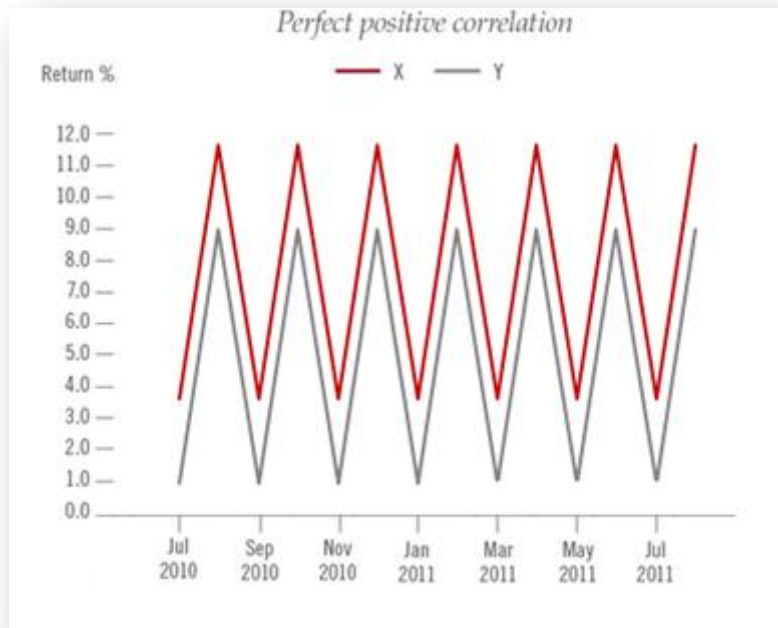
Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές από -1 (περίπτωση τέλει αρνητικής συσχέτισης) έως +1 (περίπτωση τέλει θετικής συσχέτισης) ενώ όταν οι αποδόσεις μεταξύ των δύο χρεογράφων είναι ασυσχέτιστες, λαμβάνει μηδενική τιμή. Στην περίπτωση της τέλει αρνητικής συσχέτισης (perfect negative correlation) (γράφημα 1.9), οι τιμές των αποδόσεων των δύο χρεογράφων σχετίζονται γραμμικά και αρνητικά, δηλαδή η μεταβολή στις τιμές της απόδοσης του ενός χρεογράφου συνεπάγεται ίδια ποσοστιαία μεταβολή στις αποδόσεις του άλλου προς αντίθετη κατεύθυνση. Για παράδειγμα, εάν σημειωθεί αύξηση στην τιμή της απόδοσης του

χρεογράφου X σε ποσοστό 5%, τότε αυτή θα συνοδεύεται από ταυτόχρονη ισοποσοστιαία μείωση της τιμής της απόδοσης του χρεογράφου Y.



Γράφημα 1.9 Περίπτωση τέλει αρνητικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα X, Y
($\rho_{XY} = -1$)

Στην περίπτωση της τέλει θετικής συσχέτισης (perfect positive correlation) (γράφημα 1.10), οι τιμές των αποδόσεων των δύο χρεογράφων σχετίζονται γραμμικά και θετικά, δηλαδή η μεταβολή στις τιμές της απόδοσης του ενός χρεογράφου συνεπάγεται ίδια ποσοστιαία μεταβολή στις αποδόσεις του άλλου. Για παράδειγμα, εάν σημειωθεί αύξηση στην τιμή της απόδοσης του χρεογράφου X σε ποσοστό 5% , τότε αυτή θα συνοδεύεται από ταυτόχρονη ισοποσοστιαία αύξηση της τιμής της απόδοσης του χρεογράφου Y. Τέλος, στην περίπτωση που οι αποδόσεις μεταξύ των δύο χρεογράφων είναι ασυσχέτιστες (no correlation), οι τιμές των αποδόσεων μεταβάλλονται με ανεξάρτητο τρόπο.



Γράφημα 1.10 Περίπτωση τέλεις θετικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα X, Y
 ($\rho_{XY} = +1$)

Στη γενική περίπτωση ενός χαρτοφυλακίου n χρεογράφων, η αναμενόμενη απόδοση του $E(r_p)$ και η τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου σ_p θα δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n X_i E(r_i)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_i X_j \text{COV}(r_i, r_j)}$$

όπου $E(r_i)$ με $i=1, 2, \dots, n$ είναι η αναμενόμενη απόδοση του χρεογράφου i ,
 X_i, X_j με $i, j=1, 2, \dots, n$ είναι τα επενδύσιμα ποσοστά του κεφαλαίου στα χρεόγραφα i, j

σ_i^2 με $i=1, 2, \dots, n$ είναι η διακύμανση των αποδόσεων του χρεογράφου i

$COV(r_i r_j)$ με $i, j = 1, 2, \dots, n$ είναι η συνδιακύμανση μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων i, j

Αν γράψουμε τις δύο παραπάνω σχέσεις με τη χρήση πινάκων έχουμε :

$$E(r_p) = \mathbf{E}(\mathbf{r})^T \mathbf{X}$$

$$\sigma_p = [\mathbf{X}^T \mathbf{V} \mathbf{X}]^{1/2}$$

όπου $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \begin{bmatrix} E(r_1) \\ E(r_2) \\ \vdots \\ E(r_n) \end{bmatrix}$ είναι ο πίνακας διαστάσεων $(n \times 1)$ με τις αναμενόμενες

αποδόσεις των χρεογράφων i με $i=1, 2, \dots, n$

$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}$ είναι ο πίνακας διαστάσεων $(n \times 1)$ με το επενδύμενα ποσοστά του

κεφαλαίου στα χρεόγραφα i με $i=1, 2, \dots, n$

$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \dots & COV(r_1 r_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ COV(r_n r_1) & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$ είναι ένας συμμετρικός πίνακας διαστάσεων

$(n \times n)$ και ονομάζεται πίνακας διακύμανσης – συνδιακύμανση (variance–covariance matrix). Όλα τα στοιχεία του πλην των στοιχείων της διαγωνίου του (για $i, j=1, 2, \dots, n$ με $i \neq j$) αποτελούν τις συνδιακυμάνσεις $COV(r_i r_j)$ μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων ενώ τα στοιχεία της διαγωνίου του εν λόγω πίνακα αποτελούν τις διακυμάνσεις σ_i^2 .

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη μαθηματική σχέση που δίνει την τυπική απόκλιση χαρτοφυλακίου με την μορφή πινάκων, θα δούμε μια απλή αριθμητική εφαρμογή υπολογισμού του κινδύνου στην περίπτωση τριών χρεογράφων. Έστω λοιπόν ότι ο συμμετρικός πίνακας διακύμανσης – συνδιακύμανσης τριών μετοχών είναι : $\mathbf{V} =$

$$\begin{bmatrix} 24\% & -10\% & 25\% \\ -10\% & 75\% & 32\% \\ 25\% & 32\% & 12\% \end{bmatrix}$$
 και τα ποσοστά συμμετοχής των μετοχών στο

χαρτοφυλάκιο είναι : $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 10\% \\ 80\% \\ 10\% \end{bmatrix}$

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω με τον όρο συνδιακύμανση ορίζεται η έκταση στην οποία δύο τυχαίες μεταβλητές συν-κινούνται στο χρόνο. Για παράδειγμα η συνδιακύμανση των αποδόσεων των μετοχών 1 και 2 , $COV(r_1 r_2)$, ισούται με $-0,10$ και είναι η μόνη αρνητική τιμή συνδιακύμανσης στον πίνακα. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των αποδόσεων των μετοχών 1 , 2 κινούνται προς αντίθετη κατεύθυνση στο χρόνο. Όσον αφορά στο βαθμό συν-κίνησης των μετοχών 1,3 και 2,3 στο χρόνο παρατηρούμε ότι οι συνδιακυμάνσεις τους είναι θετικές [$COV(r_1 r_3) = 0,25$, $COV(r_2 r_3) = 0,32$] που σημαίνει ότι οι αποδόσεις των μετοχών κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Ο κίνδυνος για το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης του χαρτοφυλακίου και είναι :

$$\begin{aligned} \sigma_p &= [\mathbf{X}^T \mathbf{V} \mathbf{X}]^{1/2} = \left\{ [0,1 \quad 0,8 \quad 0,1] \begin{bmatrix} 0,24 & -0,10 & 0,25 \\ -0,10 & 0,75 & 0,32 \\ 0,25 & 0,32 & 0,12 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,8 \\ 0,1 \end{bmatrix} \right\}^{1/2} \\ &= \left\{ [0,1 \quad 0,8 \quad 0,1] \begin{bmatrix} -0,031 \\ 0,622 \\ 0,293 \end{bmatrix} \right\}^{1/2} = (0,5238)^{1/2} = 0,72374 \end{aligned}$$

Τέλος, στη γενική περίπτωση χαρτοφυλακίου n χρεογράφων μπορούμε να εκφράσουμε την τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου (σ_p), κάνοντας χρήση του συντελεστή συσχέτιση, μέσω της ακόλουθης σχέσης :

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_i X_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}}$$

Όπου X_i , X_j με $i, j=1, 2, \dots, n$ είναι τα επενδύσιμα ποσοστά του κεφαλαίου στα χρεόγραφα i, j ,

σ_i^2 με $i=1, 2, \dots, n$ είναι η διακύμανση των αποδόσεων του χρεογράφου i , σ_i, σ_j με $i, j=1, 2, \dots, n$ είναι οι τυπικές αποκλίσεις για τα χρεόγραφα i, j και ρ_{ij} με $i, j=1, 2, \dots, n$ και $(i \neq j)$ είναι ο συντελεστή συσχέτισης για τις αποδόσεις των χρεογράφων i, j

1.4 Η Αρχή της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου

Η διαφοροποίηση χαρτοφυλακίου είναι η στρατηγική περιορισμού του κινδύνου με την συνένωση των κινδύνων που εμπεριέχουν διάφορα περιουσιακά στοιχεία συσχετισμένων ή ασυσχέτιστων ατομικών αποδόσεων. Στην πράξη βέβαια η υπόθεση περί ασυσχέτιστων αποδόσεων μεταξύ χρεογράφων δεν είναι ρεαλιστική. Όπως είδαμε και πριν, η αναμενόμενη απόδοση ενός χαρτοφυλακίου συνδέεται με τις σταθμισμένες αποδόσεις των χρεογράφων που εμπεριέχονται μέσα σε αυτό, μέσω μιας γραμμικής σχέσης όπου οι συντελεστές βαρύτητας της στάθμισης είναι η ποσοστιαία συμμετοχή του κάθε αξιόγραφου στο χαρτοφυλάκιο. Η γραμμικότητα της σχέσης αυτής μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απόδοση του χαρτοφυλακίου δεν μπορεί να λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή από την απόδοση του αποδοτικότερου αξιόγραφου και δεν μπορεί να είναι μικρότερη της απόδοσης του λιγότερο αποδοτικού αξιόγραφου που βρίσκεται στο χαρτοφυλάκιο. Ωστόσο ο κίνδυνος ενός χαρτοφυλακίου, που εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης, δεν συνδέεται με το κίνδυνο των επιμέρους αξιόγραφων μέσω γραμμικής σχέσης και γι'αυτό θα είχε ενδιαφέρον η μελέτη του.

Έστω χαρτοφυλάκιο n χρεογράφων ενώ παράλληλα γίνεται η υπόθεση περί ασυσχέτιστων αποδόσεων μεταξύ των χρεογράφων αυτών. Υποθέτουμε δηλαδή ότι $\sigma_{ij} = 0$ για κάθε συνδυασμό χρεογράφων i, j . Επίσης υποθέτω ισοκατανομή διαθέσιμου επενδυτικού κεφαλαίου μεταξύ των χρεογράφων. Δηλαδή:

$$X_1 = X_2 = \dots = X_i = \dots = X_n = \frac{1}{n}$$

Ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου λοιπόν θα εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης μέσω της σχέσεως :

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \sigma_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \sigma_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \bar{\sigma}_i^2}$$

Όπου $\bar{\sigma}_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \sigma_i^2$: η μέση διακύμανση των αποδόσεων των n χρεογράφων του χαρτοφυλακίου

Έχουμε λοιπόν :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_p = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sqrt{\frac{1}{n} \bar{\sigma}_i^2} \right) = 0$$

Από την σχέση που καταλήγουμε για τον κίνδυνο του χαρτοφυλακίου μέσω της τυπικής απόκλισης, διαπιστώνουμε ότι για αύξηση του αριθμού χρεογράφων n που συμμετέχουν στο χαρτοφυλάκιο, ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου μειώνεται. Και μηδενίζεται για $n \rightarrow \infty$. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η διαφοροποίηση ενός χαρτοφυλακίου (diversification) που συγκροτείται από χρεογράφα ασυσχέτιστων αποδόσεων περιορίζει σημαντικά τον κίνδυνο του.

Αν τώρα επιχειρήσουμε να εξετάσουμε την περίπτωση χαρτοφυλακίου n χρεογράφων με συσχετισμένες αποδόσεις ($\sigma_{ij} \neq 0$) και ισοκατανομή διαθέσιμου επενδυτικού κεφαλαίου, ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου θα εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης μέσω της ακόλουθης σχέσεως :

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_i X_j COV(r_i r_j)} = \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{n}\right)^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{1}{n}\right)^2 COV(r_i r_j)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \sigma_i^2 \right) + \frac{n-1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{(n^2 - n)} COV(r_i r_j) \right)} = \end{aligned}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n}(\bar{\sigma}_i^2) + \frac{n-1}{n}(\overline{COV}(r_i r_j))} = \sqrt{\frac{1}{n}(\bar{\sigma}_i^2 - \overline{COV}(r_i r_j)) + \overline{COV}(r_i r_j)}$$

Όπου $\bar{\sigma}_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \sigma_i^2$: η μέση διακύμανση των αποδόσεων των n χρεογράφων του χαρτοφυλακίου και $\overline{COV}(r_i r_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{1}{(n^2-n)} COV(r_i r_j)$ αναπαριστά την μέση συνδιακύμανση των αποδόσεων των n χρεογράφων του χαρτοφυλακίου. Η συγκεκριμένη μέση τιμή εξάγεται λαμβάνοντας πλήθος $(n^2 - n)$ όρων που εμπεριέχουν την συνδιακύμανση. Κάτι τέτοιο μπορούμε να το καταλάβουμε αν π.χ. θεωρήσουμε χαρτοφυλάκιο n=3 χρεογράφων. Ο πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης θα περιέχει $(3^2-3) = 6$ στο πλήθος όρους συνδιακύμανσης και 3 στο πλήθος όρους διακυμάνσεων. Για χαρτοφυλάκιο n=4 χρεογράφων, ο πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης θα περιέχει $(4^2-4) = 12$ στο πλήθος όρους συνδιακύμανσης και 4 στο πλήθος όρους διακυμάνσεων. Για χαρτοφυλάκιο πλήθους n χρεογράφων καταλήγουμε στην σχέση $(n^2 - n)$.

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε σε μια σχέση για την τυπική απόκλιση που μέσα στην τετραγωνική ρίζα υπάρχουν 2 όροι. Ο πρώτος όρος εμπεριέχει την μέση διακύμανση των αποδόσεων των χρεογράφων και στην ουσία εκφράζει τον κίνδυνο που προέρχεται από κάθε χρεόγραφο και ο δεύτερος όρος αποτελεί την μέση συνδιακύμανση των αποδόσεων των n χρεογράφων του χαρτοφυλακίου. Παίρνοντας το όριο για την τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου για $n \rightarrow \infty$ έχουμε :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_p = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sqrt{\frac{1}{n}(\bar{\sigma}_i^2 - \overline{COV}(r_i r_j)) + \overline{COV}(r_i r_j)} \right) = \sqrt{\overline{COV}(r_i r_j)}$$

Για αριθμό χρεογράφων χαρτοφυλακίου που τείνει στο άπειρο λοιπόν, ο πρώτος όρος μηδενίζεται και η τυπική απόκλιση για το χαρτοφυλάκιο ισούται πλέον με την τετραγωνική ρίζα της μέσης συνδιακύμανσης των αποδόσεων των n χρεογράφων του

χαρτοφυλακίου. Γίνεται λοιπόν εμφανής η σημασία και η επίδραση της διαφοροποίησης και σε αυτή την περίπτωση του χαρτοφυλακίου με συσχετισμένες αποδόσεις χρεογράφων .

Η αρχή της διαφοροποίησης αποτελεί θεμελιώδη κανόνα της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου και αναπτύχθηκε από τον Markowitz όπως είδαμε και στην αντίστοιχη παράγραφο. Διαπιστώσαμε λοιπόν την αισθητή μείωση του επενδυτικού κινδύνου στην περίπτωση διαμόρφωσης χαρτοφυλακίων που αποτελείται από μεγάλο αριθμό χρεογράφων. Ωστόσο υπάρχουν περισσότερα από ένα είδη κινδύνου όπως θα αναλυθεί ακολούθως και η διαφοροποίηση δεν μπορεί να μειώσει όλα τα είδη.

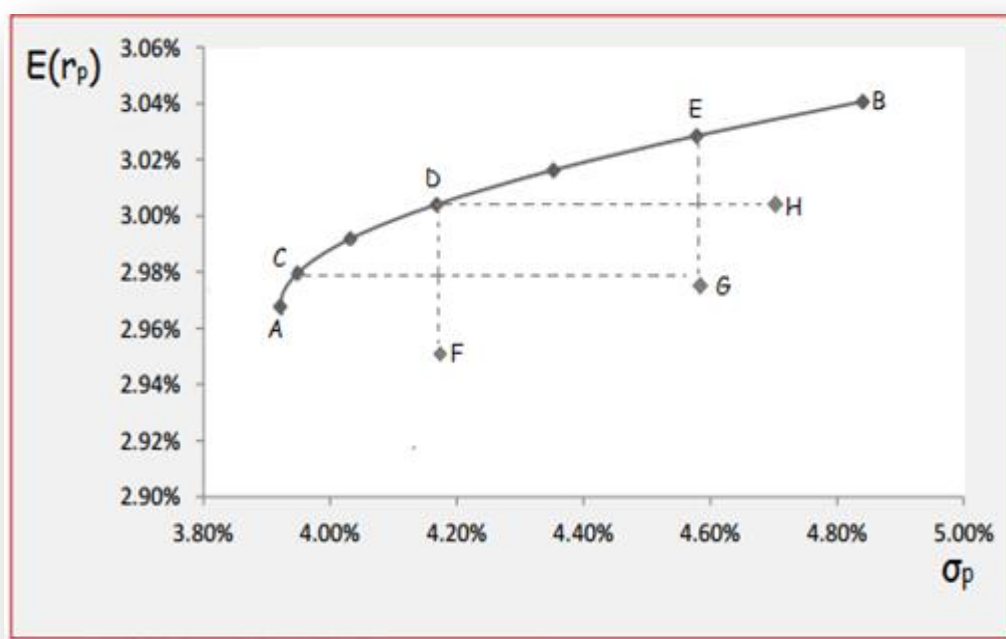
1.5 Προσδιορισμός αποτελεσματικού μετώπου

1.5.1 Εισαγωγή

Δύο βασικές έννοιες που δεσπόζουν στο θεμελιώδες υπόδειγμα μέσου-διακύμανσης (mean-variance portfolio analysis) είναι αυτές του αποτελεσματικού χαρτοφυλακίου (efficient portfolio ή non-dominated portfolio) και του αποτελεσματικού μετώπου (efficient frontier). Συγκεκριμένα, ένα χαρτοφυλάκιο \mathbf{P} ονομάζεται αποτελεσματικό εάν δεν υπάρχει κανένα άλλο χαρτοφυλάκιο \mathbf{W} το οποίο για ίδιο επίπεδο απόδοσης με το \mathbf{P} να έχει μικρότερο επίπεδο κινδύνου, ή αλλιώς για ίδιο επίπεδο κινδύνου με το \mathbf{P} να έχει μεγαλύτερη απόδοση. Αν προσπαθήσουμε να διατυπώσουμε τον παραπάνω ορισμό με σχέσεις έχουμε : Ένα χαρτοφυλάκιο \mathbf{P} καλείται αποτελεσματικό εάν και μόνο εάν \nexists κανένα άλλο χαρτοφυλάκιο \mathbf{W} τέτοιο ώστε $E(r_w) \geq E(r_p)$ και $\sigma_w < \sigma_p$ ή αλλιώς ώστε $E(r_w) > E(r_p)$ και $\sigma_w \leq \sigma_p$. Όπως φαίνεται και στο γράφημα 1.11 , τα χαρτοφυλάκια C , D ,E αποτελούν παράδειγμα αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων ενώ τα χαρτοφυλάκια F, G, H είναι μη αποτελεσματικά.

Το σύνολο των αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων συγκροτεί το αποτελεσματικό μέτωπο. Σε κάθε περίπτωση, το γράφημα του αποτελεσματικού μετώπου είναι μια κοίλη συνάρτηση (στρέφει τα κοίλα κάτω) και δεν είναι δυνατόν να εμπεριέχει κυρτά τμήματα καθότι ο συνδυασμός δύο χρεογράφων ή χαρτοφυλακίων δεν μπορεί να συνεπάγεται επίπεδο ρίσκου μεγαλύτερο από εκείνο που εκφράζεται μέσω του ευθυγράμμου τμήματος που ενώνει τις σημειακές απεικονίσεις τους. Στην περίπτωση

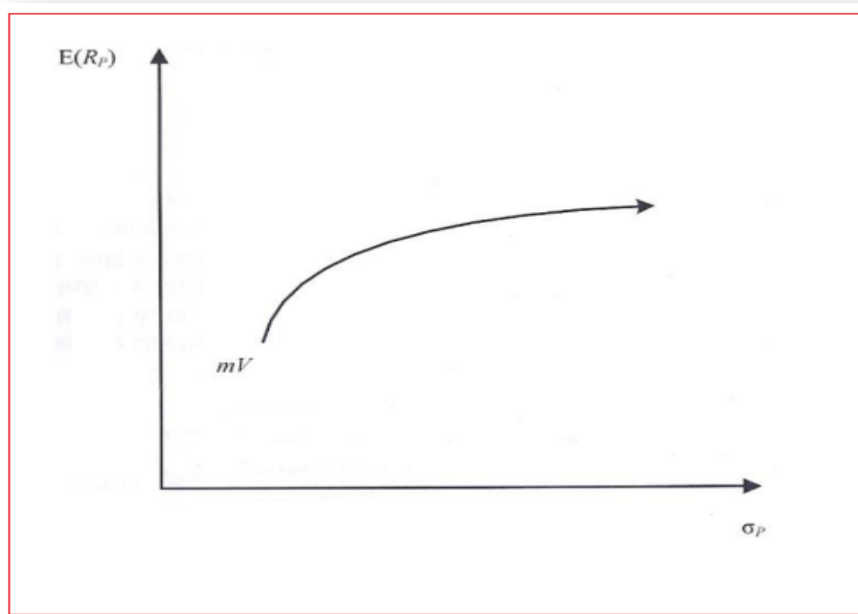
καθεστώτος απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων, δηλαδή απαγόρευσης των πωλήσεων χρεογράφων τα οποία ο επενδυτής δεν έχει στην κατοχή του, η κοίλη συνάρτηση του αποτελεσματικού μετώπου έχει ως άκρα το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου (κάτω άκρο) και εκείνο της μέγιστης απόδοσης (άνω άκρο) τα οποία απεικονίζονται σημειακά στο παράδειγμα του γραφήματος 1.11 μέσω των χαρτοφυλακίων A, B αντιστοίχως.



Γράφημα 1.11 Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεσματικού μετώπου σε καθεστώς όπου δεν επιτρέπονται οι ανοιχτές πωλήσεις

Στην περίπτωση καθεστώτος όπου επιτρέπονται οι ανοιχτές πωλήσεις (short selling), η μορφή του αποτελεσματικού μετώπου αλλάζει ως προς το άνω άκρο του. Το καθεστώς ανοικτών πωλήσεων αφορά τον δανεισμό ενός χρεογράφου που πραγματοποιείται, λόγω χάρη, από κάποια χρηματιστηριακή εταιρεία που αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει μια συναλλαγή καθώς ο πωλητής δεν έχει στην κατοχή του το χρεόγραφο. Συγκεκριμένα, η εταιρεία αυτή, είτε δανείζεται το χρεόγραφο από κάποιον άλλον επενδυτή, είτε το δανείζει η ίδια προς τον πωλητή. Ο πωλητής έχει την υποχρέωση να πραγματοποιήσει αγορά του χρεογράφου που πούλησε χωρίς να κατέχει και να το επιστρέψει σε όποιον του το δάνεισε, σε

βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Οι ανοιχτές πωλήσεις λαμβάνουν χώρα σε περιπτώσεις όπου ο πωλητής εκτιμά ότι η τιμή του χρεογράφου θα πέσει και άρα πουλώντας το σήμερα σε μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με αυτή που θα το επαναγοράσει μελλοντικά, θα αποκομίσει κέρδος. Ένας επενδυτής λοιπόν δύναται να πουλά ανοιχτά χρεόγραφα με τιμές που εκτιμά ότι θα έχουν καθοδική πορεία και με τα κέρδη που αποκομίζει να αγοράζει χρεόγραφα με τιμές που εκτιμά ότι θα έχουν ανοδική πορεία. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι είναι δυνατόν να συγκροτηθούν αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια χωρίς πεπερασμένο μέγιστο όριο αναμενόμενης απόδοσης. Έτσι το αποτελεσματικό μέτωπο θα είναι μια κοίλη καμπύλη, η οποία ξεκινάει από το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου κινδύνου και εκτείνεται στο άπειρο.



Γράφημα 1.12 Γράφημα αποτελεσματικού μετώπου σε καθεστώς μη απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων (Πηγή : Ξυδώνας Π. ,Ψαρράς Ι. ,Ζοπουνίδης Κ., - Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου, 2010)

1.5.2 Σχέση αναμενόμενης απόδοσης- κινδύνου και ελαχιστοποίηση κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα μελετήσουμε τον τρόπο προσδιορισμού της σχέσης αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου στην περίπτωση χαρτοφυλακίου που αποτελείται από δύο χρεόγραφα. Η εν λόγω μελέτη θα πραγματοποιηθεί σε καθεστώς απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων και θα καταλήξει στον προσδιορισμό των ποσοστών συμμετοχής των δύο χρεογράφων στο χαρτοφυλάκιο, για χαρακτηριστικές περιπτώσεις του συντελεστή συσχέτισης των δύο χρεογράφων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου.

Έστω λοιπόν χαρτοφυλάκιο δύο χρεογράφων τα οποία συμμετέχουν σε αυτό με ποσοστά X_1, X_2 , έχουν αναμενόμενες αποδόσεις $E(r_1), E(r_2)$, τυπικές αποκλίσεις σ_1, σ_2 και ο συντελεστής συσχέτισης τους είναι ρ_{12} . Ο κίνδυνος για το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο σ_p εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης με την σχέση :

$$\sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + X_2^2 \sigma_2^2 + 2X_1 X_2 COV(r_1 r_2)}$$

Η σύνθεση του χαρτοφυλακίου αφορά μόνο τα 2 χρεόγραφα που έχουν ποσοστιαία συμμετοχή X_1, X_2 . Οπότε το άθροισμα των ποσοστιαίων συμμετοχών τους θα ισούται με 1. Έχουμε λοιπόν :

$$\xrightarrow{X_2=1-X_1} \sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + (1 - X_1)^2 \sigma_2^2 + 2X_1(1 - X_1)\rho_{12}\sigma_1\sigma_2} \quad (5)$$

Ο υπολογισμός των ποσοστιαίων συμμετοχών των δύο χρεογράφων για ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου πραγματοποιείται ακολούθως ως εξής :

$$\frac{d\sigma_p}{dX_1} = 0 \Rightarrow \frac{2\sigma_1^2 X_1 - 2\sigma_2^2(1 - X_1) + 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2(-2X_1 + 1)}{2\sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + (1 - X_1)^2 \sigma_2^2 + 2X_1(1 - X_1)\rho_{12}\sigma_1\sigma_2}} = 0$$

$$\Rightarrow 2\sigma_1^2 X_1 - 2\sigma_2^2(1 - X_1) + 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2(-2X_1 + 1) = 0 \Rightarrow$$

$$X_1 = \frac{\sigma_2^2 - \rho_{12}\sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2} \quad (6)$$

Οπότε

$$X_2 = 1 - X_1 = \frac{\sigma_1^2 - \rho_{12}\sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2} \quad (7)$$

Οι δύο παραπάνω σχέσεις μας δίνουν τα βέλτιστα ποσοστά συμμετοχής των 2 χρεογράφων έτσι ώστε να προκύπτει ελαχιστοποίηση του επιπέδου του ρίσκου του χαρτοφυλακίου.

Για την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου έχω :

$$E(r_p) = X_1 E(r_1) + X_2 E(r_2)$$

$$\xrightarrow{X_2=1-X_1} E(r_p) = X_1 E(r_1) + (1 - X_1) E(r_2) \quad (8)$$

Εξετάζοντας τώρα τις χαρακτηριστικές περιπτώσεις του συντελεστή συσχέτισης των δύο χρεογράφων έχουμε:

✓ **Περίπτωση τέλει θετικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα ($\rho_{12} = +1$)**

Στην περίπτωση τέλει θετικής συσχέτισης, αρχικά θα υπολογίσουμε την σχέση απόδοσης- κινδύνου του χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων και θα την αναπαραστήσουμε γραφικά. Έχουμε λοιπόν :

$$(5) \xrightarrow{\rho_{12}=+1} \sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + (1 - X_1)^2 \sigma_2^2 + 2X_1(1 - X_1)\sigma_1\sigma_2} =$$

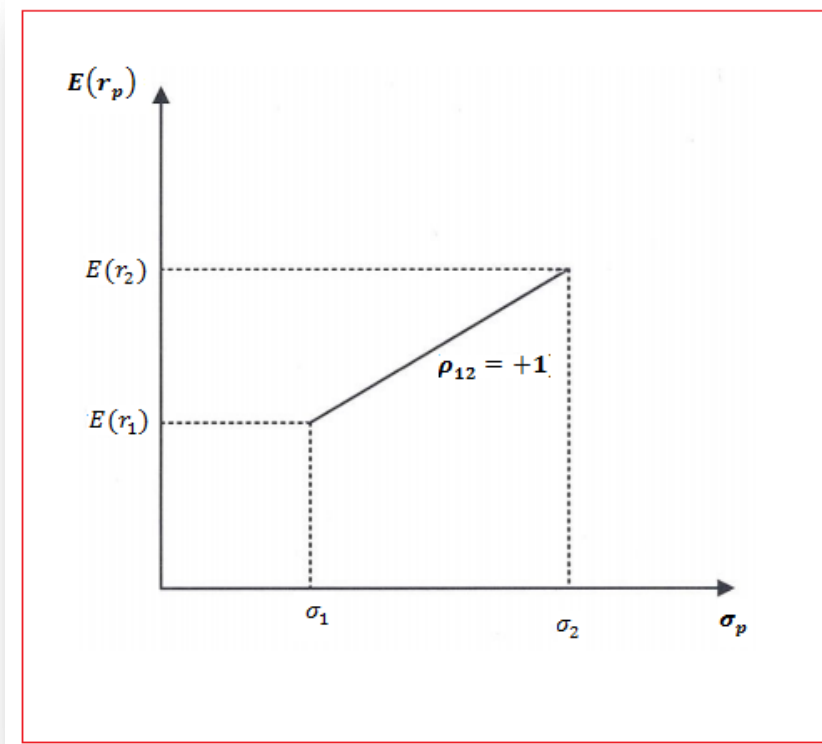
$$\sqrt{[X_1\sigma_1 + (1 - X_1)\sigma_2]^2} = X_1\sigma_1 + (1 - X_1)\sigma_2$$

$$\Rightarrow X_1 = \frac{\sigma_p - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2}$$

$$(8) \Rightarrow E(r_p) = \left(\frac{\sigma_p - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2} \right) E(r_1) + \left(1 - \frac{\sigma_p - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2} \right) E(r_2) \Rightarrow$$

$$E(r_p) = \left[E(r_2) - \left(\frac{E(r_1) - E(r_2)}{\sigma_1 - \sigma_2} \right) \sigma_2 \right] + \left(\frac{E(r_1) - E(r_2)}{\sigma_1 - \sigma_2} \right) \sigma_p \quad (9)$$

Η σχέση (9) μπορεί να παρασταθεί γραφικά στο επίπεδο απόδοσης – κινδύνου ως μια ευθεία μεταξύ των σημείων $(\sigma_1, E(r_1))$, $(\sigma_2, E(r_2))$



Γράφημα 1.13 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση της τέλει θετικής συσχέτισης

Για τον προσδιορισμό των ποσοστιαίων συμμετοχών των δύο χρεογράφων που οδηγούν στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου για την περίπτωση αυτή έχω :

$$(6) \xrightarrow{\rho_{12}=+1} X_1 = \frac{\sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_1\sigma_2} = \frac{\sigma_2(\sigma_2 - \sigma_1)}{(\sigma_2 - \sigma_1)^2} = \frac{\sigma_2}{(\sigma_2 - \sigma_1)}$$

Όμως επειδή $\sigma_1, \sigma_2 > 0$ και επειδή ισχύει $X_1 > 0$, εξαιτίας της υπόθεσης περί καθεστώς απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων, έχουμε $(\sigma_2 - \sigma_1) > 0$.

Τότε επειδή ο αριθμητής του κλάσματος είναι μεγαλύτερος από τον παρονομαστή οδηγούμαστε σε $X_1 > 1$ και άρα σε $X_2 < 0$. Καταλήξαμε λοιπόν σε άτοπο καθώς παραβιάζεται η αρχική υπόθεση περί μη δυνατότητας ανοικτών πωλήσεων. Άρα καταλήγουμε στο ότι η τιμή της τυπικής απόκλισης του χαρτοφυλακίου δεν είναι δυνατόν να μηδενιστεί χωρίς να παραβιάζεται η αρχικής μας υπόθεση. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν, ο επενδυτής δεν αποφεύγει κάποιο μέρος του κινδύνου συνδυάζοντας τα δύο χρεόγραφα σε ένα χαρτοφυλάκιο.

✓ **Περίπτωση τέλει αρνητικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα ($\rho_{12} = -1$)**

Για την περίπτωση τέλει αρνητικής συσχέτισης, ο προσδιορισμός της σχέσης απόδοσης- κινδύνου του χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων έχει ως εξής :

$$(5) \xrightarrow{\rho_{12}=-1} \sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + (1 - X_1)^2 \sigma_2^2 - 2X_1(1 - X_1)\sigma_1\sigma_2} =$$

$$\sqrt{[X_1\sigma_1 - (1 - X_1)\sigma_2]^2} = |X_1\sigma_1 - (1 - X_1)\sigma_2|$$

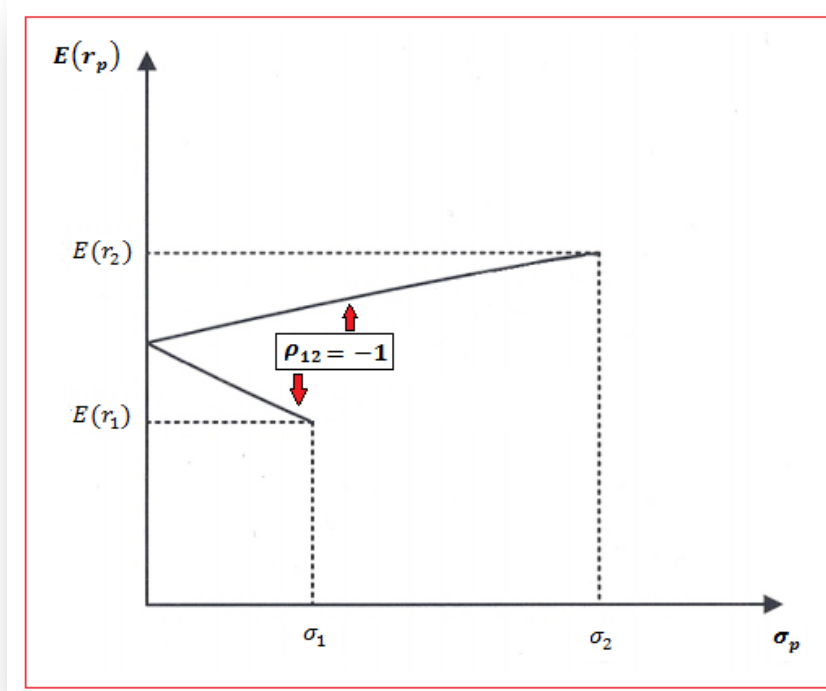
$$\Rightarrow X_1 = \frac{\sigma_2 \pm \sigma_p}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

$$(8) \Rightarrow E(r_p) = \left(\frac{\sigma_2 \pm \sigma_p}{\sigma_1 + \sigma_2}\right)E(r_1) + \left(1 - \frac{\sigma_2 \pm \sigma_p}{\sigma_1 + \sigma_2}\right)E(r_2) \Rightarrow$$

$$E(r_p) = \left[\left(\frac{\sigma_1 E(r_2) + \sigma_2 E(r_1)}{\sigma_1 + \sigma_2}\right)\sigma_2\right] \pm \left(\frac{E(r_1) - E(r_2)}{\sigma_1 + \sigma_2}\right)\sigma_p \quad (10)$$

Η σχέση (10) μπορεί να παρασταθεί γραφικά στο επίπεδο απόδοσης - κινδύνου ως δύο ευθείες οι οποίες τέμνουν τον άξονα της αναμενόμενης απόδοσης χαρτοφυλακίου

στο σημείο $(0, \frac{\sigma_1 E(r_2) + \sigma_2 E(r_1)}{\sigma_1 + \sigma_2})$ και καταλήγουν στα σημεία $(\sigma_1, E(r_1))$, $(\sigma_2, E(r_2))$.



Γράφημα 1.14 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση της τέλει αρνητικής συσχέτισης

Για τον προσδιορισμό των ποσοστών των δύο χρεογράφων που οδηγούν στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου για την περίπτωση αυτή έχω :

$$(6) \xrightarrow{\rho_{12}=-1} X_1 = \frac{\sigma_2^2 + \sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\sigma_1\sigma_2} = \frac{\sigma_2(\sigma_1 + \sigma_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)^2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

Σε αυτή την περίπτωση έχω $\sigma_1, \sigma_2 > 0$ και άρα $(\sigma_1 + \sigma_2) > \sigma_2$. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν προκύπτει : $0 < X_1 < 1$ και $0 < X_2 < 1$ και αντικαθιστώντας την

σχέση της ποσοστιαίας συμμετοχής του X_1 στον τύπο της τυπικής απόκλισης του χαρτοφυλακίου προκύπτει χαρτοφυλακίου μηδενικού ρίσκου με θετικές επενδύσεις.

✓ **Περίπτωση μηδενικής συσχέτισης για τα χρεόγραφα ($\rho_{12} = 0$)**

Για την περίπτωση μηδενικής συσχέτισης, ο προσδιορισμός της σχέσης απόδοσης-κινδύνου του χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων έχει ως εξής :

$$(5) \xrightarrow{\rho_{12}=0} \sigma_p = \sqrt{X_1^2 \sigma_1^2 + (1 - X_1)^2 \sigma_2^2}$$

Η παραπάνω σχέση αποτελεί μια δευτεροβάθμια εξίσωση της μορφής :

$KX_1^2 + \Lambda X_1 + M = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \Lambda^2 - 4KM > 0$ και δίνει αποτελέσματα:

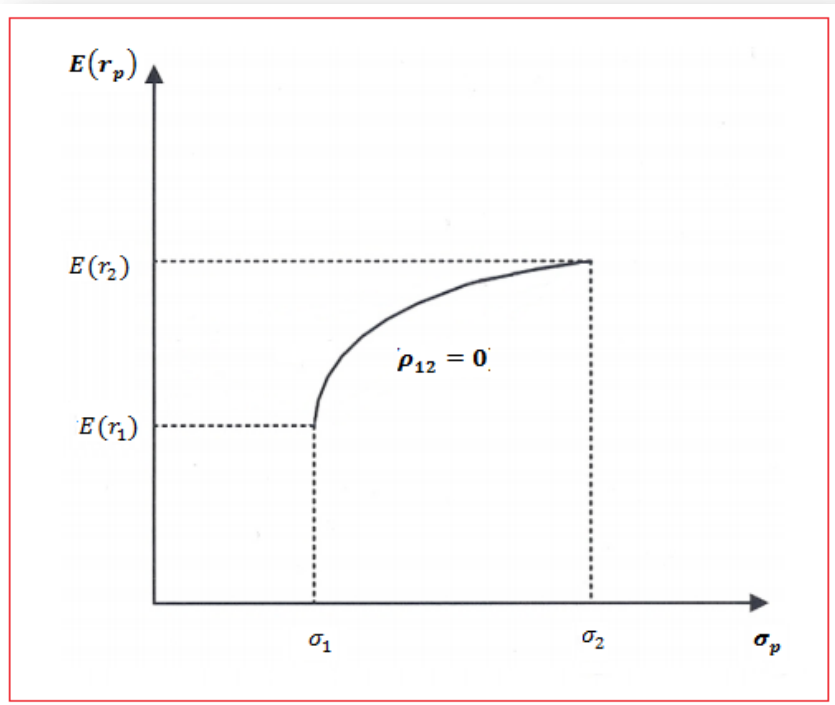
$$X_1^{(i)} = \frac{\sigma_2^2 + \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_p^2 - \sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_2^2 \sigma_p^2}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

$$X_1^{(ii)} = \frac{\sigma_2^2 - \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_p^2 - \sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_2^2 \sigma_p^2}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

$$(8) \Rightarrow E(r_p) = \left(\frac{\sigma_2^2 \pm \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_p^2 - \sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_2^2 \sigma_p^2}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) E(r_1) + \left(1 - \frac{\sigma_2^2 \pm \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_p^2 - \sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_2^2 \sigma_p^2}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) E(r_2)$$

$$\Rightarrow E(r_p) = E(r_2) + \left(\frac{\sigma_2^2 \pm \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_p^2 - \sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_2^2 \sigma_p^2}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \right) [E(r_1) - E(r_2)] \quad (11)$$

Η σχέση (11) εμπεριέχει δύο σχέσεις που στο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου αναπαριστώνται γραφικά μέσω μιας παραβολής. Η σχέση με το (+) αναπαριστά το άνω τμήμα της ενώ η σχέση με το (-) αναπαριστά το κάτω τμήμα της. Ο πεδίο ορισμού της συγκεκριμένης παραβολής αποτελεί το διάστημα $[\sigma_p^{min}, \sigma_2]$ όπου σ_p^{min} είναι η τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου ελαχίστου κινδύνου. (Θεωρώ $\sigma_1 < \sigma_2$ χωρίς βλάβη της γενικότητας)



Γράφημα 1.15 Συνάρτηση αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου χαρτοφυλακίου δύο χρεογράφων στην περίπτωση μηδενικής συσχέτισης

Για τον προσδιορισμό των ποσοστών των δύο χρεογράφων που οδηγούν στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου για την περίπτωση αυτή έχω :

$$(6) \xrightarrow{\rho_{12}=0} X_1 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

Αν αντικαταστήσουμε την σχέση που προέκυψε για την ποσοστιαία συμμετοχή του πρώτου χρεογράφου στην σχέση της τυπικής απόκλισης χαρτοφυλακίου προκύπτει ότι το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου κινδύνου έχει τυπική απόκλιση :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

Στην περίπτωση της μηδενικής συσχέτισης μεταξύ των αποδόσεων των δύο χρεογράφων του χαρτοφυλακίου, μπορεί να εξουδετερωθεί ένα μέρος του κινδύνου.

Καταλήγουμε λοιπόν στο ότι η θετική και η αρνητική συσχέτιση μεταξύ των χρεογράφων επηρεάζει την πρακτική συνένωση των κινδύνων, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο η διαφοροποίηση μεταβάλλει τον κίνδυνο. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι οι τραπεζικές μετοχές πάνε καλά μόνο όταν οι μετοχές πετρελαίου πάνε καλά και αντίστροφα. Η αγορά μιας από κάθε μετοχή είναι ακριβώς σαν να τοποθετεί κάποιος επενδυτής όλα του τα χρήματα σε μία μόνο μετοχή. Η διαφοροποίηση στην περίπτωση αυτή δεν έχει κανένα αποτέλεσμα. Όταν υφίσταται τέλεια θετική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων, η συνένωση των κινδύνων δεν λειτουργεί. Αντιθέτως, η διαφοροποίηση επιτυγχάνει θαυμάσια τον στόχο της όταν οι αποδόσεις συσχετίζονται αρνητικά και ιδιαιτέρως στην τέλεια αρνητική συσχέτιση. Τέλος, στην περίπτωση μηδενικής συσχέτισης μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων, η στρατηγική της διαφοροποίησης πετυχαίνει στον βαθμό εξουδετέρωσης ενός μέρος του κινδύνου.

1.5.3 Προσδιορισμός αποτελεσματικού μετώπου στην περίπτωση πολλών χρεογράφων

Στην συγκεκριμένη παράγραφο, θα ασχοληθούμε με τον προσδιορισμό του αποτελεσματικού μετώπου για χαρτοφυλάκια πολλών χρεογράφων. Θυμίζουμε ότι όλα τα σημεία του αποδοτικού μετώπου αποτελούν τους βέλτιστους – αποδοτικούς συνδυασμούς αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου και ισχύει ότι δεν υπάρχει άλλος

συνδυασμός, που για την ίδια αναμενόμενη απόδοση, να εμπεριέχει μικρότερο κίνδυνο ή ισοδύναμα για το ίδιο επίπεδο κινδύνου, να έχει μεγαλύτερη αναμενόμενη απόδοση. Εμείς, στην συγκεκριμένη παράγραφο θα επιχειρήσουμε τον προσδιορισμό του αποτελεσματικού μετώπου στην περίπτωση όπου δεν επιτρέπονται οι ανοιχτές πωλήσεις και δεν υπάρχει δυνατότητα επένδυσης σε ακίνδυνο χρεόγραφο.

Έστω λοιπόν ένα χαρτοφυλάκιο που συγκροτείται από n στο πλήθος χρεόγραφα. Η αναμενόμενη απόδοση του $E(r_p)$ και η τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου σ_p θυμίζουμε ότι δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n X_i E(r_i)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_i X_j \text{COV}(r_i r_j)}$$

Όπου:

$E(r_i)$ με $i=1, 2, \dots, n$: είναι η αναμενόμενη απόδοση του χρεογράφου i ,
 X_i, X_j με $i, j=1, 2, \dots, n$: είναι τα ποσοστά συμμετοχής των χρεογράφων i, j στο χαρτοφυλάκιο

σ_i^2 με $i=1, 2, \dots, n$: είναι η διακύμανση των αποδόσεων του χρεογράφου i

$\text{COV}(r_i r_j)$ με $i, j=1, 2, \dots, n$: είναι η συνδιακύμανση μεταξύ των αποδόσεων των χρεογράφων i, j

Το αποτελεσματικό μέτωπο καθορίζεται από όλους εκείνους τους συνδυασμούς που οδηγούν σε ελαχιστοποίηση του κινδύνου, για κάθε επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης. Έτσι για να προσδιορίσουμε ένα οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται πάνω στο αποτελεσματικό μέτωπο, ορίζουμε ένα μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης που περιέχει συνεχείς μεταβλητές απόφασης. Οι συνεχείς μεταβλητές απόφασης εκφράζουν το ποσοστό του κεφαλαίου που επενδύεται σε κάθε χρεόγραφο που συμμετέχει στην σύνθεση του χαρτοφυλακίου. Κάνοντας χρήση λογικών

περιορισμών, επιτυγχάνουμε την δυνατότητα προσδιορισμού των ποσοστών με τα οποία τα χρεόγραφα θα συμμετέχουν (στην περίπτωση που συμμετέχουν) στο χαρτοφυλάκιο. Το μοντέλο βελτιστοποίησης περιέχει μια αντικειμενική συνάρτηση. Στην περίπτωση μας όπου δεν υπάρχει δυνατότητα επένδυσης σε ακίνδυνο χρεόγραφο οδηγούμαστε σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούμε ελαχιστοποίηση του αναμενόμενου κινδύνου του χαρτοφυλακίου υπό :

- ✓ περιορισμό πληρότητας στα πλαίσια του οποίου το άθροισμα των ποσοστών κεφαλαίου που επενδύεται στα χρεόγραφα που συμμετέχουν στο χαρτοφυλάκιο ισούται με τη μονάδα
- ✓ περιορισμούς ρύθμισης των ποσοστών επένδυσης που το ένα σκέλος του αφορά την ικανοποίηση της παραδοχής περί μη ύπαρξης ανοικτών πωλήσεων. Μέσω των συγκεκριμένων περιορισμών καθορίζεται το μέγιστο (μονάδα) και το ελάχιστο (μηδενικό) επίπεδο της ποσοστιαίας συμμετοχής του χρεογράφων στο χαρτοφυλάκιο.
- ✓ περιορισμό σταθερού επιπέδου αναμενόμενης απόδοσης χαρτοφυλακίου,

Η μαθηματική διατύπωση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς έχει ως εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση :

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n X_i X_j \text{COV}(r_i, r_j) = \text{minimize}$$

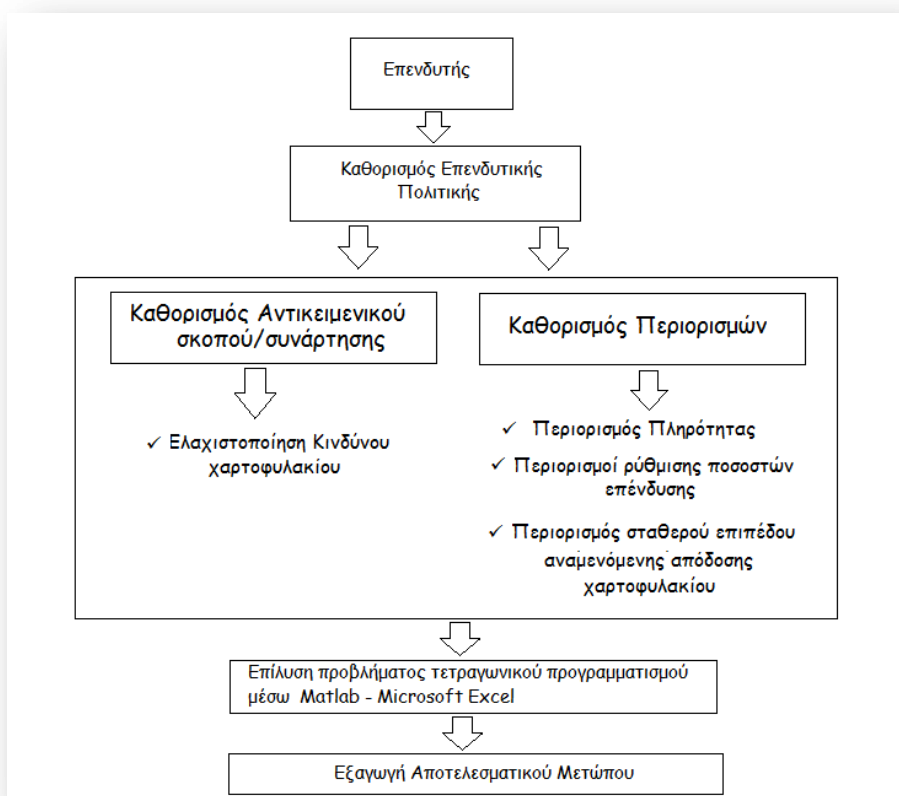
Περιορισμοί :

$$(1) \quad \sum_{i=1}^n X_i = 1$$

$$(2) \quad X_i \geq 0, X_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$$

$$(3) \quad \sum_{i=1}^n X_i E(r_i) = E(r_p) = R$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η άνωθεν μαθηματική διατύπωση παραπέμπει στην αυθεντική έκφραση του υποδείγματος μέσου-διακύμανση, όπως αυτή προτάθηκε από τον Markowitz. Το συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης αποτελεί ένα πρόβλημα τετραγωνικού προγραμματισμού (quadratic programming) καθώς οι περιορισμοί παρουσιάζουν γραμμικότητα, αλλά η αντικειμενική συνάρτηση εμπεριέχει τους δευτεροβάθμιους όρους X_i^2 και τους όρους $X_i X_j$. Η επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων καθίσταται κάτι περισσότερο από αναγκαία στα πεδία της ακαδημαϊκής και της επιχειρησιακής έρευνας. Σήμερα, στα πλαίσια της τεχνολογικής προόδου, είναι δυνατή η επίλυση τους με την βοήθεια υπολογιστικών εργαλείων όπως είναι το Mat lab και το Microsoft Excel. Η συνολική διαδικασία εξαγωγής των βέλτιστων χαρτοφυλακίων και του αποτελεσματικού μετώπου συνοψίζεται στο ακόλουθο σχήμα



Σχήμα 1.1 Διαδικασία κατασκευής βέλτιστων χαρτοφυλακίων και αποτελεσματικού μετώπου

Εν συνεχεία θα κατασκευάσουμε την μαθηματική έκφραση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης κάνοντας χρήση πινάκων . Θυμίζουμε τις σχέσεις για την αναμενόμενη απόδοση και τον κίνδυνο χαρτοφυλακίου που είχαμε κατασκευάσει σε προηγούμενη ενότητα με την χρήση πινάκων :

$$E(r_p) = E(r)^T X$$

$$\sigma_p^2 = [X^T V X]$$

Η μαθηματική διατύπωση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς έχει ως εξής:

Αντικειμενική συνάρτηση :

$$\sigma_p^2 = X^T V X = \text{minimize} \quad (12)$$

Περιορισμοί :

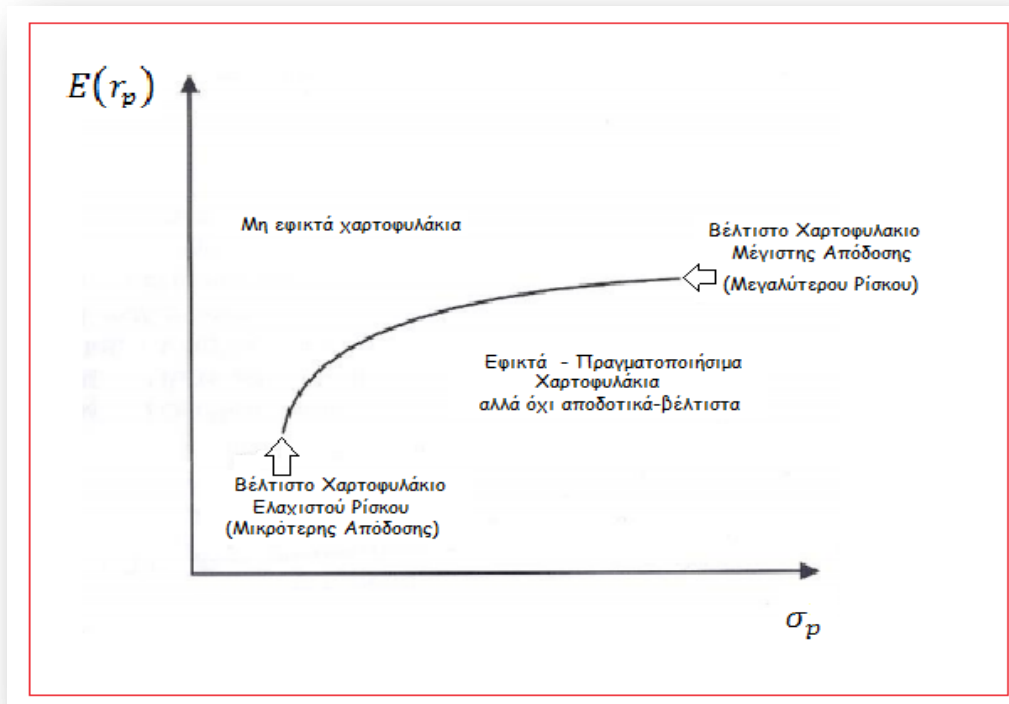
$$\sum_{i=1}^n X_i = 1 \quad (13)$$

$$X \geq 0 , X \leq 1 \quad (14)$$

$$E(r)^T X = R \quad (15)$$

Αρχικά επιλύεται το πρόβλημα (12)-(14) και προσδιορίζεται το χαρτοφυλάκιο $p_1^{\sigma^{min}}$ για το οποίο ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος χωρίς να τίθεται κάποιος περιορισμός για το επίπεδο της αναμενόμενης απόδοσης. Το χαρτοφυλάκιο αυτό αποτελεί το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου και αποτελεί το κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου. Η αναμενόμενη απόδοση $E(r_{p_1^{\sigma^{min}}})$ του χαρτοφυλακίου αυτού θα είναι η μικρότερη συγκριτικά με όλα τα άλλα αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια. Στην συνέχεια, αναζητάμε την εύρεση ενός δεύτερου αποτελεσματικού p_2 μεγαλύτερης απόδοσης (και κινδύνου) από το $p_1^{\sigma^{min}}$ εισάγοντας και τον περιορισμό (15) θέτοντας την απόδοση του νέου χαρτοφυλακίου ίση με ένα επίπεδο $R = E(r_{p_1^{\sigma^{min}}}) + \lambda$. Αυτή τη

φορά λύνουμε το πρόβλημα (12)-(15) και βρίσκουμε το p_2 με $\sigma_{p_2} > \sigma_{p_1}^{min}$. Ομοίως από δω και πέρα λύνουμε το πρόβλημα (12)-(15) για την εύρεση των υπόλοιπων αποτελεσματικών χαρτοφυλακίων που γραφικά αποτελούν σημεία του αποτελεσματικού μετώπου. Για παράδειγμα, για την εύρεση του p_3 λύνουμε το πρόβλημα (12)-(15) θέτοντας $R = E(r_{p_2}) + \lambda$. Η συγκεκριμένη επαναληπτική διαδικασία λαμβάνει τέλος με τον προσδιορισμό του άνω άκρου του αποτελεσματικού μετώπου που αποτελεί το αποτελεσματικό χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης και η απόδοση του ισούται με εκείνη του πλέον αποδοτικού χρεογράφου. Δηλαδή η τελευταία επανάληψη της διαδικασίας πραγματοποιείται όταν το δεύτερο μέλος του περιορισμού (15) πάρει τιμή : $R = E(r_i^{max})$. Έτσι λοιπόν κατασκευάζεται το αποτελεσματικό μέτωπο με τους βέλτιστους συνδυασμούς αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου χαρτοφυλακίου και ο επενδυτής καλείται να επιλέξει εκείνο το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο που ανταποκρίνεται στην επενδυτική πολιτική. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο γράφημα, το αποτελεσματικό μέτωπο εκτίνεται από το αποδοτικό χαρτοφυλάκιο ελαχίστου κινδύνου και καταλήγει βέλτιστο χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης (καθεστώς απαγόρευσης ανοικτών πωλήσεων). Καθώς κινούμαστε από το κάτω άκρο προς το άνω, συναντάμε αποδοτικά χαρτοφυλάκια αυξανόμενης απόδοσης και αυξανόμενου ρίσκου. Τα χαρτοφυλάκια που βρίσκονται στην περιοχή κάτω από το αποτελεσματικό μέτωπο είναι εφικτά αλλά δεν αποτελούν βέλτιστες επιλογές, ενώ οι συνδυασμοί απόδοσης – ρίσκου που βρίσκονται πάνω από το σύνορο αποτελούν μη εφικτές επιλογές για τον επενδυτή.



Γράφημα 1.16 Περιγραφή ιδιοτήτων χαρακτηριστικών χαρτοφυλακίων στο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου

1.5.4 Εισαγωγή ακίνδυνου χρεογράφου

Το ακίνδυνο χρεόγραφο (risk free asset, security) είναι μια ειδική περίπτωση χρεογράφου που διασφαλίζει μια σίγουρη αναμενόμενη απόδοση (συνήθως μικρή) και δεν εμπεριέχει ρίσκο. Παράδειγμα ακίνδυνων χρεογράφων στα οικονομικά, αποτελούν τα έντοκα γραμμάτια του δημοσίου και τα κρατικά ομόλογα. Ένας επενδυτής έχει την δυνατότητα να επενδύσει σε ένα ακίνδυνο χρεόγραφο από τα παραδείγματα που δώσαμε και ο εκδότης αυτών των τίτλων, δηλαδή το κράτος, να εξασφαλίσει στον επενδυτή μια σίγουρη απόδοση.

Έστω λοιπόν ότι υπάρχει ένα χρεόγραφο μηδενικού κινδύνου ($\sigma_f = 0$) και αναμενόμενης απόδοσης r_f στο φάσμα επιλογών του επενδυτή, και επιπλέον υπάρχει διαθέσιμο ένα χαρτοφυλάκιο p , αναμενόμενης απόδοσης $E(r_p)$ και τυπικής απόκλισης σ_p που συγκροτείται από την συμμετοχή χρεογράφων που φέρουν ρίσκο. Κατασκευάζουμε ένα νέο χαρτοφυλάκιο p' στο οποίο η συνεισφορά του επικίνδυνου

χαρτοφυλακίου θα είναι X_p και η συνεισφορά του ακίνδυνου χρεογράφου θα είναι $X_f = 1 - X_p$ εξαιτίας του περιορισμού πληρότητας του νέου χαρτοφυλακίου. Ο κίνδυνος λοιπόν του νέου χαρτοφυλακίου p' θα εκφράζεται μέσω της τυπικής απόκλισης από την σχέση :

$$\sigma_{p'} = \sqrt{X_p^2 \sigma_p^2 + (1 - X_p)^2 \sigma_f^2 + 2X_p(1 - X_p)\rho_{pf} \sigma_p \sigma_f} = \sqrt{X_p^2 \sigma_p^2} = X_p \sigma_p \quad (16)$$

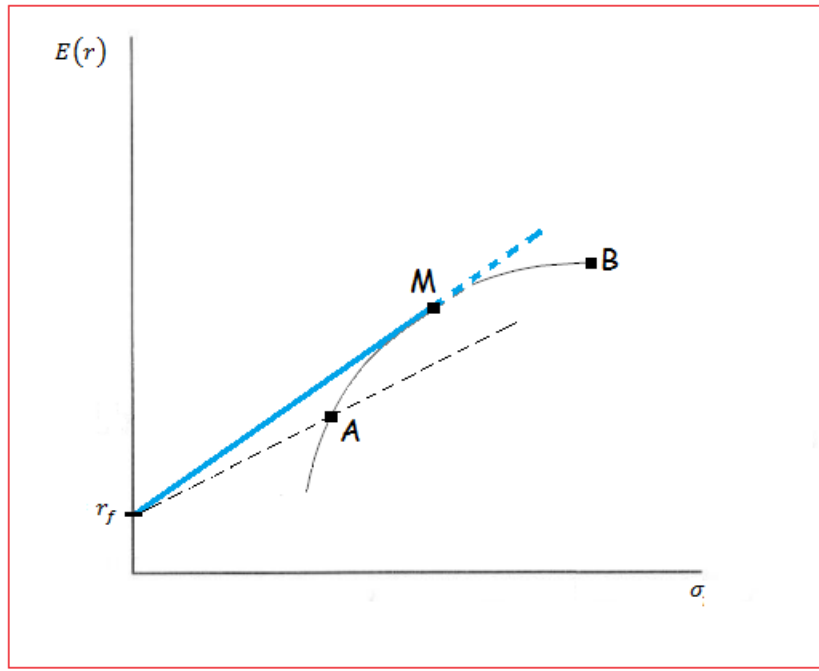
Φαίνεται λοιπόν ότι ο κίνδυνος του νέου χαρτοφυλακίου p' προσδιορίζεται αποκλειστικά από τον κίνδυνο (τυπική απόκλιση) του επικίνδυνου χαρτοφυλακίου p και του ποσοστού που καταλαμβάνει το p στο νέο χαρτοφυλάκιο. Από την σχέση (16) έχω :

$$(16) \Rightarrow X_p = \frac{\sigma_{p'}}{\sigma_p} \quad (17)$$

Η αναμενόμενη απόδοση του νέου χαρτοφυλακίου p' θα είναι :

$$\begin{aligned} E(r_{p'}) &= X_p E(r_p) + (1 - X_p) r_f = \frac{\sigma_{p'}}{\sigma_p} E(r_p) + \left(1 - \frac{\sigma_{p'}}{\sigma_p}\right) r_f \\ &= r_f + \left(\frac{E(r_p) - r_f}{\sigma_p}\right) \sigma_{p'} \quad (18) \end{aligned}$$

Η σχέση (18) δείχνει ότι η απόδοση του νέου χαρτοφυλακίου p' που περιέχει ένα ποσοστό χαρτοφυλακίου με επικίνδυνα χρεόγραφα και ένα ποσοστό ενός ακίνδυνου χρεογράφου, είναι μια γραμμική συνάρτηση της τυπική του απόκλισης. Η γραφική αναπαράσταση της σχέσης αυτής στο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης - κινδύνου, θα αποτελεί μια ευθεία η οποία τέμνει τον κάθετο άξονα των αποδόσεων στο σημείο $(0, r_f)$ και φαίνεται στο γράφημα που επισυνάπτεται ακολούθως. Στο ακόλουθο γράφημα φαίνεται επίσης και μια καμπύλη που αναπαριστά το σύνολο των βέλτιστων επικίνδυνων συνδυασμών απόδοσης- κινδύνου.



Γράφημα 1.17 Αποτελεσματικό Μέτωπο στην περίπτωση εισαγωγής ακίνδυνου χρεογράφου

Στο παραπάνω γράφημα διακρίνουμε δύο ευθείες που τέμνουν τον άξονα των αναμενόμενων αποδόσεων στο σημείο $(0, r_f)$. Τα χαρτοφυλάκια που μπορεί να επιλέξει ο επενδυτής βρίσκονται πάντα σε κάποια από αυτές τις ευθείες και προκύπτουν από την ποσοστιαία συνεισφορά του ακίνδυνου χρεογράφου και κάποιου αποτελεσματικού χαρτοφυλακίου που φέρει ρίσκο. Ωστόσο η πιο ορθολογική απόφαση για κάποιον επενδυτή είναι το σημείο στο οποίο εφάπτεται η ευθεία της εξισώσεως (18) με το αποτελεσματικό μέτωπο των επικίνδυνων χρεογράφων (χαρτοφυλάκιο **M**). Δηλαδή οι συνδυασμοί απόδοσης – κινδύνου της ευθείας $(r_f M)$ υπερέχουν έναντι των συνδυασμών της ευθείας $(r_f A)$ καθώς για δεδομένο επίπεδο ρίσκου, αποφέρουν μεγαλύτερες αποδόσεις. Η εύρεση του χαρτοφυλακίου **M**, δηλαδή του σημείου όπου εφάπτεται η ευθεία με το αποτελεσματικό μέτωπο των επικίνδυνων χαρτοφυλακίων, πραγματοποιείται με μεγιστοποίηση της κλίσης της ευθείας της σχέσεως (18), δηλαδή :

$$\theta = \frac{E(r_p) - r_f}{\sigma_p} = \text{maximize}$$

Το νέο αποτελεσματικό μέτωπο λοιπόν, ξεκινάει από το σημείο $(0, r_f)$ του επιπέδου αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου. Το χαρτοφυλάκιο αυτό ενέχει μηδενικό κίνδυνο και η απόδοση του είναι ίση με την απόδοση του ακίνδυνου χρεογράφου. Αποτελείται δηλαδή εξ' ολοκλήρου από το ακίνδυνο χρεόγραφο. Εν συνεχεία, το αποτελεσματικό μέτωπο εκτείνεται μέχρι και το χαρτοφυλάκιο M κατά μήκος της ευθείας ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η ποσοστιαία συνεισφορά του ακίνδυνου χρεογράφου στα αποτελεσματικά χαρτοφυλάκια. Το χαρτοφυλάκιο M είναι το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο επικίνδυνων χρεογράφων για όλους τους επενδυτές. Πέραν του σημείο M , το νέο αποτελεσματικό μέτωπο εκτείνεται κατά μήκος του (MB) , δηλαδή κατά μήκος του αποτελεσματικού μετώπου επικίνδυνων χρεογράφων. Αξίζει να σημειώσουμε ότι κατά μήκος του τμήματος $r_f M$ του νέου αποτελεσματικού μετώπου, η σύνθεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων αφορά ένα ποσοστό του ακίνδυνου χρεογράφου και ένα ποσοστό του βέλτιστου χαρτοφυλακίου επικίνδυνων χρεογράφων M . Στην περίπτωση που κάποιος επενδυτής επιλέξει κάποιο από τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια του τμήματος $r_f M$ είναι επί της ουσίας κερδισμένος καθότι η εισαγωγή του ακίνδυνου χρεογράφου συνέβαλε στην δημιουργία καλύτερων συνδυασμών αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου.

1.6 Ανάλυση χρησιμότητας και στάση οικονομικών μονάδων απέναντι στον κίνδυνο

Ο όρος χρησιμότητα με απλά λόγια, είναι ένας αριθμός που μετρά την ευχαρίστηση από τη συνέπεια μιας απόφασης που παίρνουμε υπό αβεβαιότητα. Ένας επενδυτής είναι ορθολογικός αν και μόνο αν επιλέγει την ενέργεια που παρέχει την υψηλότερη αναμενόμενη χρησιμότητα. Η θεωρία της αναμενόμενης χρησιμότητας έχει κυριαρχήσει ως περιγραφικό υπόδειγμα οικονομικής συμπεριφοράς και του τρόπου με τον οποίο οι οικονομικές μονάδες λαμβάνουν αποφάσεις σε καθεστώς αβεβαιότητας. Η συνάρτηση χρησιμότητας συσχετίζει τη χρησιμότητα (ικανοποίηση) (U) με τις ποσότητες των αγαθών που καταναλώνονται από τις οικονομικές μονάδες. Στο τμήμα αυτό συσχετίζουμε τη χρησιμότητα (U) με το συνολικό εισόδημα (Y) ,

γράφοντας τη συνάρτηση χρησιμότητας του εισοδήματος ως: $U = U(Y)$. Αυτή η συνάρτηση μεγιστοποιείται επάνω στο σύνολο των εναλλακτικών απόφασης (τα υλοποιήσιμα χαρτοφυλάκια), με τρόπο που να καθορίζεται το χαρτοφυλάκιο που θα προτιμηθεί από τον επενδυτή (οικονομική μονάδα). Η θεωρία αναμενόμενης χρησιμότητας υποθέτει ότι οι άνθρωποι κινητοποιούνται πρωταρχικά από υλικά κίνητρα και λαμβάνουν αποφάσεις με ορθολογικό τρόπο. Παίρνουν αποφάσεις μεταξύ ενός δεδομένου αριθμού εναλλακτικών με γνωστές (υποκειμενικά) κατανομές πιθανοτήτων για κάθε εναλλακτική με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιήσουμε την αναμενόμενη αξία της συνάρτησης χρησιμότητας

Όσον αφορά τις επιλογές των οικονομικών μονάδων απέναντι στον κίνδυνο, διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

- ✓ **Οικονομικές μονάδες που η συμπεριφορά τους είναι ουδέτερη απέναντι στον κίνδυνο (neutral in regard to risk)**

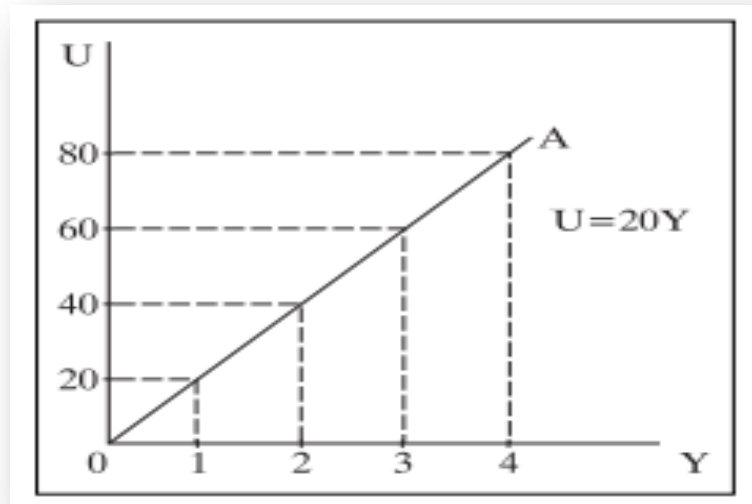
Οι οικονομικές μονάδες που είναι ουδέτερες απέναντι στον κίνδυνο είναι αδιάφορες στο αν θα κάνουν την επιλογή ενός βέβαιου εισοδήματος ή ενός αβέβαιου ισόποσου εισοδήματος με την ίδια προσδοκώμενη τιμή. Η συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο είναι γραμμικής μορφής με σταθερή οριακή χρησιμότητα του εισοδήματος. Το γραμμικό τμήμα (ΟΑ) στο γράφημα 1.18 αποτελεί τη συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο. Υποθέτουμε λοιπόν ότι η συνάρτηση χρησιμότητας είναι

$U = 20Y = U(Y)$ και ότι η τιμή του σίγουρου εισοδήματος για την οικονομική μονάδα είναι $Y = 2$ €. Η τιμή της βέβαιης χρησιμότητας είναι $U = 20 \cdot 2 = 40$ μονάδες χρησιμότητας. Έστω τώρα ότι της προσφέρουμε 1 € με πιθανότητα $p = 0,5$ και 3 € με πιθανότητα $p = 0,5$, προκειμένου να μη κάνει αποδεκτό το βέβαιο εισόδημα των 2 ευρώ. Το αναμενόμενο εισόδημά της μονάδας θα είναι: $E(Y) = (0,5 \cdot 1) + (0,5 \cdot 3) = 2$ €, όσο δηλαδή και το βέβαιο εισόδημά της και η προσδοκώμενη χρησιμότητά της θα είναι ίση με την βέβαιη χρησιμότητα :

$$E(U) = 0,5 * U(1) + 0,5U(3) = 0,5 * (20) + 0,5 * (60) = 40 \text{ μονάδες χρησιμότητας} \\ = U(Y)$$

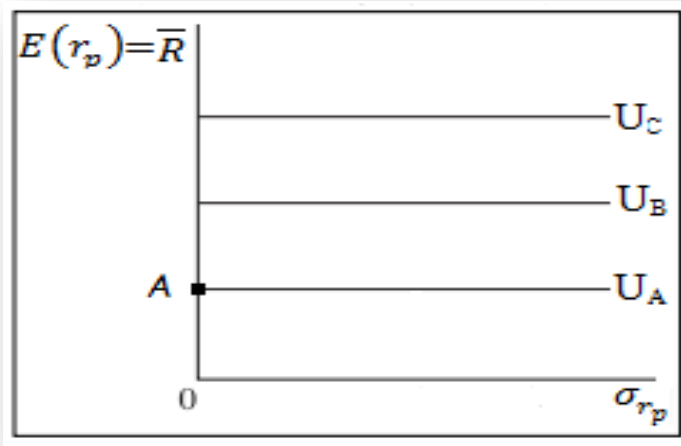
όπου $U(Y)$: η βέβαιη χρησιμότητα για το βέβαιο εισόδημα $Y = 2 \text{ €}$,
 $E(U)$: η προσδοκώμενη χρησιμότητα

Η οικονομική μονάδα λοιπόν είναι αδιάφορη μεταξύ του βέβαιου εισοδήματος Y και του αβέβαιου (προσδοκώμενου) εισοδήματος $E(Y)$.



Γράφημα 1.18 Συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο.

Στο διάγραμμα 1.19 παρουσιάζονται οι καμπύλες αδιαφορίας ενός επενδυτή που είναι αδιάφορος (ουδέτερος) απέναντι στον κίνδυνο. Οι καμπύλες αδιαφορίας U_A , U_B , U_C είναι ευθείες γραμμές, που σημαίνει ότι η αύξηση του βαθμού κινδύνου δε συνοδεύεται από αύξηση της απόδοσης. Συγκεκριμένα, στην καμπύλη αδιαφορίας U_A παρατηρούμε ότι το ίδιο επίπεδο χρησιμότητας προκύπτει με μηδενική τυπική απόκλιση και απόδοση (OA) αλλά μπορεί να προκύψει και με άλλους συνδυασμούς $(\sigma_{r_p}, E(r_p))$ για $E(r_p) = \text{σταθερο}$ και $\sigma_{r_p} > 0$. Με άλλα λόγια, η κλίση των καμπυλών αδιαφορίας ή αλλιώς ο «οριακός λόγος υποκατάστασης» $MRS_{\bar{R}, \sigma_{r_p}}$ μεταξύ της αναμενόμενης απόδοσης και του ρίσκου είναι μηδενικός.



Γράφημα 1.19 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που είναι αδιάφορες στον κίνδυνο.

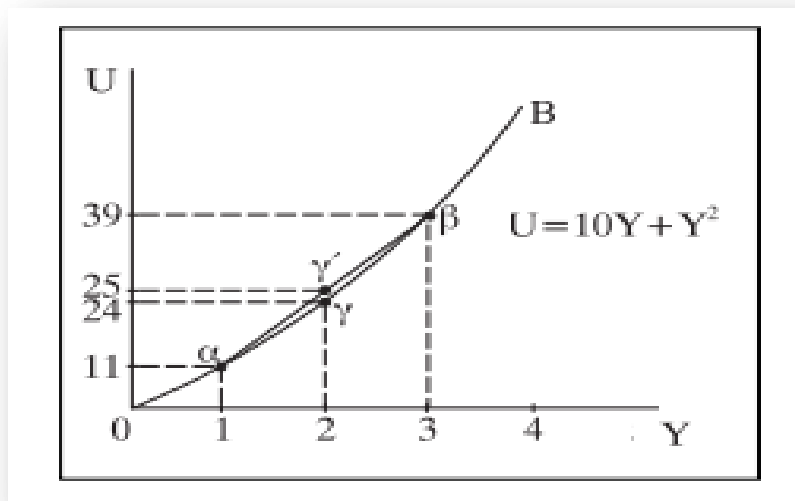
- ✓ Οικονομικές μονάδες που είναι εραστές του κινδύνου (risk lover) ή λήπτες του κινδύνου (risk taker)

Η συμπεριφορά των οικονομικών αυτών μονάδων απέναντι στον κίνδυνο χαρακτηρίζεται από τη ρισκοκινδυνότητα, δηλαδή την προτίμηση που έχουν στο αβέβαιο εισόδημα (αβέβαιη απόδοση) συγκριτικά με το βέβαιο. Η συνάρτηση χρησιμότητας των μονάδων αυτών είναι μια κυρτή συνάρτηση (στρέφει τα κοίλα άνω), όπως είναι η καμπύλη OB του γραφήματος 1.20 ($U = 10Y + Y^2$), με αύξουσα οριακή χρησιμότητα του εισοδήματος. Με βέβαιο εισόδημα $Y = 2$ €, η βέβαιη χρησιμότητα της μονάδας είναι $U = 24$ μονάδες χρησιμότητας. Έστω τώρα ότι της προτείνεται να λάβει 1 € με πιθανότητα $p = 0,5$ και 3 € με πιθανότητα $p = 0,5$ και να μη δεχτεί το βέβαιο εισόδημα. Το αναμενόμενο εισόδημά της θα είναι $E(Y) = (0,5 * 1) + (0,5 * 3) = 2$ €, ίσο, δηλαδή, με την τιμή του βέβαιου εισοδήματος. Η προσδοκώμενη χρησιμότητα θα είναι:

$$E(U) = 0,5 * U(1) + 0,5 * U(3) = 0,5 * (11) + 0,5 * (39) = 25 \text{ μονάδες χρησιμότητας} \\ > U(Y)$$

Επειδή η προσδοκώμενη χρησιμότητα ($E(U) = 25$) είναι μεγαλύτερη από τη βέβαιη χρησιμότητα ($U(Y) = 24$), η οικονομική μονάδα θα προτιμήσει το αναμενόμενο εισόδημα $E(Y)$ και θα απορρίψει το ισόποσο βέβαιο εισόδημα που της αποφέρει

μικρότερη τιμή χρησιμότητας. Όσο μεγαλύτερη είναι το μήκος ($\gamma\gamma'$) του γραφήματος 1.20, τόσο πιο μεγάλη θα είναι η ροπή της οικονομικής μονάδας προς την ριψοκινδυνότητα των επιλογών της.



Γράφημα 1.20 Συνάρτηση χρησιμότητας για τις οικονομικές μονάδες που είναι εραστής του κινδύνου.

Έστω τώρα υποθέτουμε ότι η μαθηματική μορφή της καμπύλης της συνολικής χρησιμότητας για κάποιον επενδυτή είναι $U = \kappa r_p + \lambda r_p^2$ (**a**), όπου r_p είναι η τυχαία μεταβλητή που αναπαριστά την απόδοση του χαρτοφυλακίου του επενδυτή και a, β είναι θετικές σταθερές. Ο προσδιορισμός της μορφής των καμπυλών αδιαφορίας του επενδυτή απαιτεί την εύρεση όλων των συνδυασμών αναμενόμενης απόδοσης και κινδύνου, που δίνουν το ίδιο επίπεδο αναμενόμενης χρησιμότητας. Η αναμενόμενη τιμή της χρησιμότητας δίνεται από την σχέση :

$E(U) = \kappa E(r_p) + \lambda E(r_p^2)$ (**b**). Όμως, η αναμενόμενη τιμή της χρησιμότητας κατά μήκος για δεδομένη καμπύλη αδιαφορίας δε μεταβάλλεται και, επομένως, έστω ότι είναι $E(U) = \lambda = \text{σταθερά}$. Για τη μέση τιμή και τη διακύμανση της r_p έχουμε:

$$E(r_p) = \bar{R} \quad (\text{c})$$

$$\sigma_{r_p}^2 = E(r_p - \bar{R})^2 = E(r_p^2 - 2r_p\bar{R} + \bar{R}^2) \quad (\text{d})$$

$$(d) \stackrel{(c)}{\Rightarrow} \sigma_{r_p}^2 = E(r_p^2) - 2\bar{R} + \bar{R}^2$$

$$\Rightarrow E(r_p^2) = \sigma_{r_p}^2 + \bar{R}^2 \quad (e)$$

Ακόμα έχω :

$$(\beta) \stackrel{(\alpha),(\varepsilon)}{\Rightarrow} \lambda = \kappa\bar{R} + \lambda(\sigma_{r_p}^2 + \bar{R}^2) \quad (f)$$

Η σχέση (f) είναι η μαθηματική έκφραση της καμπύλης αδιαφορίας του επενδυτή και επομένως, κάθε σημείο της φανερώνει τους συνδυασμούς προσδοκώμενης απόδοσης και κινδύνου, που αποφέρουν στον επενδυτή το ίδιο επίπεδο προσδοκώμενης χρησιμότητας. Από το ολικό διαφορικό της σχέσης (f) έχω :

$$d\lambda = \kappa d\bar{R} + \lambda(2\sigma_{r_p} d\sigma_{r_p} + 2\bar{R} d\bar{R})$$

Και προκύπτει ο «οριακός λόγος υποκατάστασης» $MRS_{\bar{R},\sigma_{r_p}}$ μεταξύ \bar{R} και σ_{r_p} :

$$MRS_{\bar{R},\sigma_{r_p}} = \frac{d\bar{R}}{d\sigma_{r_p}} = \frac{-2\lambda\sigma_{r_p}}{\kappa + 2\lambda\bar{R}} < 0$$

Ακόμα έχουμε :

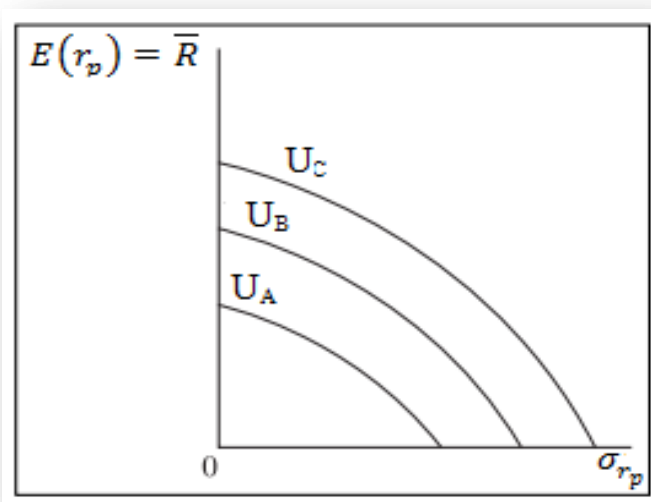
$$\frac{d^2\bar{R}}{d\sigma_{r_p}^2} = \frac{-2\lambda}{\kappa + 2\lambda\bar{R}} < 0$$

Ο οριακός λόγος αποκατάστασης βγαίνει θετικός και δίνεται από την σχέση :

$$\frac{d(MRS_{\bar{R},\sigma_{r_p}})}{d\sigma_{r_p}} = -\frac{d^2\bar{R}}{d\sigma_{r_p}^2} = \frac{+2\lambda}{\kappa + 2\lambda\bar{R}} > 0$$

Το θετικό πρόσημο του οριακού λόγου αποκατάστασης σε αυτή την περίπτωση σημαίνει ότι καθώς αυξάνεται η επικινδυνότητα με την ίδια έκταση, η απόδοση της επένδυσης μειώνεται με αύξοντα ρυθμό ή, ισοδύναμα, ότι ίσες μειώσεις του βαθμού

του κινδύνου συνεπάγονται ολοένα και μικρότερες αυξήσεις της απόδοσης του χαρτοφυλακίου. Το γεγονός ότι ο MRS βαίνει αυξανόμενος κατά μήκος καμπυλών αδιαφορίας και ότι οι καμπύλες αδιαφορίας έχουν αρνητική κλίση, υποδηλώνει ότι οι καμπύλες αδιαφορίας είναι κοίλες προς την αρχή των αξόνων, όπως φαίνεται ακολούθως.



Γράφημα 1.21 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που είναι εραστής ή λήπτης κινδύνου

- ✓ **Οικονομικές μονάδες που με τη συμπεριφορά τους αποστρέφονται τον κίνδυνο (risk averter)**

Η συμπεριφορά των εν λόγω οικονομικών μονάδων χαρακτηρίζεται από την προτίμησή τους να αποστρέφονται τον κίνδυνο και να προτιμούν το βέβαιο εισόδημα με την αντίστοιχη βέβαιη τιμή χρησιμότητας. Η συνάρτηση χρησιμότητας του εισοδήματος των μονάδων αυτών είναι μια κοίλη συνάρτηση (στρέφει τα κοίλα κάτω), όπως είναι η καμπύλη ΟΓ του γραφήματος 1.22 ($U = 20Y - Y^2$), με φθίνουσα οριακή χρησιμότητα του εισοδήματος. Ακολουθώντας παρόμοια οδό, υποθέτουμε βέβαιο εισόδημα $Y = 2$ ευρώ. Η τιμή της βέβαιης χρησιμότητας για την οικονομική μονάδα είναι $U(Y) = 36$ μονάδες χρησιμότητας. Ομοίως προτείνουμε να λάβει 1 € με πιθανότητα $p = 0,5$ και 3 € με πιθανότητα $p = 0,5$ και να μη δεχτεί το βέβαιο εισόδημα. Δηλαδή να είναι $Y = E(Y) = 2$. Η προσδοκώμενη χρησιμότητα σε αυτή την περίπτωση είναι ίση με:

$$\lambda = \mu \bar{R} - v \left(\sigma_{r_p}^2 + \bar{R}^2 \right) \quad (f')$$

Η σχέση (f') είναι η μαθηματική έκφραση της καμπύλης αδιαφορίας του επενδυτή και επομένως, κάθε σημείο της φανερώνει τους συνδυασμούς προσδοκώμενης απόδοσης και κινδύνου, που αποφέρουν στον επενδυτή το ίδιο επίπεδο προσδοκώμενης χρησιμότητας. Από το ολικό διαφορικό της σχέσης (f') έχω :

$$d\lambda = \mu d\bar{R} - v \left(2\sigma_{r_p} d\sigma_{r_p} + 2\bar{R} d\bar{R} \right)$$

Και προκύπτει ο «οριακός λόγος υποκατάστασης» $MRS_{\bar{R}, \sigma_{r_p}}$ μεταξύ \bar{R} και σ_{r_p} :

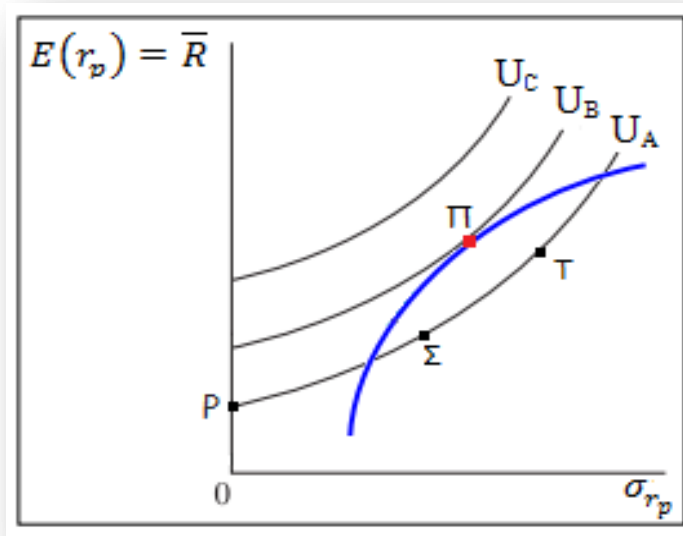
$$MRS_{\bar{R}, \sigma_{r_p}} = \frac{d\bar{R}}{d\sigma_{r_p}} = \frac{2v\sigma_{r_p}}{\mu - 2v\bar{R}} > 0$$

Και

$$\frac{d \left(MRS_{\bar{R}, \sigma_{r_p}} \right)}{d\sigma_{r_p}} = \frac{d^2 \bar{R}}{d\sigma_{r_p}^2} = \frac{2v}{\mu - 2v\bar{R}} > 0$$

(ο $MRS_{\bar{R}, \sigma_{r_p}}$ βαίνει αύξων κατα μήκος της καμπύλης αδιαφορίας)

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που αποστρέφεται τον κίνδυνο θα είναι κυρτές (θα στρέφουν τα κοίλα άνω) όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα:



Γράφημα 1.23 Καμπύλες αδιαφορίας του επενδυτή που αποστρέφεται τον κίνδυνο και επιλογή βέλτιστου επενδυτικού χαρτοφυλακίου

Κάθε σημείο των καμπυλών αυτών απεικονίζει συνδυασμούς αναμενόμενης απόδοσης και κινδύνου που αποφέρουν στο άτομο τον ίδιο βαθμό αναμενόμενης χρησιμότητας. Και στις τρεις καμπύλες, όταν αυξάνεται ο βαθμός του κινδύνου, θα αυξάνεται και η αναμενόμενη απόδοση, ώστε να μη μεταβάλλεται το επίπεδο συνολικής χρησιμότητας. Στο σημείο τομής των καμπυλών με τον κάθετο άξονα υπάρχει βεβαιότητα, αφού η τυπική απόκλιση είναι ίση με το μηδέν. Δηλαδή στο σημείο P οι επιλογές του ατόμου λαμβάνονται με πλήρη βεβαιότητα. Όμως τα σημεία Σ , Γ , αφού βρίσκονται στην ίδια καμπύλη αδιαφορίας (U_A) με το σημείο P αποφέρουν στο άτομο το ίδιο επίπεδο χρησιμότητας. Λέμε τότε ότι ο συνδυασμός του σημείου R είναι το ισοδύναμο βεβαιότητας (certainty equivalent) με όλους τους συνδυασμούς $(\sigma_{r_p}, E(r_p))$ των σημείων της καμπύλης αδιαφορίας U_A .

Από το γράφημα 1.23, έχουμε την δυνατότητα να προσδιορίσουμε το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο για τον επενδυτή με τις καμπύλες αδιαφορίας που αναπαριστώνται. Σκοπός του επενδυτή είναι η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας του, δηλαδή να βρίσκεται στην καμπύλη αδιαφορίας που τοποθετείται όσον το δυνατόν πιο μακριά από τον οριζόντιο άξονα (κίνδυνος) με δεδομένο το αποτελεσματικό μέτωπο που αναπαρίσταται με την μπλε καμπύλη στο γράφημα. Συνεπώς, το βέλτιστο επενδυτικό χαρτοφυλάκιο θα προσδιοριστεί από το σημείο όπου μια καμπύλη αδιαφορίας

εφάπτεται στο αποδοτικό σύνορο. Στην περίπτωση του γραφήματος, το αποδοτικό σύνορο εφάπτεται με την καμπύλη αδιαφορίας U_B και ο συνδυασμός αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου του χαρτοφυλακίου Π είναι ο βέλτιστος.

1.7 Προβλήματα του υποδείγματος του Markowitz

Αναμφισβήτητα, υπάρχουν πολλά αρνητικά στοιχεία στο υπόδειγμα του Markowitz. Το κυριότερο πρόβλημα αφορά στο μεγάλο υπολογιστικό του φόρτο. Έστω ότι έχουμε ένα χαρτοφυλάκιο που συγκροτείται από n στο πλήθος αξιόγραφα, θα πρέπει να υπολογίσουμε n στο πλήθος αναμενόμενες αποδόσεις, n στο πλήθος διακυμάνσεις, και $\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)$ στο πλήθος τιμές συνδιακυμάνσεων. Συνολικά δηλαδή, θα χρειαστούμε $\left(\frac{n(n+3)}{2}\right)$ εκτιμώμενες τιμές μεγεθών. Αν, για παράδειγμα, έχουμε $n=200$ αξιόγραφα, τότε θα πρέπει να πραγματοποιήσουμε 20.300 εκτιμήσεις. Τόσο η πρόβλεψη των ενδεχόμενων αποδόσεων για κάθε αξιόγραφο για την συγκεκριμένη χρήση, όσο και η πρόβλεψη και πιθανότητα πραγματοποίησης κάθε αναμενόμενης απόδοσης, καθίσταται υπερβολικά δύσκολη. Για την αντιμετώπιση του εν λόγω προβλήματος, πολλοί αναλυτές πραγματοποίησαν για παράδειγμα, χρήση της μέσης ετήσιας απόδοσης μιας παρελθούσας χρονικής περιόδου, ως αναμενόμενη απόδοση και την χρήση μιας μέσης παρελθοντικής τυπικής απόκλισης ως το αντίστοιχο μέγεθος της τρέχουσας χρήσης. Ωστόσο προέκυψαν νέα προβλήματα μετά την εισαγωγή τέτοιου είδους παρεμβάσεων, κυρίως αναφορικά με την ορθότητα και την ελλιπή αιτιολόγησή τους. Επιπροσθέτως, ανέκυψαν και ορισμένα δομικά προβλήματα κατασκευής του εν λόγω υποδείγματος και αυτά αφορούσαν την αστάθεια των σταθμίσεων των αξιόγραφων στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια. Συγκεκριμένα, μικρές αλλαγές στις τιμές των αναμενόμενων αποδόσεων ή των στοιχείων του πίνακα συνδιακυμάνσεων οδηγούν σε μεγάλες αλλαγές των ποσοστιαίων συνεισφορών των αξιόγραφων στο χαρτοφυλάκιο. Τα συγκεκριμένα προβλήματα εντείνονται όταν κάποια αξιόγραφα του χαρτοφυλακίου παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης. Όπως υποστήριξε και ο Richard O. Michaud στην δημοσίευσή του με τίτλο ‘The Markowitz Optimization Enigma : Is ‘optimized’ optimal ?’ το 1989, το συγκεκριμένο υπόδειγμα για την βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου αποτελεί πρακτικά

‘μέθοδο μεγιστοποίησης του λάθους’. Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε στις περιπτώσεις που ο αποφασίζων βρίσκεται αντιμέτωπος με πολυκριτηριακά προβλήματα αριστοποίησης επενδυτικών επιλογών στα οποία το υπόδειγμα Markowitz δεν μπορεί να ανταπεξέλθει καθότι εμπεριέχει 2 βασικά κριτήρια. Σε αυτό λοιπόν το σημείο, εισάγονται νέα υποδείγματα διαχείρισης χαρτοφυλακίου.

1.8 Άλλα υποδείγματα διαχείρισης χαρτοφυλακίου

1.8.1 Υποδείγματα ισορροπίας

Τα υποδείγματα ισορροπίας αναφέρονται στο σύνολο των επενδυτών και καθορίζουν μια τιμή και μια απόδοση αποτυπώνοντας την συμπεριφορά του συνόλου των επενδυτών που συμμετέχουν στην αγορά και όχι ενός μεμονωμένου επενδυτή. Είναι προβλεπτικά υποδείγματα της απόδοσης και του κινδύνου, με βάση τα οποία οι επενδυτές καθορίζουν τη θέση τους.

1.8.1.1 Το υπόδειγμα Αποτίμησης Κεφαλαιακών Στοιχείων (Capital Asset Pricing Model - CAPM)

Το υπόδειγμα CAPM είναι μια προέκταση του υποδείματος μέσου – διακύμανσης και της θεωρίας της αναμενόμενης χρησιμότητας, με ενσωμάτωση της στάσης του αποφασίζοντα έναντι του κινδύνου. Η πρώτη έκδοση αυτού του υποδείματος αναπτύχθηκε από τον Sharpe τη δεκαετία του ‘60 [Sharpe (1964)] και ανεξάρτητα από τους Lintner J. (1965) και Mossin J. (1966) . Το εν λόγω υπόδειγμα είναι το πιο γνωστό και το πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη για τη διαχείριση χαρτοφυλακίων.

Στο υπόδειγμα αυτό, η απόδοση ενός χρεογράφου αποτελείται από δύο μέρη: το ένα μέρος της απόδοσης που οφείλεται στην αγορά, ενώ το άλλο μέρος οφείλεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που εμπεριέχει το κάθε χρεόγραφο. Με τον ίδιο τρόπο, ο κίνδυνος που αφορά ένα χρεόγραφο αποτελείται από δύο συνιστώσες : τον κίνδυνο της αγοράς (συστηματικός κίνδυνος ή μη διαφοροποιήσιμος κίνδυνος) που αφορά στο βαθμό επιρροής (influence) των τάσεων της αγοράς πάνω στο χρεόγραφο, και τον ειδικό κίνδυνο (μη συστηματικός κίνδυνος ή κίνδυνος ιδιοσυγκρασίας ή

διαφοροποιήσιμος κίνδυνος) που αφορά εκείνο το τμήμα της απόδοσης του χρεογράφου που δεν παρουσιάζει συσχέτιση με τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στη συνολική χρηματιστηριακή αγορά και έχει να κάνει με την μεμονωμένη συμπεριφορά του χρεογράφου. Ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό αυτού του υποδείγματος έγκειται στο γεγονός ότι η ιδιοσυγκρατική συνιστώσα του κινδύνου ενός χαρτοφυλακίου μειώνεται όταν το πλήθος των χρεογράφων που συμμετέχουν στο χαρτοφυλάκιο (διασπορά) αυξάνεται. (διαφοροποιήσιμη συνιστώσα κινδύνου). Αντιθέτως, η συμμετοχή του κάθε χρεογράφου στον συστηματικό κίνδυνο που αφορά την αγορά δεν μπορεί να μειωθεί.

Σύμφωνα με το υπόδειγμα CAPM, η σχέση ανάμεσα στην αναμενόμενη απόδοση ενός χρεογράφου και την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου της αγοράς, σε κατάσταση ισορροπίας, δίνεται από την σχέση :

$$E(r_i) = r_f + \beta_{im} (E(r_m) - r_f)$$

Όπου: $E(r_i)$: η αναμενόμενη απόδοση του χρεογράφου

r_f : η απόδοση του ακίνδυνου χρεογράφου

$E(r_m)$: η αναμενόμενη απόδοση της συνολικής χρηματιστηριακής αγοράς

β_{im} : το μέτρο του κινδύνου (συντελεστής βήτα).

Ο συντελεστής βήτα (beta coefficient) είναι ίσος με το λόγο της συνδιακύμανσης μεταξύ της αναμενόμενης απόδοσης του χρεογράφου και εκείνης της αγοράς (σ_{im}), προς τη διακύμανση της αναμενόμενης απόδοσης της αγοράς (σ_m^2) : $\beta_{im} = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2}$ και μετράει την συνιστώσα του συστηματικού κινδύνου που συνδέεται με ένα χρεόγραφο.

Ο συντελεστής βήτα ενός χαρτοφυλακίου που συγκροτείται από n χρεόγραφα είναι:

$$\beta_p = \sum_{i=1}^n X_i \beta_{im}$$

Όπου: X_i είναι η ποσοστιαία συνεισφορά του i χρεογράφου στο χαρτοφυλάκιο και

β_{im} : μετρά την συνεισφορά του i χρεογράφου στο συστηματικό κίνδυνο που συνδέεται με το χαρτοφυλάκιο

Ο συντελεστής beta ονομάζεται επίσης και συντελεστής επιθετικότητας, καθώς η τιμή του επιτρέπει την ταξινόμηση χρεογράφων ή χαρτοφυλακίων σε τρεις κατηγορίες στα πλαίσια μιας πιο εστιασμένης ανάλυσης του συστηματικού κινδύνου :

- ✓ Επιθετικά χρεόγραφα ή χαρτοφυλάκια που πολλαπλασιάζουν (μεγεθύνουν) τις μεταβολές της αγοράς. ($\beta > 1$, μεγάλη επικινδυνότητα)
- ✓ Αμυντικά χρεόγραφα ή χαρτοφυλάκια που υποπολλαπλασιάζουν (συρρικνώνουν) τις μεταβολές της αγοράς. ($\beta < 1$, μικρή επικινδυνότητα).
- ✓ Ουδέτερα χρεόγραφα ή χαρτοφυλάκια που μεταβάλλονται όπως η αγορά. (β ίσο ή περίξ της μονάδας)

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί λοιπόν, ένα μέρος του κινδύνου, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο συντελεστής βήτα, που συνδέεται με τον συστηματικό κίνδυνο. Ένα άλλο όφελος του συγκεκριμένου συντελεστή είναι ότι επιτρέπει στο διαχειριστή του χαρτοφυλακίου να προσαρμόσει την επενδυτική στρατηγική του σύμφωνα με τις προβλέψεις του για την αγορά. Πράγματι, όταν οι προβλέψεις του για την αγορά είναι ανοδικές, ο διαχειριστής θα διαμορφώσει τη θέση του με ένα επιθετικό χαρτοφυλάκιο ($\beta > 1$). Το αντίθετο θα πράξει, όταν οι προβλέψεις του είναι πτωτικές. Εάν οι προβλέψεις του είναι αβέβαιες, τότε θα διαμορφώσει ένα ουδέτερο χαρτοφυλάκιο. Ο συντελεστής β , λοιπόν, είναι μια θεμελιώδης μεταβλητή στη διαχείριση χαρτοφυλακίου και παίζει έναν κεντρικό ρόλο στην επιλογή και ανάλυση ενός χαρτοφυλακίου. Βέβαια, υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπιστεί ο συγκεκριμένος συντελεστής είναι ως επενδυτική επιλογή στα πλαίσια της οποίας δεν ελαχιστοποιούμε την τιμή του ίδιου, αλλά τη διαφορά μεταξύ επιθυμητού συντελεστή βήτα και συντελεστή βήτα του χρεογράφου.

Στην παραπάνω σχέση που συνδέει την αναμενόμενη απόδοση ενός χρεογράφου και την αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου της αγοράς, η αναμενόμενη απόδοση

του χρεογράφου αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη είναι το ποσοστό της απόδοσης χωρίς κίνδυνο και αντιπροσωπεύει την αμοιβή του χρόνου. Η δεύτερη συνιστώσα είναι ανάλογη με το διατρεχόμενο κίνδυνο, μετρούμενο με το συντελεστή βήτα και αντιπροσωπεύει την αμοιβή του κινδύνου.

1.8.1.2 Το υπόδειγμα Αντισταθμιστικής Αποτίμησης (Arbitrage Pricing Theory – APT)

Στα πλαίσια της θεωρίας αντισταθμιστικής αποτίμησης (Arbitrage Pricing Theory – APT) όπου προτάθηκε από τον Ross (1976), η απόδοση αποτελείται πάλι από δύο τμήματα: μια ιδιοσυγκρατική συνιστώσα και μια κοινή συνιστώσα. Η διαφορά με το υπόδειγμα αποτίμησης κεφαλαιακών στοιχείων αφορά στη μελέτη της επιρροής (influence) όπου έχουν διάφοροι παράγοντες πάνω στην απόδοση του χρεογράφου. Αυτή η πολυπαραγοντική επίδραση αποτυπώνεται στο σκέλος της κοινής συνιστώσας. Κάθε παράγοντας επιρροής συμπεριλαμβάνει και έναν συντελεστή βήτα β_{ik} που στην ουσία αποτυπώνει την ευαισθησία του χρεογράφου i στον k -παράγοντα. Ο συγκεκριμένος συντελεστής είναι μια γενίκευση του συντελεστή βήτα που γνωρίσαμε στο υπόδειγμα CAPM και συμπεριελάμβανε μόνο το influence της αγοράς. Στην θεωρία της αντισταθμιστικής αποτίμησης, ωστόσο, είναι πιο σύνθετος ο καθορισμός μιας συγκεκριμένης πολιτικής για την διαχείριση χαρτοφυλακίου λόγω της καταγραφής της πολύπαραγοντικής επίδρασης πάνω στην απόδοση του χρεογράφου. Σύμφωνα με την εν λόγω θεωρία, η απόδοση ενός i χρεογράφου δίνεται από τον ακόλουθο τύπο :

$$r_i = E(r_i) + \sum_k \beta_{ik} F_k + \varepsilon_i$$

όπου r_i : η απόδοση του i -χρεογράφου

$E(r_i)$: η αναμενόμενη απόδοση του i -χρεογράφου στην περίπτωση που η επιρροή όλων των k παραγόντων είναι μηδενική

β_{ik} : η ευαισθησία του i -χρεογράφου στον k -παράγοντα

F_k : η αποτύπωση του k -παράγοντα που επιδρά στην απόδοση του χρεογράφου

E_i : η αποτύπωση του ιδιοσυγκρατικού κινδύνου του i-χρεογράφου

Η συλλογιστική της αντιστάθμισης σύμφωνα με την οποία δύο χρεόγραφα με ταυτόσημο συνδυασμό απόδοσης – κινδύνου δεν μπορούν να ανταλλαχθούν σε διαφορετικές τιμές, όχι μόνο εμπεριέχεται στα υποδείγματα Μέσου – Διακύμανσης και Αποτίμησης κεφαλαιακών στοιχείων όπως τα γνωρίσαμε , αλλά και προεκτείνεται στην αποτύπωση του συμπεριφοράς του επενδυτή απέναντι στον κίνδυνο. Η θεωρία της αντισταθμιστικής αποτίμησης δεν εμπεριέχει αυτή την προέκταση.

Πρέπει ακόμα να τονίσουμε ότι έχουν αναδειχθεί πολλές παραλλαγές του συγκεκριμένου υποδείγματος από τότε που πρωτοπαρουσιάστηκε με αποτέλεσμα να μην υφίσταται κάποια συγκεκριμένη μορφή του που να είναι κοινώς αποδεκτή από όλους τους αναλυτές. Η επιλογή ή η απόρριψη ενός παράγοντα επιρροής στο υπόδειγμα λοιπόν, είναι στην διακριτική ευχέρεια του εκάστοτε αναλυτή.

Όπως έγινε αντιληπτό από την συνοπτική ανάλυση του μοντέλου APT, ο προσδιορισμός του απαιτούμενου ποσοστού απόδοσης υπόκειται σε συγκεκριμένου είδους σφάλματα που προέρχονται από τον βαθμό καταλληλότητας του επιλεχθέντος μοντέλου, από τον βαθμό ακρίβειας και ορθότητας των εισροών στο μοντέλο και από το κατά πόσο ο εκάστοτε συντελεστής βήτα εκφράζει με σωστό τρόπο την ευαισθησία του κάθε χρεογράφου στον επιλεχθέντα παράγοντα.

2. Σύγχρονη θεωρία διαχείρισης χαρτοφυλακίου και ενεργειακός σχεδιασμός για την ηλεκτροπαραγωγή

2.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη θεωρία διαχείρισης χαρτοφυλακίου χρησιμοποιείται, κατά κύριο λόγο, στον χρηματοοικονομικό κλάδο, στα πλαίσια προβλημάτων βελτιστοποίησης, για την διαμόρφωση κατάλληλων επενδυτικών χαρτοφυλακίων προς επίτευξη υψηλών κερδών με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κινδύνου. Από το 1970 και μετά, η εν λόγω θεωρία βρήκε απήχηση και σε άλλους τομείς της οικονομίας. Σήμερα, βασικές έννοιες της σύγχρονης θεωρίας διαχείρισης χαρτοφυλακίου εφαρμόζονται σε ένα ευρύτατο φάσμα επιστημονικών πεδίων που εκτείνεται από τον τομέα της κοινωνικής ψυχολογίας για την μοντελοποίηση της αυτοεκτίμησης του ατόμου και μέχρι και την χάραξη ενεργειακής πολιτικής.

Ο ενεργειακός σχεδιασμός, κυρίως σε εθνικό επίπεδο, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στην πορεία υλοποίησης της αναπτυξιακής πολιτικής μιας χώρας, δίνοντας μια κατευθυντήρια γραμμή στο εθνικό ενεργειακό σύστημα της. Επιπροσθέτως, η χάραξη ενεργειακής πολιτικής μπορεί να μελετηθεί σε τοπικό ή ακόμα και σε περιφερειακό επίπεδο. Είναι γεγονός ότι η λήψη αποφάσεων για τον ενεργειακό σχεδιασμό εμπεριέχει ένα σύνολο διαφόρων παραμέτρων κυρίως οικονομικής γεωπολιτικής, νομικής και περιβαλλοντικής φύσεως. Αυτές οι παράμετροι σε συνδυασμό με την συνεχή διεύρυνση των ενεργειακών τεχνολογιών για την ηλεκτροπαραγωγή τα τελευταία χρόνια, διαμορφώνουν ένα δυναμικό και συγχρόνως σύνθετο περιβάλλον για την χάραξη ενεργειακής πολιτικής.

Τα τελευταία 50 χρόνια πραγματοποιούνταν ο λεγόμενος ‘ενεργειακός σχεδιασμός ελαχίστου κόστους’ για την ηλεκτροπαραγωγή στις περισσότερες χώρες. Υπήρχε η βεβαιότητα ότι προσθέτοντας τις αποκαλούμενες ‘ενεργειακές τεχνολογίες ελαχίστου κόστους’ , θα κατεύθυναν το ενεργειακό σύστημα στο ελάχιστο δυνατό κόστος (Shimon Awerbuch , 2004). Ο κίνδυνος στη χάραξη της ενεργειακής πολιτικής υπολογιζόταν ως η πιθανότητα να προκύψει πρόβλημα στον ενεργειακό εφοδιασμό σε εθνικό επίπεδο εξαιτίας γεγονότων όπως συγκρούσεις , πολιτική αστάθεια, τρομοκρατικές επιθέσεις, ατυχήματα, ακατάλληλες καιρικές συνθήκες, μονοπωλιακές πρακτικές-καρτέλ κ.α. Δεδομένου όμως του σύνθετου πλαισίου στο οποίο εντάσσεται

ο ενεργειακός σχεδιασμός στην σημερινή εποχή, ο 'ενεργειακός σχεδιασμός ελαχίστου κόστους' δεν αποτελεί πλέον εργαλείο για την διαμόρφωση μιας βιώσιμης ενεργειακής πολιτικής, πόσο μάλλον σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο μοντέλο δεν λάμβανε υπόψη του το καθεστώς αβεβαιότητας για τις τιμές των καυσίμων των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών. Οι οικονομολόγοι πλέον είναι πεπεισμένοι για τις αρνητικές συνέπειες της αστάθειας των τιμών των καυσίμων, και κυρίως του πετρελαίου, στον δείκτη ανάπτυξης των χωρών (Ferderer 1996). Έχει διαπιστωθεί ότι το καθεστώς αβεβαιότητας εμποδίζει ('καθυστερεί') τον αμετάκλητο χαρακτήρα των επιχειρησιακών επενδύσεων (Bernankes 1983). Επιπροσθέτως, διαπιστώθηκε ότι η μεταβλητότητα των τιμών του πετρελαίου έχει αρνητική επίδραση στο δείκτη εργασιακής απασχόλησης στις ΗΠΑ με κάποια μικρή χρονική καθυστέρηση (Uti 1996). Το μόνο σίγουρο είναι ότι η ανυπαρξία ενός σταθερού και προβλέψιμου επιπέδου τιμών καυσίμων, κυρίως όσον αφορά στο πετρέλαιο και στα παράγωγα του, θα συνεχιστεί και στο μέλλον διότι τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων εξαντλούνται. Εδώ λοιπόν είναι το σημείο όπου αίρονται οι δεύτερες σκέψεις, όπου είχαν οι υπεύθυνοι για την χάραξη ενεργειακών πολιτικών, οι καταναλωτές και οι εταιρείες, όσον αφορά στην εισαγωγή των ΑΠΕ στη διαμόρφωση του ενεργειακού δυναμικού των χωρών. Παρότι οι ΑΠΕ αποτελούν ενεργειακές τεχνολογίες με σχετικά μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, η εισαγωγή τους στο ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής δεν προκαλεί απαραίτητα αύξηση του συνολικού κόστους. Αυτό συμβαίνει καθότι δεν συμπεριλαμβάνονται στο καθεστώς αβεβαιότητας των τιμών καυσίμων των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών και ενέχουν μηδενικό ρίσκο. Στην σημερινή εποχή λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή ενός νέου μοντέλου για τον ενεργειακό σχεδιασμό.

Ας προσπαθήσουμε λοιπόν, σε μια πρώτη φάση, να μοντελοποιήσουμε το πρόβλημα του ενεργειακού σχεδιασμού ομοίως με αντίστοιχα προβλήματα βελτιστοποίησης που συναντούν οικονομικοί επενδυτές στα χρηματοοικονομικά. Οι επενδυτές πραγματοποιούν δέσμευση των κεφαλαίων τους προσδοκώντας μία θετική απόδοση μελλοντικά. Δε θα μπορούσαν όμως να επενδύσουν όλο τους το κεφάλαιο μεμονωμένα σε ένα περιουσιακό στοιχείο στα πλαίσια μακροπρόθεσμων επενδυτικών περιόδων (20 έως 30 χρόνια) εξαιτίας της αβεβαιότητας ότι η πραγματοποιούμενη απόδοση δεν θα είναι ίση με την αναμενόμενη. Ένας ορθολογικός επενδυτής οφείλει

να γνωρίζει ότι η αναμενόμενη απόδοση που προσδοκάται από μια επενδυτική επιλογή συναρτάται άμεσα με τον αντίστοιχο συνδεδεμένο κίνδυνο. Η παγκοσμιοποίηση, η ραγδαία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η πρόσβαση σε πληρέστερη πληροφόρηση δίνουν στον επενδυτή την δυνατότητα επιλογής από ένα ευρύτερο, σε σχέση με το παρελθόν, φάσμα επενδυτικών επιλογών. Πλέον οι μετοχικές επενδύσεις χαρακτηρίζονται από συγκριτικά υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση αλλά ταυτόχρονα και από υψηλότερο επίπεδο κινδύνου (Frank K. Reilly, Keith C. Brown, 2002). Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι οικονομικοί επενδυτές δραστηριοποιούνται σε ένα περιβάλλον ανάλογης πολυπλοκότητας με τους υπευθύνους χάραξης ενεργειακών πολιτικών. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η εγκατάλειψη της μεθόδου του ελαχίστου κόστους στον ενεργειακό σχεδιασμό. Χρειαζόμαστε πλέον μια προσέγγιση όπου θα μας επιτρέψει τη βελτιστοποίηση της απόδοσης-ελαχιστοποίηση του κόστους με παράλληλη διαχείριση του ρίσκου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αφορά στη σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων αποτελούμενων από ενεργειακά αξιόγραφα (ενεργειακές τεχνολογίες) έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το αναμενόμενο κόστος για κάθε επίπεδο κινδύνου, ενώ ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για κάθε επίπεδο αναμενόμενου κόστους.

Η δυνατότητα διαχείρισης του κινδύνου που υπεισέρχεται η μεταβλητότητα, μέσω της διαφοροποίησης, αποτελεί βασική διαπίστωση της σύγχρονης θεωρίας διαχείρισης χαρτοφυλακίου και γι' αυτό η εν λόγω θεωρία έχει εφαρμοστεί στον τομέα του ενεργειακού σχεδιασμού σε πολλές μελέτες. Το 1998, οι Humphreys και McClain, στη μελέτη τους με τίτλο 'Reducing the Impacts of Energy Price Volatility Through Dynamic Portfolio Selection', επικεντρώθηκαν στη διαμόρφωση του ενεργειακού μίγματος των ΗΠΑ ώστε να περιοριστεί η πιθανότητα αναπάντεχης αύξησης στις τιμές της ενέργειας. Το 2001, οι E. G. Domingues, H. Arango, J. Policarpo G. A., C. B. Campinho, και G. Paulillo, στη μελέτη τους με τίτλο 'Applying modern portfolio theory to investment projects in electric energy markets' πρότειναν την επέκταση της Σ.Θ.Χ για την επαναδιαμόρφωση του ηλεκτροπαραγωγικού μίγματος της Βραζιλίας και πέραν των υδροηλεκτρικών λαμβάνοντας υπόψη τεχνικούς και οικονομικούς κινδύνους. Το 2004, ο Awerbuch στη εργασία του με τίτλο 'Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security' επισήμανε ότι με την προσθήκη των 'δαπανηρών' ενεργειακών τεχνολογιών ΑΠΕ προκύπτουν διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια με χαμηλότερα

αναμενόμενα κόστη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ το 2007 ο ίδιος μαζί με τον Spencer Yang στην μελέτη τους με τίτλο 'Efficient electricity generating portfolios for Europe: Maximising energy security and climate change mitigation' επικεντρώθηκε στον εντοπισμό βέλτιστων χαρτοφυλακίων ηλεκτροπαραγωγής για την ΕΕ και κατέληξε στη μεγαλύτερη συνεισφορά της αιολικής και της πυρηνικής ενέργειας για το 2020 με ταυτόχρονη μείωση κόστους-κινδύνου και εκπομπών CO₂.

Εν συνεχεία, θα πρέπει να ορίσουμε – αντιστοιχίσουμε δύο σημαντικές παραμέτρους για την εφαρμογή της μεθόδου αποτίμησης χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό: την απόδοση και το ρίσκο. Προτού ορίσουμε την παράμετρο της απόδοσης, πρέπει να τονίσουμε ότι στην παρούσα εργασία προσεγγίζουμε την χάραξη ενεργειακής πολιτικής υπό την έννοια της ελαχιστοποίησης του κόστους ηλεκτροπαραγωγής. Ο προσδιορισμός των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων γίνεται στα πλαίσια αντιμετώπισης του παραγόμενου αγαθού (ηλεκτρική ενέργεια) ως ένα αδιαμφισβήτητο στοιχειώδες κοινωνικό αγαθό. Προφανώς υφίσταται και η σκοπιά της μεγιστοποίησης των κερδών από την πώληση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά δεν εξετάζεται στα πλαίσια της εργασίας μας. Επομένως, έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας, μεταβολές στην τιμή πώλησής της, φόροι και τυχόν επιδοτήσεις για ήπιες μορφές ενέργειας, αγνοούνται. Ορίζουμε λοιπόν την απόδοση, δηλαδή το μέτρο της ελκυστικότητας μιας επένδυσης σε μια ενεργειακή τεχνολογία, ως τον αντίστροφο του κόστους για την ηλεκτροπαραγωγή από αυτήν, αφού η μεγιστοποίηση της απόδοσης οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του κόστους.

Συνεπώς η εξίσωση: $R = \frac{1}{C}$, όπου R είναι η απόδοση μιας ενεργειακής τεχνολογίας και C είναι το κόστος ηλεκτροπαραγωγής για την συγκεκριμένη τεχνολογία, δίνει την επενδυτική διάσταση στο μοντέλο μας με την έννοια της μεγιστοποίησης. Παρατηρούμε ότι η μονάδα μέτρησης της απόδοσης τόσο για τα ενεργειακά αξιόγραφα (ενεργειακές τεχνολογίες) όσο και για τα ενεργειακά χαρτοφυλάκια είναι (KWh / Χρηματικές Μονάδες) και συγκεκριμένα, για την παρούσα εργασία είναι (KWh / €). Στον τομέα της χρηματοοικονομικής επιστήμης η απόδοση ενός χρεογράφου, δηλαδή η διαφορά της αξίας του χρεογράφου την ημέρα της αγοράς και της τιμής του κατά την ημέρα πώλησης, εκφρασμένη σαν ποσοστό επί της αξίας αγοράς του χρεογράφου, είναι ένα αδιάστατο μέγεθος. Με απλά λόγια, η απόδοση στα χρηματοοικονομικά ορίζεται σαν το πηλίκο του κέρδους προς το επενδυμένο

κεφάλαιο ,όπου και τα δύο μεγέθη μετρούνται σε χρηματικές μονάδες. Θα μπορούσαμε να μετατρέψουμε το μέγεθος της απόδοσης στο πρόβλημα ενεργειακού σχεδιασμού, σε αδιάστατο μέγεθος πολλαπλασιάζοντας με την τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος (€/KWh). Το πρόβλημα που ανακύπτει εδώ αφορά στο ποια είναι η κατάλληλη τιμή ηλεκτρικού ρεύματος. Προφανώς η συγκεκριμένη τιμή δεν παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου αλλά μεταβάλλεται συναρτήσει πολλών παραγόντων (ανταγωνισμός στην αγορά ενέργειας , απρόβλεπτοι εξωγενής παράγοντες κ.α.). Οι παράγοντες αυτοί συνθέτουν ένα επιπρόσθετο περιβάλλον αβεβαιότητας όσον αφορά την τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο θα παραμείνει εκτός των ορίων μελέτης της παρούσας εργασίας. Συνεπώς η απόδοση για τις ανάγκες της προσέγγισης μας στον ενεργειακό σχεδιασμό θα παραμείνει με μονάδα μέτρησης (KWh / €).

Το ρίσκο των οικονομικών αξιόγραφων ορίζεται ως η τυπική απόκλιση ή η διακύμανση της αναμενόμενης απόδοσης τους. Για την περίπτωση του ενεργειακού σχεδιασμού στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιούμε την τυπική απόκλιση των τιμών των ενεργειακών πηγών (καυσίμων) των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών. Στην πραγματικότητα, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής για μια ενεργειακή τεχνολογία συντίθεται από επιμέρους κόστη όπως είναι το κόστος καυσίμου, τα μεταβλητά και σταθερά κόστη λειτουργίας και συντήρησης ,το κόστος επένδυσης. Για την ανάπτυξη της μεθόδου αποτίμησης ενεργειακού χαρτοφυλακίου, θα επικεντρωθούμε στην παράμετρο του κόστους καυσίμου και στον κίνδυνο που εισάγεται εξαιτίας της διαχρονικής αυξομείωσης των τιμών τους. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε τη διαφορετική άποψη που εξέφρασε ο Andrew Stirling τον Μάρτιο του 1994, στην μελέτη του ‘Diversity and ignorance in electricity supply investment - Addressing the solution rather than the problem’, για την εφαρμογή της Θ.Μ.Δ. στον ενεργειακό σχεδιασμό. (Stirling’s “Ignorance and Diversity” versus Classical Mean-Variance Portfolio Theory - Awerbuch & Berger ,2003). Πιο συγκεκριμένα, ο Stirling έκανε τον διαχωρισμό σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις αβεβαιότητας : το ‘καθεστώς’ ρίσκου όπου μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μπορεί να προσδιοριστεί για ένα εύρος πιθανών αποτελεσμάτων, το ‘καθεστώς’ αβεβαιότητας όπου δεν υπάρχει βάση για την εκχώρηση των πιθανοτήτων στα πιθανά αποτελέσματα και το ‘καθεστώς άγνοιας’ όπου δεν υφίσταται βάση για την εκχώρηση των πιθανοτήτων στα πιθανά αποτελέσματα αλλά ούτε γνώση σχετικά με πολλά από τα ίδια τα αποτελέσματα. Ο

ίδιος κατέληξε στο ότι το καθεστώς άγνοιας, και όχι το ρίσκο ή η αβεβαιότητα, κυριαρχεί πραγματικά στην λήψη αποφάσεων στις ενεργειακές επενδύσεις και πρόταξε την διαφοροποίηση ως λύση σε αυτό το καθεστώς.

Τέλος θα αναφέρουμε κάποιες παραδοχές και περιορισμούς για την εφαρμογή της Θ.Μ.Δ. στην διαμόρφωση ενεργειακών χαρτοφυλακίων όπως αναφέρονται στο πρώτο παράρτημα της μελέτης των Shimon Awerbuch και Martin Berger με τίτλο: ‘Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy-making’ που δημοσιεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2003, προσαρμόζοντας τες στη μελέτη μας.

- ✓ **Μη διαιρετότητα χρεογράφων :** Η θεωρία μέσου – διακύμανσης βασίζεται στην παραδοχή ότι τα οικονομικά χρεόγραφα είναι επ’άπειρον διαιρετά σε αντιδιαστολή με τα επενδύμενα κεφάλαια που παρουσιάζονται συχνά σε πολύ μεγάλες και αδιαίρετες ομάδες (Seitz ,1990). Δεν είναι όμως δυνατή η διαίρεση των ενεργειακών χρεογράφων σε τέτοιο βαθμό. Η σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού , στην μελέτη μας , πραγματοποιείται σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Έτσι λοιπόν η ασυνέχεια που ενδέχεται να προκύψει από την εισαγωγή επιπρόσθετης ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας θεωρείται αμελητέα καθώς η ενεργειακή ζήτηση που καλούμαστε να καλύψουμε είναι πολύ μεγάλη.

- ✓ **Κανονική κατανομή για τις αποδόσεις περιόδου διακράτησης :** Η Θ.Μ.Δ. χρησιμοποιεί μόνο τα μεγέθη της μέσης τιμής και της διακύμανσης και άρα κάνουμε την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν άλλα στατιστικά μεγέθη για την περιγραφή του πλούτου στο τέλος μιας περιόδου χρήσης. Έτσι λοιπόν υποθέτουμε ότι η απόδοση ακολουθεί κανονική κατανομή με μόνη εξαίρεση την περίπτωση όπου οι επενδυτές έχουν μια ειδικού τύπου συνάρτηση χρησιμότητας (π.χ. τετραγωνικής μορφής συνάρτηση χρησιμότητας) (Copeland και Weston ,1988). Για την ανάλυση μας, απομένει να καθοριστεί αν οι αποδόσεις περιόδου διακράτησης (HPR – Holding Period Return) για τις τιμές των καυσίμων ακολουθούν κανονική κατανομή. Ωστόσο, το γεγονός ότι η πρόβλεψη των τιμών των καυσίμων μοντελοποιείται με την μέθοδο των τυχαίων μονοπατιών (random walks) (Felder ,1994 - Hassett and Metcalf ,1993 - Holt, 1988 - Glynn and Manne

,1988) μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μεταβολές των τιμών είναι τουλάχιστον ανεξάρτητες.

- ✓ **Τέλεια ανταλλάξιμα χρεόγραφα:** Τα χρεόγραφα των οικονομικών χαρτοφυλακίων πρέπει να είναι απολύτως ανταλλάξιμα. Αυτό σημαίνει ότι η αξία τους, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, πρέπει να εξαρτάται μόνο από την ποσότητα, το χρόνο και την βεβαιότητα των αναμενόμενων χρηματοροών. Κάτι τέτοιο ίσως δεν ισχύει πάντα για τα ενεργειακά αξιόγραφα καθότι παράγοντες, όπως η τοποθεσία και η διαθεσιμότητα των ενεργειακών πηγών, ενδέχεται να επηρεάσουν την επιλογή μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής για ποικίλους λόγους. Για παράδειγμα, η κατασκευή μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, που χρησιμοποιεί φυσικό αέριο, σε κοντινή απόσταση από έναν αγωγό φυσικού αερίου, μπορεί να ενισχύσει 'την ποσότητα, τον χρόνο και την βεβαιότητα' των χρηματοροών περισσότερο από την κατασκευή μιας αντίστοιχης που χρησιμοποιεί λιγνίτη. Η επιλογή της ενεργειακής τεχνολογίας ενδέχεται να επηρεάσει περαιτέρω την αξία ενός ενεργειακού αξιόγραφου στο βαθμό που τα κόστη εγκατάστασης και σύνδεσης στο δίκτυο, ή και άλλα συναφή κόστη, διαφέρουν από τεχνολογία σε τεχνολογία.
- ✓ **Φόροι και επιδοτήσεις :** Η προσέγγιση της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στη χάραξη ενεργειακής πολιτικής σε εθνικά επίπεδα και συνεπώς ασχολείται με το ρίσκο του κόστους για την κοινωνία ως σύνολο. Ως εκ τούτου, πιθανοί φόροι και επιδοτήσεις αντιμετωπίζονται ως μεταβιβαστικές πληρωμές και αγνοούνται..
- ✓ **Το Παρελθόν ως οδηγός για το Μέλλον :** Η θεωρία του Χαρτοφυλακίου χρησιμοποιεί την 'παρελθούσα μεταβλητότητα' ως οδηγό για τον μέλλον μέλλον (Ibboston Associates, 1998 – Sharpe, 1970). Στην μελέτη μας χρησιμοποιούμε ετήσια ονομαστικά τιμές για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των HPR για τα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι ενεργειακές τεχνολογίες, προκειμένου να αποκλειστούν εποχιακές διακυμάνσεις από την εκτίμηση που κάνουμε για τον κίνδυνο.

- ✓ **Αναμενόμενες αποδόσεις :** Όσον αφορά τις αναμενόμενες αποδόσεις ισχύουν οι παραδοχές που αναφέρθηκαν προηγουμένως και επιπρόσθετα αναφέρουμε ότι υπολογίζονται από τα σταθμισμένα κόστη ηλεκτροπαραγωγής.

- ✓ **Παροπλισμός, Υπολειμματική αξία και Κόστη Μετάβασης :** Τα κόστη παροπλισμού μιας ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, η υπολειμματική της αξία μετά το τέλος της επενδυτικής περιόδου και τα κόστη μετάβασης από μια παλιά μονάδα σε μια νεότερη, αγνοούνται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Συνεπώς , η συνεισφορά κάποιων ενεργειακών τεχνολογιών στα βέλτιστα ενεργειακά χαρτοφυλάκια μελλοντικού χρόνου, ίσως να είναι μικρότερη από εκείνη που θα καταγράψουμε.

- ✓ **‘Ρίσκο Καυσίμου’ για ΑΠΕ :** Η συγκεκριμένη παραδοχή που διατύπωσαν οι Awerbuch και Berger, διαφέρει στη μελέτη μας , όχι ως προς τη γενική της αρχή, αλλά ως προς το είδος των ΑΠΕ που θα συμπεριλάβουμε. Επί της ουσίας, η συγκεκριμένη παραδοχή αναφέρεται στις αυξομειώσεις στην ηλεκτροπαραγωγή από ενεργειακές τεχνολογίες ΑΠΕ, εξαιτίας της μεταβαλλόμενης διαθεσιμότητας της δωρεάν ενεργειακής πηγής (πχ. άνεμος). Ως εκ τούτου, ανακύπτει ένα επιπρόσθετο κόστος, το λεγόμενο κόστος ευκαιρίας. Στην παρούσα μελέτη, αγνοούμε το εν λόγω κόστος θεωρώντας ότι οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες δεν λειτουργούν ως εφεδρικές πέραν των ορίων της δυναμικότητάς τους. Κατά συνέπεια, δεν συμπεριλαμβάνουμε το επιπρόσθετο ρίσκο που ανακύπτει από την εφεδρική λειτουργία των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών. Στην παρούσα μελέτη οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αντιπροσωπεύονται από τα υδροηλεκτρικά εξαιτίας της γεωγραφικής και ενεργειακής ιδιαιτερότητας της Σκανδιναβίας. Εν συνεχεία της μελέτης μας θα αναλύσουμε εκτενώς τη συγκεκριμένη επιλογή.

2.2 Ενεργειακή Κατάσταση στις Σκανδιναβικές Χώρες

2.2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εφαρμόσουμε την θεωρία μέσου-διακύμανσης για την αξιολόγηση και τη διαμόρφωση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής των τεσσάρων Σκανδιναβικών χωρών : Σουηδία , Φινλανδία , Νορβηγία και Δανία και του Σκανδιναβικού συμπλέγματος στο σύνολο του. Η αξιολόγηση θα αφορά το έτος 2011 και οι προτάσεις μας θα αναφέρονται στα έτη 2020 και 2030 με αναφορά το πραγματικό ενεργειακό μίγμα κάθε χώρας και του συμπλέγματος για το 2011 και το προβλεπόμενο ενεργειακό μίγμα της Σκανδιναβίας για τα έτη 2020 και 2030. Επιπροσθέτως, στα πλαίσια αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού στον μεσομακροπρόθεσμο ορίζοντα (έτη 2020-2030) θα εξετάσουμε τέσσερα σενάρια που θα αφορούν τα κόστη καυσίμων και το κόστος εκπομπών CO₂. Είναι σκόπιμο λοιπόν, να κάνουμε μια αναφορά στην ενεργειακή τους κατάσταση.

Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας στη Σκανδιναβία έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Όλες οι σκανδιναβικές χώρες έχουν πλέον ανοίξει το δρόμο για πραγματικά απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για το εμπόριο όσο και για την ηλεκτροπαραγωγή. Σκοπός της απελευθέρωσης του συγκεκριμένου τομέα ήταν η αποδοτικότερη κατανομή των ενεργειακών πόρων και η υιοθέτηση ενός υγιούς ανταγωνιστικού μοντέλου ανάμεσα σε παραγωγούς και καταναλωτές. Με τη δημιουργία του Nord Pool , του σκανδιναβικού χρηματιστηρίου συναλλαγών ισχύος, έχουμε σήμερα μια ενοποιημένη σκανδιναβική αγορά πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Πέρα από την ενεργειακή ασφάλεια που επετεύχθη, οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στις Σκανδιναβικές χώρες διαμορφώθηκαν στα χαμηλότερα επίπεδα της Ευρώπης και σήμερα βρίσκονται σταθερά κάτω από τον μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

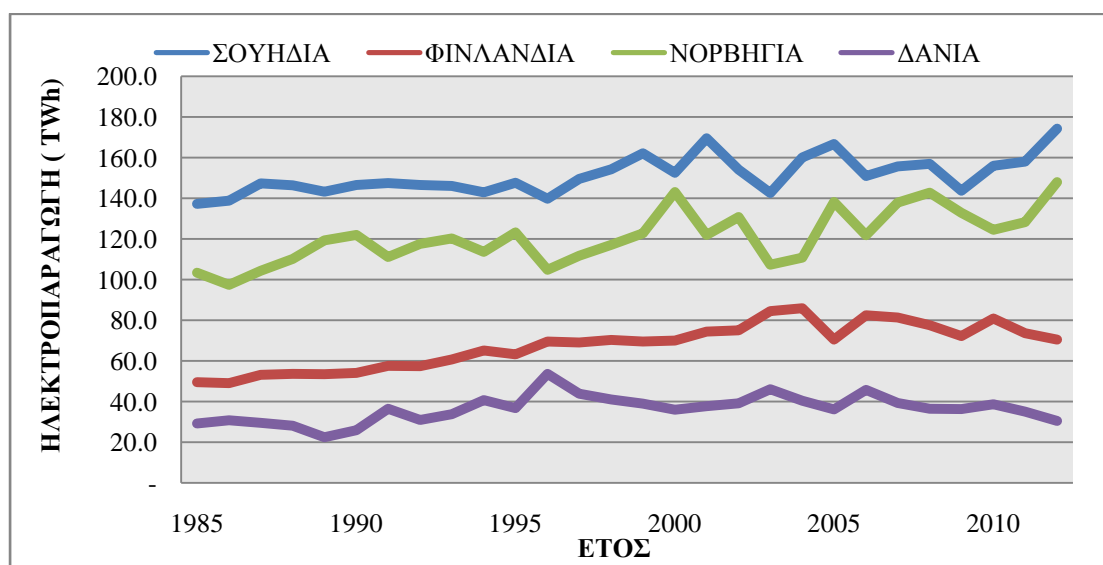
Όσον αφορά τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η Σουηδική κρατική εταιρεία Vattenfall AB διατηρεί την θέση της ως ο μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας στη Σκανδιναβία με ποσοστό 21,8% της συνολικής παραγωγής ακολουθούμενη από την Νορβηγική Statkraft (13,7%), την Φινλανδική Fortum (12,8%) και την E.ON (7,7%)

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Σκανδιναβία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στα 98.414 MW και η συνολική ηλεκτροπαραγωγή της το 2010 έφτανε στις 399 TWh. Στο ενεργειακό ισοζύγιο των Σκανδιναβικών χωρών (εκτός της Δανίας) κυριαρχεί η παραγωγή ηλεκτρισμού από υδροηλεκτρικά που κανονικά καταλαμβάνουν ποσοστό περίπου ίσο με από το 52% της συνολικής παραγωγικής ικανότητας της Σκανδιναβίας. Συγκεκριμένα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το σύνολο της Νορβηγικής και περίπου το ήμισυ της Σουηδικής ηλεκτροπαραγωγής. Τα ποσοστά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στις αντίστοιχες εγχώριες παραγωγές, είναι υπό εποχιακή διαμόρφωση καθότι το υδροηλεκτρικό δυναμικό εξαρτάται από την γεωμορφία και την βροχή. Το 2011, το υδροηλεκτρικό δυναμικό στην Σκανδιναβία έφτασε στις 242 TWh, δηλαδή περίπου 20% υψηλότερο από το μέσο ορό σε μακροχρόνια βάση. Τα πυρηνικά αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγική πηγή της συνολικής Σκανδιναβικής ηλεκτροπαραγωγής και το συνολικό ποσοστό τους αγγίζει το 22%. Ωστόσο η εκμετάλλευση της γίνεται αποκλειστικά από τη Σουηδία και τη Φινλανδία. Τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας) καταλαμβάνουν περίπου το 14% της ηλεκτροπαραγωγής του Σκανδιναβικού συμπλέγματος. Οι ενεργειακές τεχνολογίες ‘Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας’ χρησιμοποιούνται ευρέως και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς στη Φινλανδία και τη Δανία ενεργεί ως ‘εναλλασσόμενη παραγωγική διαδικασία’ (swing-production) εξισορροπώντας εποχιακά το σύνολο της παραγωγής, όταν το επίπεδο της αντίστοιχης εγχώριας παραγωγής από υδροηλεκτρικά στη Νορβηγία και στη Σουηδία είναι χαμηλό. Τέλος, περίπου το 3% του συνολικού ηλεκτρισμού παράγεται από αιολική ενέργεια ενώ παρατηρείται μια εντεινόμενη ποσοστιαία αύξηση από το 2011. Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται η κατανομή της Εγκατεστημένης Ισχύος (MW) στις Σκανδιναβικές Χώρες σε κάθε ενεργειακή μορφή για το έτος 2011.

	Denmark	Finland	Norway	Sweden	Nordic region
Installed capacity (total)	13 540	16 713	31 714	36 447	98 414
Nuclear power	-	2 716	-	9 363	12 079
Other thermal power	9 582	10 651	1 062	7 988	29 283
- Condensing power	1 590	2 155	-	1 623	5 368
- CHP, district heating	7 118	4 300	-	3 551	14 969
- CHP, industry	674	3 362	-	1 240	5 276
- Gas turbines etc.	200	834	-	1 574	2 608
Hydro power	9	3 149	30 140	16 197	49 495
Wind power	3 949	197	512	2 899	7 557

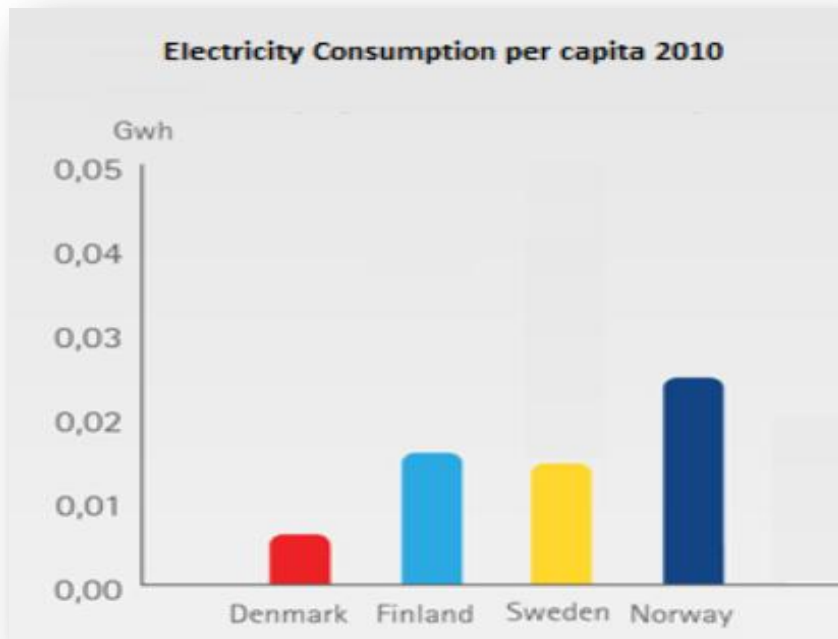
Πίνακας 2.1 Κατανομή της Εγκατεστημένης Ισχύος (MW) στις Σκανδιναβικές χώρες ανά μορφή ενέργειας για το έτος 2011 (πηγή : Swedenergy, NVE, DERA, EMI)

Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό γράφημα όπου απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής από το 1985 έως και το 2012 για καθεμία από τις Σκανδιναβικές χώρες. Τα ετήσια στατιστικά δεδομένα για την ηλεκτροπαραγωγή αντλήθηκαν από το Statistical Review of World Energy 2013 (workbook) της εταιρείας BP.



Γράφημα 2.1 Διαχρονική εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής στις Σκανδιναβικές χώρες (1985 έως 2012)

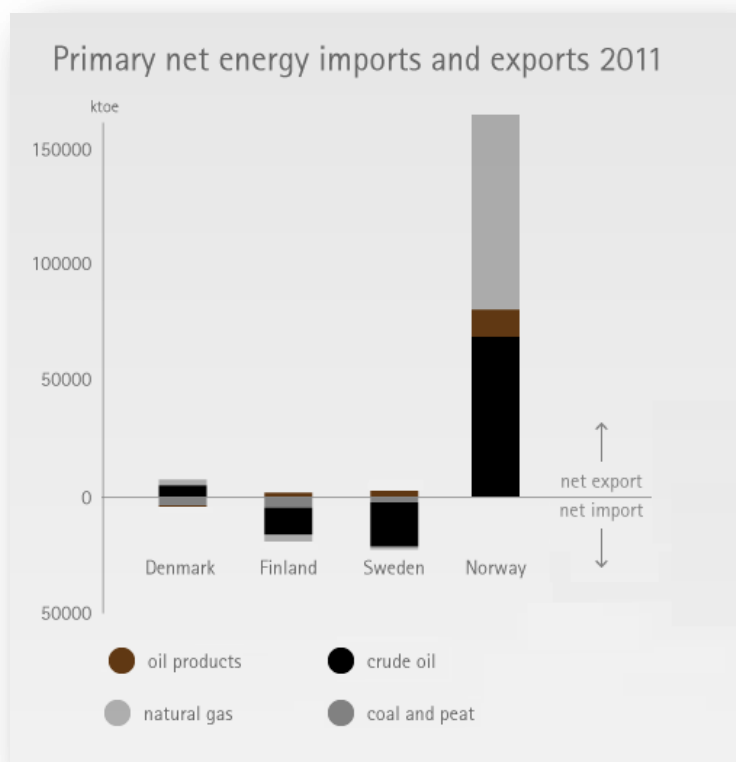
Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στην περιοχή της Σκανδιναβίας παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από χώρα σε χώρα παρόλο που η καθημερινή δραστηριότητα και στις 4 χώρες επηρεάζεται από το ψυχρό κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή. Ωστόσο, οι διαφορές στη βιομηχανική δραστηριότητα και στους ενεργειακούς πόρους έχει σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση κάθε χώρας ως προς την ενεργειακή κατανάλωση ανά κάτοικο. Ο βιομηχανικός τομέας στη Νορβηγία καταναλώνει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως την υδροηλεκτρική. Επιπροσθέτως, η εν λόγω χώρα χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για τη θέρμανση χώρων και νερού σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ότι οι άλλες σκανδιναβικές χώρες, οι οποίες έχουν πιο ανεπτυγμένα συστήματα τηλεθέρμανσης (παροχή και η μεταφορά θερμικής ενέργειας από μια κεντρική μονάδα παραγωγής προς έναν αριθμό περιφερειακών καταναλωτών, μέσω ενός δικτύου αγωγών μεταφοράς). Αντιθέτως, οι βιομηχανικοί τομείς της Φινλανδίας και της Σουηδίας δραστηριοποιούν περισσότερο θερμικά – ενεργοβόρες βιομηχανίες όπως η βιομηχανία χαρτοπολτού. Τέλος, στη Δανία δραστηριοποιούνται λιγότερο ενεργοβόρες βιομηχανίες. Παρά το γεγονός ότι, περίπου το 35% του ενεργειακού εφοδιασμού και το 65% της ηλεκτροπαραγωγής προέρχεται από Α.Π.Ε. στην ευρύτερη περιοχή της Σκανδιναβίας, υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης των ενεργειακών αποδόσεων των επιμέρους χωρών. Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό γράφημα όπου απεικονίζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στις Σκανδιναβικές χώρες για το έτος 2010.



Γράφημα 2.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στις Σκανδιναβικές χώρες για το έτος 2010 (Πηγή: Nordic Energy Research 2012 - IEA & World Bank 2010)

Όσον αφορά τα ορυκτά καύσιμα στην περιοχή της Σκανδιναβίας, η Νορβηγία αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο εξαγωγέα και τον όγδοο μεγαλύτερο παραγωγό πετρελαίου στον κόσμο, παράγοντας περίπου 3 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου την ημέρα. Επιπροσθέτως, αποτελεί τον έκτο κατά σειρά μεγαλύτερο παραγωγό φυσικού αερίου παγκοσμίως με σημαντικά αποθέματα φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Τέλος, διαθέτει ένα σημαντικό ποσοστό εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων άνθρακα που βρίσκεται κάτω από τη νορβηγική υφαλοκρηπίδα. Η Φινλανδία αποτελεί τον δεύτερο κατά σειρά (μετά την Σουηδία) μεγαλύτερο εισαγωγέα πετρελαίου στη Σκανδιναβία. Συγκεκριμένα το 2007 οι εισαγωγές πετρελαίου έφτασαν περί των 11 εκατομμυρίων τόνων. Ωστόσο, όπως θα δούμε και παρακάτω, το πετρέλαιο καταλαμβάνει περίπου το 1 % του ενεργειακού μίγματος ηλεκτροπαραγωγής. Όσον αφορά το φυσικό αέριο, μέχρι και το 2010, η Φινλανδία ήταν πλήρως εξαρτώμενη από έναν και μόνο προμηθευτή φυσικού αερίου, την Ρωσία ενώ για το ίδιο έτος η Σουηδία εξαρτιόταν εξ' ολοκλήρου από τη Δανία. Η κατανάλωση άνθρακα της Φινλανδίας για το 2007 έφτασε τα 5,6 εκατομμύρια τόνους ενώ οι εισαγωγές του γίνονται από την Ρωσία και την Πολωνία. Η Δανία διαθέτει σημαντικές ενεργειακές πηγές πετρελαίου και φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα και κατατάσσεται 32^η

στις καθαρές εξαγωγές αργού πετρελαίου παγκοσμίως. Ωστόσο, σύμφωνα με τις τωρινές προβλέψεις, η συνεχόμενη μείωση των εγχώριων ενεργειακών πόρων φυσικού αερίου θα καταστήσει αναγκαίες τις εισαγωγές μέχρι και το 2020. Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό γράφημα με τις πρωτογενείς καθαρές εισαγωγές και εξαγωγές ορυκτών καυσίμων των Σκανδιναβικών χωρών για το έτος 2011.

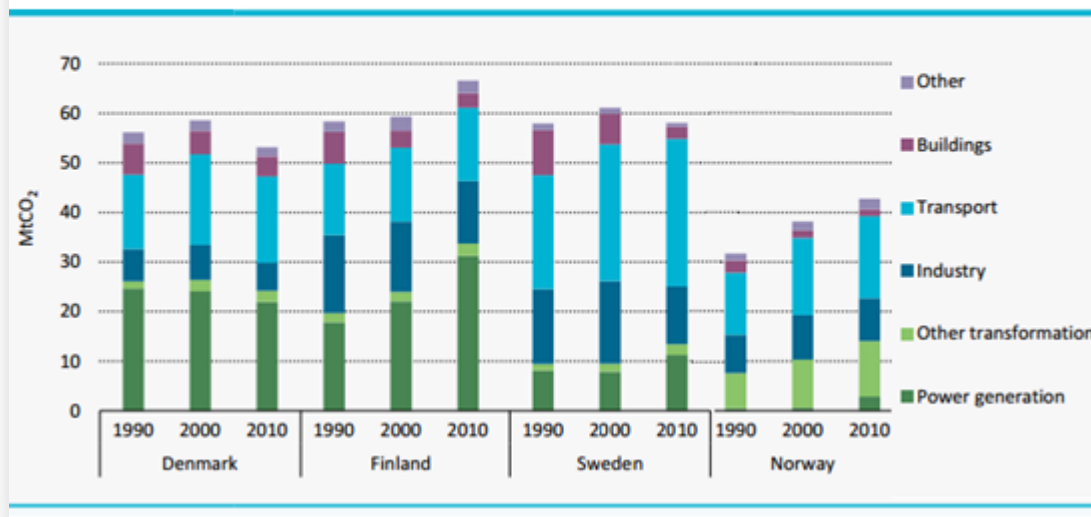


Γράφημα 2.3 Πρωτογενείς καθαρές εισαγωγές και εξαγωγές ορυκτών καυσίμων των Σκανδιναβικών χωρών για το έτος 2011 (Πηγή: Nordic Energy Research 2012 – IEA 2011)

Αναφορικά με την πυρηνική ενέργεια, μόνο η Σουηδία και η Φινλανδία χρησιμοποιούν πυρηνικούς σταθμούς για την ηλεκτροπαραγωγή. Συγκεκριμένα, στη Σουηδία λειτουργούν συνολικά 10 πυρηνικοί αντιδραστήρες σε 4 σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ενώ στην Φινλανδία λειτουργούν 4 πυρηνικοί αντιδραστήρες σε 2 σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, ένας ακόμα είναι υπό κατασκευή και υπάρχει επενδυτικό σχέδιο για την κατασκευή επιπλέον 2 αντιδραστήρων.

Ο ήδη υπάρχων ενεργειακός σχεδιασμός στην Σκανδιναβία χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλές εκπομπές CO₂ όσον αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή (περίπου ίσες με 100 gCO₂/kWh). Η συγκεκριμένη τιμή είναι σημαντικά χαμηλότερη από τον μέσο όρο παγκοσμίως (περίπου 550 gr / kWh) αλλά και από το μέσο όρο της Ε.Ε. Είναι γεγονός όμως ότι υπάρχουν μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις σχετικά με τις εκπομπές CO₂ κάτι το οποίο οφείλεται στην αντίστοιχη ανομοιομορφία του υδροηλεκτρικού δυναμικού. Το μεγαλύτερο ποσοστό από τα 67 MtCO₂ του Σκανδιναβικού ηλεκτροπαραγωγικού τομέα προέρχονται από τη Δανία (33%) και τη Φινλανδία (46%). Στις δύο συγκεκριμένες χώρες η ηλεκτροπαραγωγή από άνθρακα και φυσικό αέριο εξακολουθεί να υφίσταται σε σημαντικό βαθμό. Η Σουηδία και η Νορβηγία συμβάλλουν λιγότερο στις εν λόγω εκπομπές λόγω της παρουσίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των πυρηνικών (μόνο για την Σουηδία). Ωστόσο οι συνολικές εκπομπές CO₂ για κάθε χώρα διαμορφώνονται σε διαφορετικές ποσοτώσεις πέραν του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η Φινλανδία συνεχίζει να κατέχει την πρώτη θέση όσον αφορά στις συνολικές εκπομπές συμπεριλαμβανομένων όλων των ενεργειακών τομέων (κτίρια , μεταφορές, βιομηχανία , ηλεκτροπαραγωγή). Η Σουηδία, αν και κατέχει μικρό μερίδιο εκπομπών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συνεισφέρει κατά 58 MtCO₂ εν τω συνόλω των ενεργειακών της τομέων καθότι ο Σουηδικός τομέας μεταφορών είναι ο πλέον ρυπογόνος τομέας μαζί με τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα της Φινλανδίας. Τέλος, η Νορβηγία συνεισφέρει με το μικρότερο συνολικό ποσοστό εκπομπών αποτελώντας παράδειγμα προς μίμηση στο Σκανδιναβικό σύμπλεγμα. Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό διάγραμμα με την διαχρονική εξέλιξη των εκπομπών CO₂ ανά τομέα για τις χώρες της Σκανδιναβίας.

Nordic CO₂ emissions by sector and country

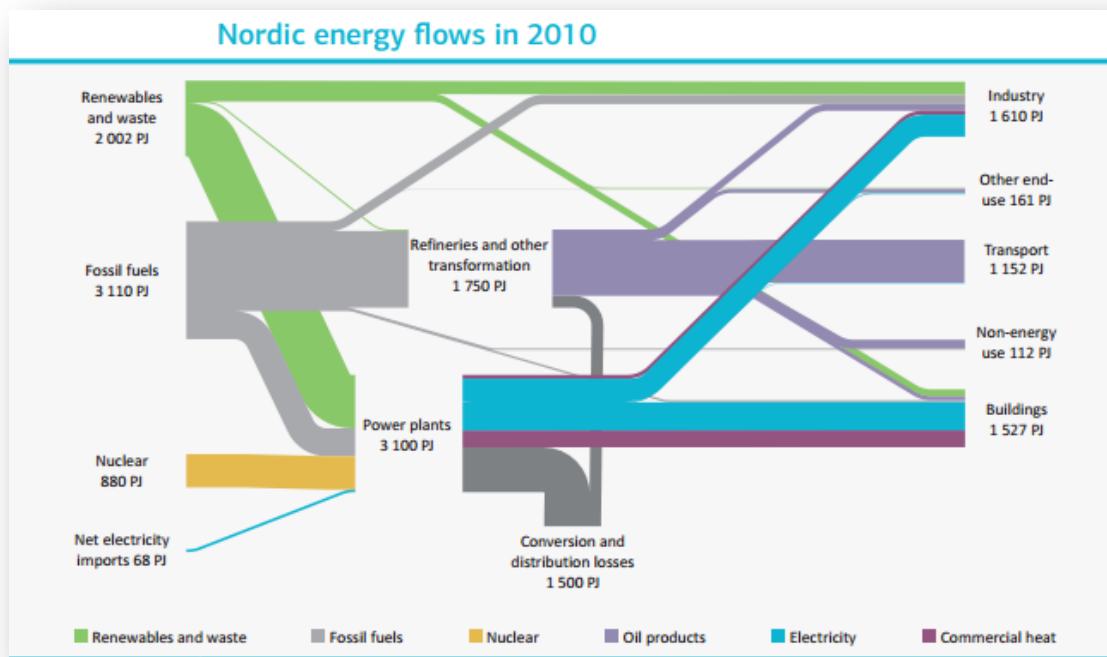


Γράφημα 2.4 Διαχρονική Εξέλιξη των εκπομπών CO₂ ανά τομέα για τις Σκανδιναβικές χώρες (Πηγή : Nordic Energy Technology Perspectives, 2013)

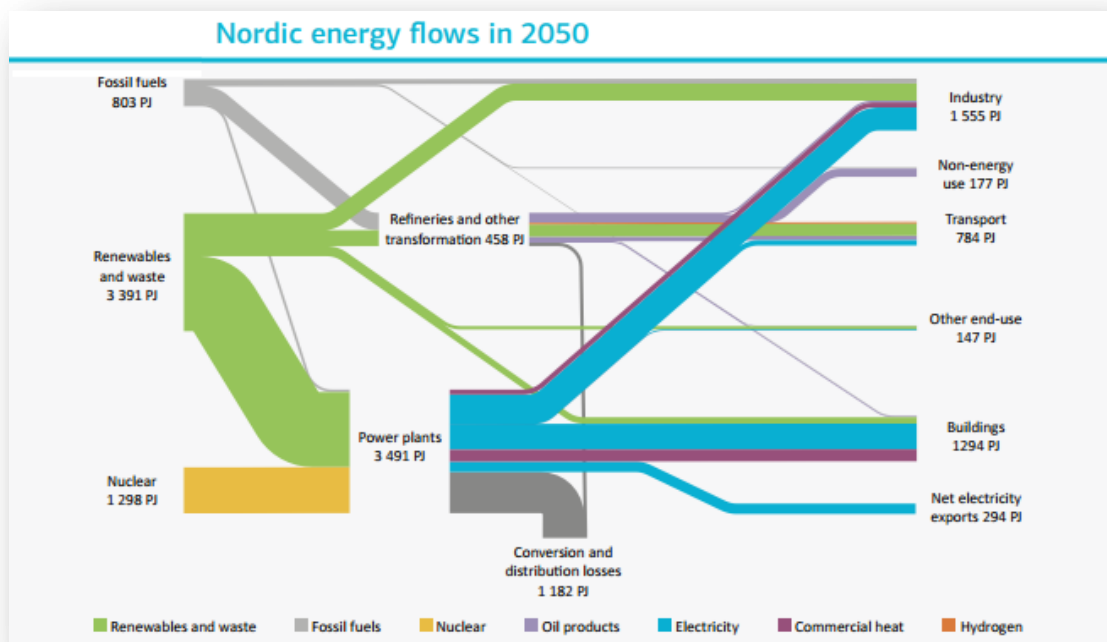
Όπως παρατηρούμε από το γράφημα 2.4, οι εκπομπές του CO₂ στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα για τις Σκανδιναβικές χώρες, με εξαίρεση τη Δανία, παρουσιάζουν σαφώς ανοδικές τάσεις τα τελευταία χρόνια. Την μεγαλύτερη ποσοστιαία άνοδο εμφανίζει η Φινλανδία, η οποία, την τελευταία μόλις δεκαετία, ξεπέρασε τα ποσοστά της Δανίας κατά 10 MtCO₂. Η Δανία, παρότι κατάφερε και διατήρησε τα ποσοστά των εκπομπών που αφορούν την ηλεκτροπαραγωγή της στα ίδια περίπου επίπεδα την τελευταία 20ετία, είναι σήμερα η 2^η κατά σειρά περισσότερο ρυπογόνος χώρα στην Σκανδιναβία. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο να εισάγουμε στην μελέτη μας για την διαμόρφωση των ηλεκτροπαραγωγικών μιγμάτων, περισσότερο από ένα σενάριο τιμών εκπομπής CO₂ σε μεσομακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Παράλληλα με τον Ενεργειακού Χάρτη Πορείας για το 2050, ενός στρατηγικού σχεδίου που εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2011, όλες οι Σκανδιναβικές χώρες έχουν παρουσιάσει μακροπρόθεσμους στόχους με ενδιάμεσα στρατηγικά ορόσημα, για την μείωση των εκπομπών του CO₂ μέχρι το 2050, για την χρήση Α.Π.Ε. και για την σταδιακή ανεξάρτηση από συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες.

Τα γραφήματα 2.5 και 2.6 των ενεργειακών ροών επιβεβαιώνουν την πολιτική απεξάρτησης των Σκανδιναβικών χωρών από τα ορυκτά καύσιμα κυρίως στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Το 2050, η χρήση ορυκτών καυσίμων στην Σκανδιναβία θα έχει μειωθεί κατά 90% συγκριτικά με το 2010 και στο γράφημα 2.6 αποτυπώνεται η σχεδόν καθολική απεξάρτηση από ενεργειακές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα το 2050. Όσον αφορά κάθε χώρα του Σκανδιναβικού συμπλέγματος ξεχωριστά, η Σουηδία έχει θέσει ως στόχο για το 2020 την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Μακροπρόθεσμος στρατηγικός της στόχος είναι οι μηδενικές καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για το 2050. Επιπλέον έχει θέσει στρατηγικούς περιορισμούς όσον αφορά νέες ενεργειακές επενδύσεις στην πυρηνική ενέργεια. Η Νορβηγία θα επιδιώξει να μετατραπεί σε μια κλιματικά ουδέτερη χώρα (με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα) μέχρι και το 2050. Ο αντίστοιχος μακροπρόθεσμος στόχος της Δανίας για το 2050, είναι ο καθ'ολοκληρίαν ενεργειακός εφοδιασμός της από Α.Π.Ε. Σύμφωνα με τις τωρινές εκτιμήσεις, η πλήρης απεξάρτηση του εγχώριου ενεργειακού της μίγματος από τα ορυκτά καύσιμα θα οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 85%. Ένας ακόμα στρατηγικός στόχος για τη Δανία είναι η πλήρης ενεργειακή απεξάρτηση από τον άνθρακα μέχρι και το 2030. Η Φινλανδία στοχεύει στο να μειώσει τις αντίστοιχες εκπομπές, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990, κατά 80% μέχρι και το 2050. Τέλος, οι σκανδιναβικές χώρες που έχουν εντάξει στο εγχώριο ενεργειακό του δυναμικό την υδροηλεκτρική ενέργεια (Νορβηγία, Σουηδία και Φινλανδία) πρόκειται να επεκτείνουν την ήδη υπάρχουσα θεσμοθέτηση κανονιστικού πλαισίου για την προστασία των υδάτινων πόρων τους.



Γράφημα 2.5 Ενεργειακές ροές για την ηλεκτροπαραγωγή και άλλους τομείς (έτος 2010) (Πηγή : Nordic Energy Technology Perspectives, 2013)



Γράφημα 2.6 Ενεργειακές ροές για την ηλεκτροπαραγωγή και άλλους τομείς (έτος 2050) (Πηγή : Nordic Energy Technology Perspectives, 2013)

2.2.2 Παρουσίαση πραγματικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων ηλεκτροπαραγωγής των Σκανδιναβικών χωρών

Η συγκεκριμένη παράγραφος ασχολείται με την παρουσίαση των πραγματικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για καθεμία από τις Σκανδιναβικές χώρες για το έτος 2011. Συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε 2 ενεργειακά χαρτοφυλάκια τόσο για κάθε χώρα ξεχωριστά όσο και για το σύνολο του Σκανδιναβικού συμπλέγματος, εκ των οποίων το ένα θα περιλαμβάνει τις Α.Π.Ε ενώ το άλλο όχι. Τα δεδομένα για τα ενεργειακά μίγματα ηλεκτροπαραγωγής αντλήθηκαν από το site του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Agency, IEA) που δίνει τη δυνατότητα εύρεσης ετήσιων στατιστικών δεδομένων, των περισσότερων χωρών αλλά και περιφερειών, για την εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή τους (σε GWh) από κάθε ενεργειακή πηγή. Η εξαγωγή των πραγματικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων έγινε σε περιβάλλον Microsoft Excel, έπειτα από επεξεργασία των εν λόγω στατιστικών δεδομένων.

Το ενεργειακό μίγμα της Σουηδίας για το έτος 2011 επιβεβαιώνει ότι η εγχώρια ενεργειακή της πολιτική εστιάζει στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. φτάνει σε συνολικό ποσοστό 57%. Τη μερίδα του λέοντος, τόσο στο σύνολο των Α.Π.Ε. όσο και στο συνολικό ενεργειακό της μίγμα, καταλαμβάνει η υδροηλεκτρική ενέργεια με ποσοστό 44%. Οι λοιπές Α.Π.Ε (αιολικά, βιοκαύσιμα) προσεγγίζει το 13%. Τέλος η πυρηνική ενέργεια κατέχει την δεύτερη θέση στο συνολικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο αν και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μελλοντικός στρατηγικός της στόχος είναι ο περιορισμός των νέων επενδύσεων στα πυρηνικά.

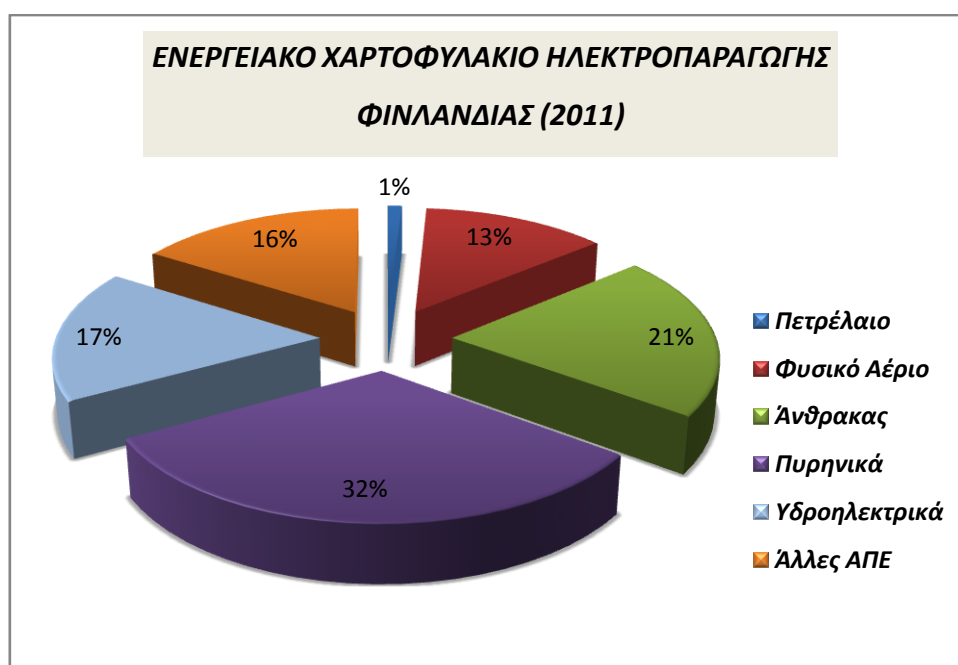


Γράφημα 2.7 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σουηδίας για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)



Γράφημα 2.8 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σουηδίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

Το ενεργειακό μίγμα της Φινλανδίας για το 2011 παρουσιάζει μια μικτή δομή. Τα πυρηνικά ηγούνται ποσοστιαία αυτής της δομής με 32% και αμέσως Μέτα ακολουθεί ο άνθρακας με ποσοστό 21%. Οι ΑΠΕ, στο σύνολο τους, καταλαμβάνουν περίπου το 33% του συνολικού μίγματος ηλεκτροπαραγωγής. Ακολουθώντας, το φυσικό αέριο αποτελεί το 13% ενώ το ποσοστό του πετρελαίου είναι μετά βίας στο 1% δείχνοντας την τάση της συγκεκριμένης χώρας για ενεργειακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή.

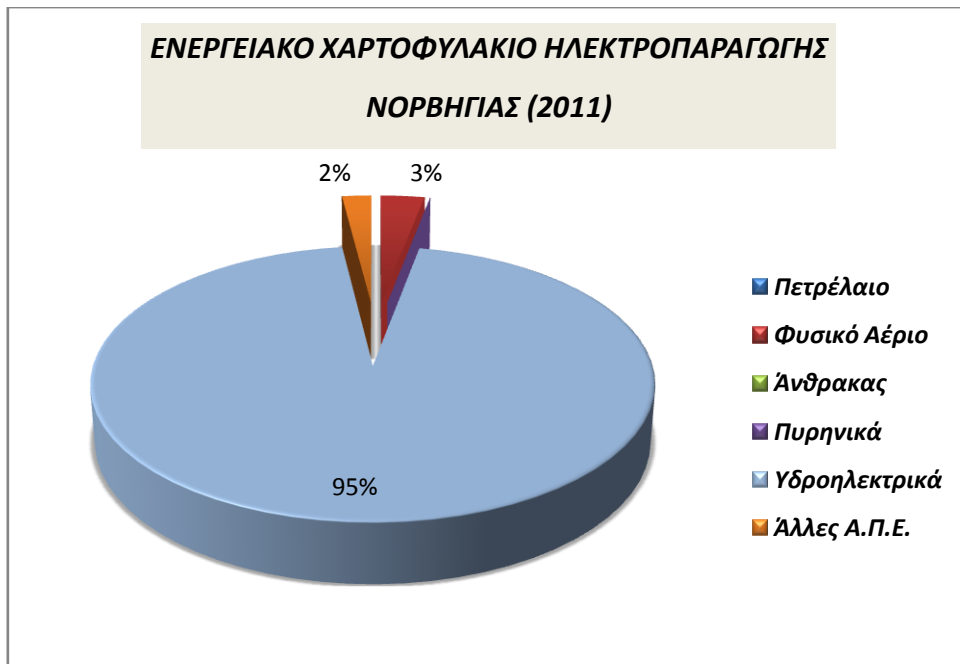


Γράφημα 2.9 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Φινλανδίας για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)



Γράφημα 2.10 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Φινλανδίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

Η Νορβηγία αποτελεί μια ιδιαίτερου τύπου χώρα όσον αφορά στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής της. Το 2011, τα υδροηλεκτρικά αποτελούσαν το 95% του συνολικού εγχώριου μίγματος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες καταλάμβαναν μόνο το 3% του συνόλου ηλεκτροπαραγωγής. Από το ενεργειακό μίγμα συμβατικών τεχνολογιών αξίζει να αναφέρουμε το σαφές πλειοψηφικό ποσοστό του φυσικού αερίου σε σχέση με τα άλλα ορυκτά καύσιμα ενώ η συγκεκριμένη χώρα δεν χρησιμοποιεί πυρηνικά. Μακροπρόθεσμος στόχος της Νορβηγίας είναι η καθ'ολοκληρίαν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά.

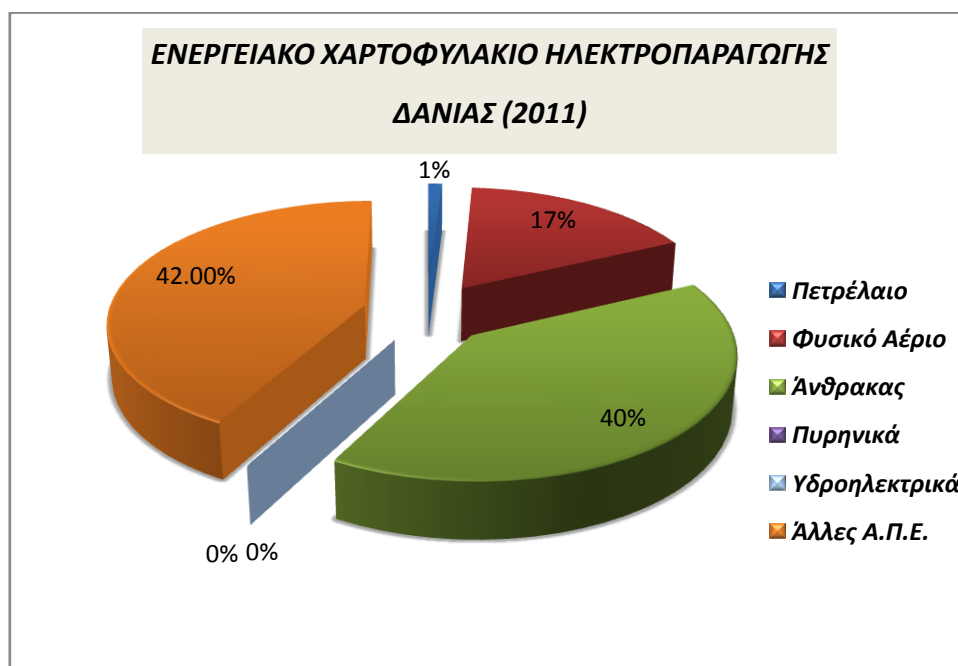


Γράφημα 2.11 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Νορβηγίας για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

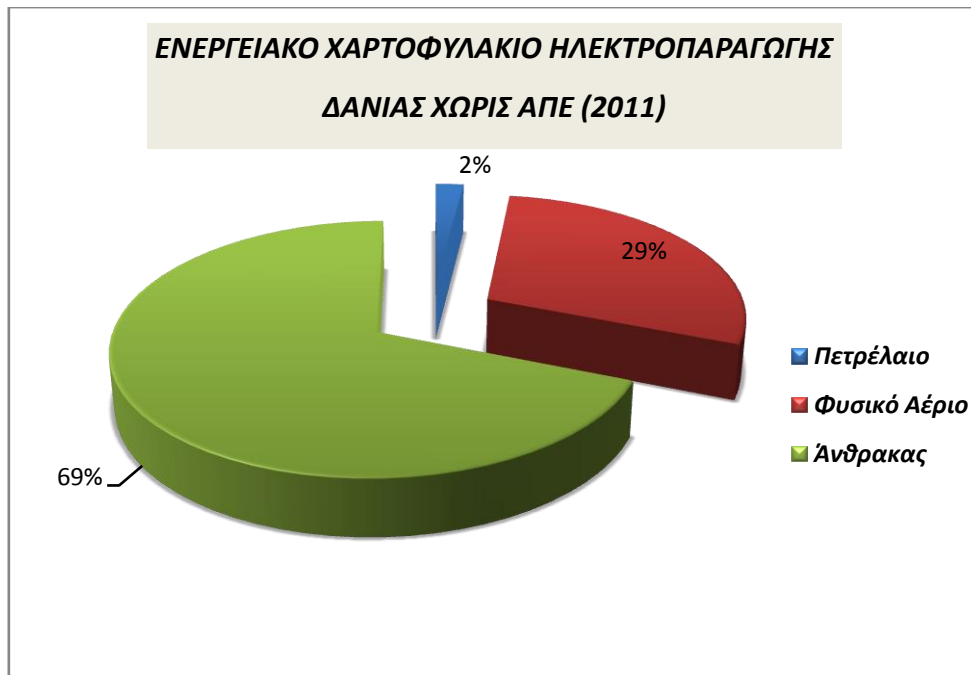


Γράφημα 2.12 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Νορβηγίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

Η Δανία είναι η δεύτερη χώρα στο Σκανδιναβικό σύμπλεγμα, μετά τη Νορβηγία, που δεν διαθέτει πυρηνικούς σταθμούς για την ηλεκτροπαραγωγή της. Το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού ενεργειακού της μίγματος καταλαμβάνουν οι Α.Π.Ε (άνεμος, βιοκαύσιμα) (42%) με την μερίδα του λέοντος να έχουν τα αιολικά με ποσοστό (επί του συνολικού μίγματος) ίσο με 28%. Οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες άνθρακα ακολουθούν με ποσοστό 40%. Οι ενεργειακές τεχνολογίες φυσικού αερίου έχουν ποσοστιαία συνεισφορά της τάξης του 17% ενώ το πετρέλαιο συμμετέχει σε πολύ μικρό βαθμό (1%) στο πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο της Δανίας.

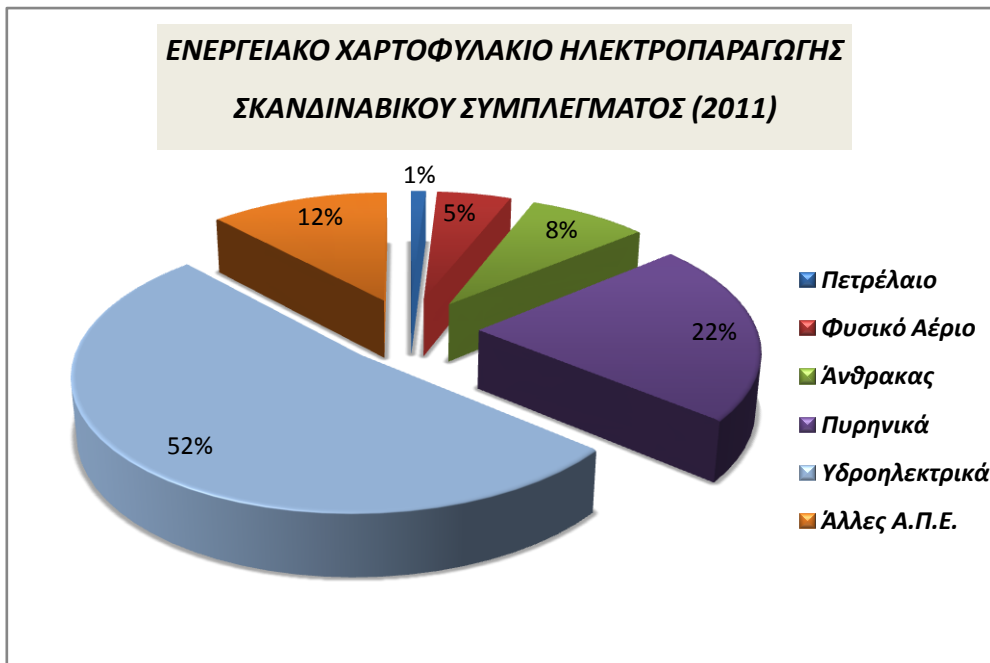


Γράφημα 2.13 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Δανίας για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)



Γράφημα 2.14 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Δανίας χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

Το πραγματικό ενεργειακό μίγμα του Σκανδιναβικού συμπλέγματος μας επιβεβαιώνει την συνολική τάση των εν λόγω βόρειων χωρών για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα στην ηλεκτροπαραγωγή τους. Οι Α.Π.Ε καταλαμβάνουν συνολικά το 64% του ενεργειακού χαρτοφυλακίου, με τα υδροηλεκτρικά να ηγούνται αυτών, αποτελώντας περίπου το μισό του συνόλου των ενεργειακών πηγών ηλεκτροπαραγωγής ολόκληρης της Σκανδιναβίας (52%). Τα πυρηνικά αποτελούν το 61% των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καταλαμβάνουν το 22% στο συνολικό πραγματικό ενεργειακό μίγμα. Τέλος, η ποσοστιαία συμμετοχή του πετρελαίου και στα δύο ενεργειακά χαρτοφυλάκια δεν ξεπερνάει το 1%.



Γράφημα 2.15 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής σκανδιναβικού συμπλέγματος για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)



Γράφημα 2.16 Πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής Σκανδιναβικού συμπλέγματος χωρίς Α.Π.Ε. για το έτος 2011 (Ποσοστά κάτω του 0,5% θεωρούνται μηδενικά)

Η συνολική εικόνα που εξάγουμε λοιπόν είναι ότι η ενεργειακή πολιτική εν εκτάσει της Σκανδιναβίας, διαφέρει από χώρα σε χώρα. Παρατηρούμε ότι η Σουηδία και Φινλανδία διαθέτουν πυρηνικά ενώ η Νορβηγία και η Δανία όχι. Επιπροσθέτως, η Δανία είναι η μόνη χώρα που δεν διαθέτει υδροηλεκτρικά αλλά επενδύει κυρίως στην αιολική ενέργεια όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή από Α.Π.Ε. Γι' αυτό το λόγο, οι προτάσεις μας για την συγκεκριμένη χώρα θα αφορούν μόνο στον αποδοτικό συνδυασμό συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών. Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι η χρυσή τομή των ενεργειακών πολιτικών και των τεσσάρων χωρών είναι η αμελητέα συνεισφορά του πετρελαίου στο ενεργειακό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής τους. Οι Σκανδιναβικές χώρες φαίνεται να έχουν προνοήσει για την άνοδο του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνολογίες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο και γι' αυτό έχουν φροντίσει, εν τω συνόλω τους, να απεξαρτηθούν από το πετρέλαιο τουλάχιστον όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή.

2.3 Χαρακτηριστικά, Απόδοση και Κίνδυνος Ενεργειακών Τεχνολογιών

2.3.1 Εισαγωγή

Στην συγκεκριμένη παράγραφο της μελέτης μας θα πραγματοποιηθεί η επιλογή μιας σειράς από ενεργειακές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής και θα γίνει αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά για κάθε μία από αυτές. Εν συνεχεία θα υπολογιστεί η απόδοσή τους μέσω μιας διαδικτυακής υπολογιστικής πλατφόρμας (SETIS – Energy Cost Calculator).

Οι συμβατικές ενεργειακές πηγές που θα συμπεριληφθούν είναι : Πετρέλαιο , Φυσικό Αέριο, Άνθρακας και Πυρηνικά. Από την ανάλυση που έγινε πρωτίστως για τα πραγματικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια των Σκανδιναβικών χωρών , επισημάναμε την αμελητέα συνεισφορά του πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να συμπεριλάβουμε και το πετρέλαιο στη μελέτη μας προκειμένου να αποδείξουμε τόσο την ορθότητα του συγκεκριμένου κοινού τύπου

των ενεργειακών πολιτικών που λαμβάνουν χώρα ήδη στη Σκανδιναβία, όσο και την αναγκαιότητα της πλήρους ενεργειακής ανεξάρτησης από το πετρέλαιο σε χρονικό ορίζοντα 20ετίας.

Στα πλαίσια επιλογής των ενεργειακών τεχνολογιών, έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν εκείνες οι ενεργειακές τεχνολογίες που τείνουν να ενσωματώνουν οι Σκανδιναβικές χώρες στις ενεργειακές τους πολιτικές. Ωστόσο στην παρούσα εργασία δεν θα συμπεριλάβουμε τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας και οι προτάσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων δεν θα αφορούν τις εν λόγω τεχνολογίες.

Οι Α.Π.Ε , για το πλαίσιο της εφαρμογής μας, αντιπροσωπεύονται μόνο από τα υδροηλεκτρικά. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε στα πλαίσια της ιδιαιτερότητας των χωρών που μελετάμε, καθότι η υδροηλεκτρική ενέργεια διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στα ενεργειακά μίγματα της Νορβηγίας , της Σουηδίας αλλά και της Φινλανδίας. Επί του παρόντος, το 19,8% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, παράγεται από υδροηλεκτρικά και αναμένεται μείωση του υδροηλεκτρικού δυναμικού, πανευρωπαϊκά, κατά 6% μέχρι και το 2070. Ωστόσο, η Βόρεια Ευρώπη, και κυρίως η Σκανδιναβία, δεν επηρεάζεται ομοιόμορφα από την κλιματική αλλαγή της υπόλοιπης Ευρώπης και αναμένει ποσοστιαία αύξηση από 15 έως 30%. Η Νορβηγία και η Φινλανδία , λαμβάνοντας υπόψη τις προβλέψεις για την επιρροή της κλιματικής αλλαγής στο Σκανδιναβικό σύμπλεγμα, σκοπεύουν να αυξήσουν το ποσοστό των υδροηλεκτρικών στο ενεργειακό τους μίγμα. Συγκεκριμένα η Σκανδιναβική Τράπεζα Επενδύσεων (Nordic Investment Bank , NIB) υπέγραψε δανειακή σύμβαση συνολικής διάρκειας 14 χρόνων με την εταιρεία ενέργειας Agder Energi AS για να χρηματοδοτήσει την αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής από υδροηλεκτρικά στην Νορβηγία, με την κατασκευή ενός νέου σταθμού. Επιπροσθέτως, η ενεργειακή πολιτική της Φινλανδίας εστιάζει στην αύξηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό έως και 10% μέχρι και το 2030.

Οι ενεργειακές τεχνολογίες που μετατρέπουν την εν δυνάμει ενέργεια των υδάτων που ρέουν υπό ορισμένη κλίση σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια, παρουσιάζουν χαμηλά κόστη σε σχέση με άλλες τεχνολογίες Α.Π.Ε . Συγκεκριμένα , η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα ή από τεχνολογίες που δεσμεύουν την ενεργειακό δυναμικό του ηλίου (ηλιακοί συλλέκτες, φωτοβολταϊκά) παρουσιάζει αρκετά μεγάλο

κόστος και την καθιστά λιγότερο ελκυστική. Η μόνη τεχνολογία Α.Π.Ε που παρουσιάζει, σε αρκετές περιπτώσεις, χαμηλότερα κόστη από τις υδροηλεκτρικές τεχνολογίες, είναι τα αιολικά τα οποία δεν θα συμπεριληφθούν στην εν λόγω μελέτη εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της Σκανδιναβίας.

Οι ενεργειακές τεχνολογίες που επιλέχθηκαν λοιπόν για την εξαγωγή του κόστους ηλεκτροπαραγωγής ανά ενεργειακή είναι οι ακόλουθες :

Πετρέλαιο (Oil)

- ✓ Γεννήτρια εσωτερικής καύσεως (Internal Combustion Engine)
- ✓ Αεριοστρόβιλος πετρελαίου (Oil fired Gas Turbine)

Φυσικό Αέριο (Natural Gas)

- ✓ Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου (Combined Cycle Gas Turbine , CCGT)
- ✓ Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Combined Cycle Gas Turbine with Carbon Capture and Storage , CCGT with CCS)

Άνθρακας (Coal)

- ✓ Ολοκληρωμένη αεριοποίηση (ενσωματωμένη εξαερίωση) συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle , IGCC)
- ✓ Ολοκληρωμένη αεριοποίηση (ενσωματωμένη εξαερίωση) συνδυασμένου κύκλου με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Integrated Gasification Combined Cycle with Carbon Capture and Storage, IGCC with CCS)
- ✓ Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (Pulverised Coal Combustion , PCC)

- ✓ Καύση κονιοποιημένου άνθρακα με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Pulverised Coal Combustion with Carbon Capture and Storage, PCC with CCS)

Πυρηνική ενέργεια (Nuclear)

- ✓ Αντιδραστήρας 3^{ης} γενιάς ελαφρού ύδατος (Nuclear Gen III Light Water Reactor , LWR)

Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydropower)

- ✓ Μικρής κλίμακας : Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα από 100kW έως 10MW
- ✓ Μεγάλης κλίμακας : Εγκαταστάσεις δυναμικότητας πέραν των 10MW

2.3.2 Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Τεχνολογιών

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στα κύρια χαρακτηριστικά ενεργειακών τεχνολογιών που χρησιμοποιούν τις ενεργειακές πηγές (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο, Άνθρακας, Πυρηνικά και Ύδωρ) και θα επικεντρωθούμε σε εκείνες τις τεχνολογίες που επιλέξαμε να συμπεριλάβουμε στην μελέτη μας.

- ✓ **Πετρέλαιο (Oil)**

Γεννήτρια εσωτερικής καύσεως (Internal Combustion Engine)

Υπό ορισμένες συνθήκες και για μικρή ηλεκτροπαραγωγική ισχύ εγκαθίστανται αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (μηχανές diesel). Οι μηχανές Diesel γενικά έχουν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, όταν λειτουργούν στα 75 - 80% της ονομαστικής τους ισχύος, ενώ για λειτουργία κάτω του 50% της ονομαστικής τους ισχύος ο βαθμός απόδοσής τους πέφτει σημαντικά. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης μίγμα καυσίμου και αέρα συμπιέζεται από κάποιο κύλινδρο με τη βοήθεια εμβόλων και αναφλέγεται. Η καύση του μίγματος δημιουργεί πιέσεις που αναγκάζουν τα έμβολα να κινηθούν σε αντίθετη

κατεύθυνση δημιουργώντας παλινδρομική κίνηση. Η κίνηση αυτή με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανισμού μετατρέπεται σε περιστροφική και μεταδίδεται στον άξονα της γεννήτριας και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Στις μηχανές αυτές η θερμότητα εμφανίζεται ως ενδιάμεση ενεργειακή μορφή και για το λόγο αυτό και οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες που βασίζονται σε αυτόν τον τύπο των μηχανών εντάσσονται στην κατηγορία των θερμοηλεκτρικών μαζί με τους ατμοηλεκτρικούς. Οι εν λόγω μηχανές παρουσιάζουν συνοπτικά τα ακόλουθα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Τίθενται σε λειτουργία εύκολα και φορτίζονται αμέσως.
- ✓ Δεν απαιτούν πολύπλοκες εγκαταστάσεις.
- ✓ Έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης για μικρή και μέση ισχύ.
- ✓ Χρειάζονται λιγότερο χώρο για τις εγκαταστάσεις.
- ✓ Δεν απαιτούν πολύ προσωπικό.

Μειονεκτήματα

- ✓ Παρουσιάζουν συχνά βλάβες.
- ✓ Χρειάζονται συχνά συντήρηση και απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό.

Αεριοστρόβιλος πετρελαίου (Oil-fired Gas Turbine)

Ο αεριοστρόβιλος καύσης πετρελαίου είναι μια ενεργειακή τεχνολογία σχεδιασμένη για να μετατρέπει την εσωτερική ενέργεια του πετρελαίου σε μηχανική κίνηση ενός άξονα μιας ηλεκτρογεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα χωρίζεται σε δυο βασικά κυκλώματα. Στο κύκλωμα των αερίων και στο τμήμα μετατροπής της ενέργειας. Το πρώτο αποτελείται από τον συμπιεστή του αέρα καύσης, τον θάλαμο καύσης και τον αεριοστρόβιλο. Το ενεργειακό μέρος αποτελείται από την γεννήτρια της οποίας ο άξονας κινείται από τον άξονα του στροβίλου και από έναν κινητήρα εκκίνησης.

Ο τρόπος λειτουργίας του συνοψίζεται στα εξής. Η μονάδα ξεκινά με την χρήση του κινητήρα εκκίνησης. Ο ατμοσφαιρικός αέρας οδηγείται στον συμπιεστή και από εκεί ο αέρας υψηλής πίεσης που προκύπτει κατευθύνεται στον θάλαμο καύσης όπου με

ψεκασμό του πετρελαίου γίνεται η καύση. Τα αέρια προϊόντα που παράγονται έχουν θερμοκρασία – άνω των 800 °C –και εκτονώνονται στον αεροστρόβιλο που μετατρέπουν μέρος της ενέργειας τους σε μηχανική. Ο στρόβιλος, λοιπόν, κινεί την γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια ,αλλά κινεί και τον συμπιεστή.

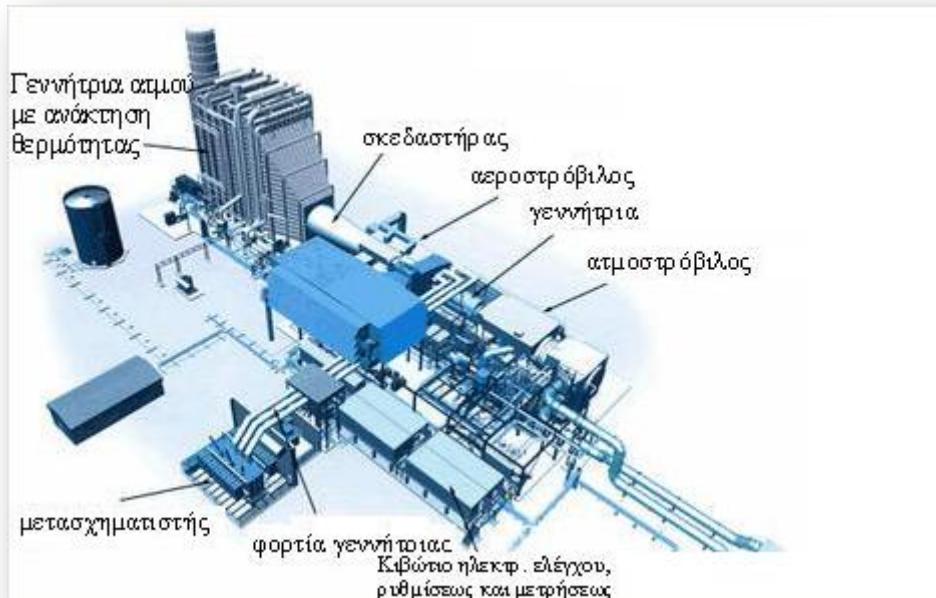
Ο βαθμός απόδοσης των συγκεκριμένων παραγωγικών μονάδων είναι χαμηλός και κυμαίνεται από 30-31%. Τέλος το κόστος κεφαλαίου και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας (σταθερό και μεταβλητό) είναι αρκετά μικρό συγκριτικά με τις υπόλοιπες προς μελέτη ενεργειακές τεχνολογίες.

✓ **Φυσικό Αέριο (Natural Gas)**

Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στους αεριοστρόβιλους και γενικότερα σε κάθε θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής στηρίζεται στις βασικές αρχές της θερμοδυναμικής. Ο αεριοστρόβιλος είναι μια θερμική μηχανή, δηλαδή μια μηχανή η οποία μετατρέπει την θερμότητα που παράγεται από την καύση ενός καυσίμου σε μηχανική ισχύ. Στους αεριοστρόβιλους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο άξονας του αεριοστρόβιλου συνδέεται με μια γεννήτρια οπότε και η μηχανική ενέργεια που παράγεται μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Ένας αεριοστρόβιλος αποτελείται από τρία βασικά τμήματα τα οποία αποτελούν το τμήμα ισχύος του καθώς η λειτουργία αυτών των τμημάτων εξασφαλίζει την παραγωγή μηχανικής ισχύος. Το πρώτο μέρος είναι ο συμπιεστής, ο οποίος πραγματοποιεί την συμπίεση του εργαζόμενου μέσου (αέρας) . Το δεύτερο μέρος είναι ο θάλαμος καύσης όπου οδηγείται ο συμπιεσμένος αέρας, αναμειγνύεται με το καύσιμο (φυσικό αέριο) και καίγεται. Τα αέρια προϊόντα της καύσης οδηγούνται στο τρίτο στάδιο στο οποίο βρίσκεται ο στρόβιλος. Εκεί εκτονώνονται και παράγεται μηχανική ισχύς.

.Υπάρχουν δύο τύποι εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο :

- ✓ Αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου (Combined Cycle Gas Turbine)
- ✓ Αεριοστρόβιλοι ανοιχτού κύκλου (Open Cycle Gas Turbine)



Εικόνα 2.1 Μονάδα ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου που χρησιμοποιεί Φυσικό Αέριο (CCGT)

Στην περίπτωση αεριοστρόβιλων ανοιχτού κύκλου , το καύσιμο (Φυσικό Αέριο) αναμειγνύεται με τον αέρα και τροφοδοτεί έναν αεριοστρόβιλο που στην συνέχεια θέτει σε κίνηση μια ηλεκτρογεννήτρια.

Η τεχνολογία συνδυασμένου κύκλου, όπου και επιλέχθηκε να συμπεριληφθεί στην μελέτη μας, χρησιμοποιεί τη θερμότητα από τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου για να παράγει ατμό. Ο ατμός στην συνέχεια θέτει σε κίνηση ένα ατμοστρόβιλο. Ο αέρας συμπιέζεται στην αρχή και αναμειγνύεται με το καύσιμο στον θάλαμο καύσης του αεριοστρόβιλου, όπου το μείγμα καίγεται. Τα καυσαέρια αφού εκτονωθούν στον στρόβιλο οδηγούνται σ' έναν ατμοπαραγωγό ο οποίος απάγει μέρος της θερμότητας τους για την παραγωγή ατμού και κινεί τον ατμοστρόβιλο. Έτσι λοιπόν τίθεται σε κίνηση και δεύτερη ηλεκτρογεννήτρια (παράγοντας διπλάσια ηλεκτρικής ενέργειας με το ίδιο το κόστος καυσίμων).

Το ποσό της ενέργειας που παράγεται και από τις δυο τεχνολογίες αεριοστρόβιλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Η ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί αποτελεσματικά εξαρτάται από την θερμοκρασία, την πίεση και

την υγρασία του αέρα με τον οποίο αναμειγνύεται. Γενικά, όσο πιο κρύος είναι ο καιρός τόσο πιο αποτελεσματική είναι η μονάδα .

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από την καύση Φυσικού Αερίου είναι χαμηλότερες από την καύση λιθάνθρακα και πετρελαίου. Σε σύγκριση με τον λιθάνθρακα, το φυσικό αέριο εκπέμπει 43% λιγότερο διοξείδιου του άνθρακα για κάθε μονάδα ενέργειας που παράγει, και 30% λιγότερο CO₂ από το πετρέλαιο. Η καύση του Φυσικού Αερίου εξακολουθεί να παράγει οξείδια του αζώτου, που είναι η κύρια πηγή φωτοχημικού νέφους και όξινης βροχής.

Η καύση του φυσικού αερίου στους αεριοστρόβιλους (τεχνολογία ανοιχτού κύκλου) απαιτεί ελάχιστο νερό. Ωστόσο, η καύση του φυσικού αερίου σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου απαιτεί νερό για την ψύξη. Όταν οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απορροφούν νερό από λίμνες ή ποτάμια, μπορεί να σκοτώσουν ψάρια και τα άλλα υδρόβια ζώα, και να επηρεάσουν τα ζώα και τους ανθρώπους που εξαρτώνται από αυτούς τους υδάτινους πόρους. Οι αεριοστρόβιλοι καύσης δεν παράγουν λύματα. Ωστόσο, οι ρύποι και θερμότητα συσσωρεύονται στο νερό που χρησιμοποιείται στους λέβητες φυσικού αερίου στα συστήματα συνδυασμένου κύκλου. Όταν οι εν λόγω ρύποι και θερμότητα φτάσουν ορισμένα επίπεδα, το νερό συχνά απορρίπτεται σε λίμνες ή ποτάμια. Αυτή η απόρριψη του νερού σε πολλές χώρες συνήθως απαιτεί άδεια και είναι υπό συνεχή έλεγχο.

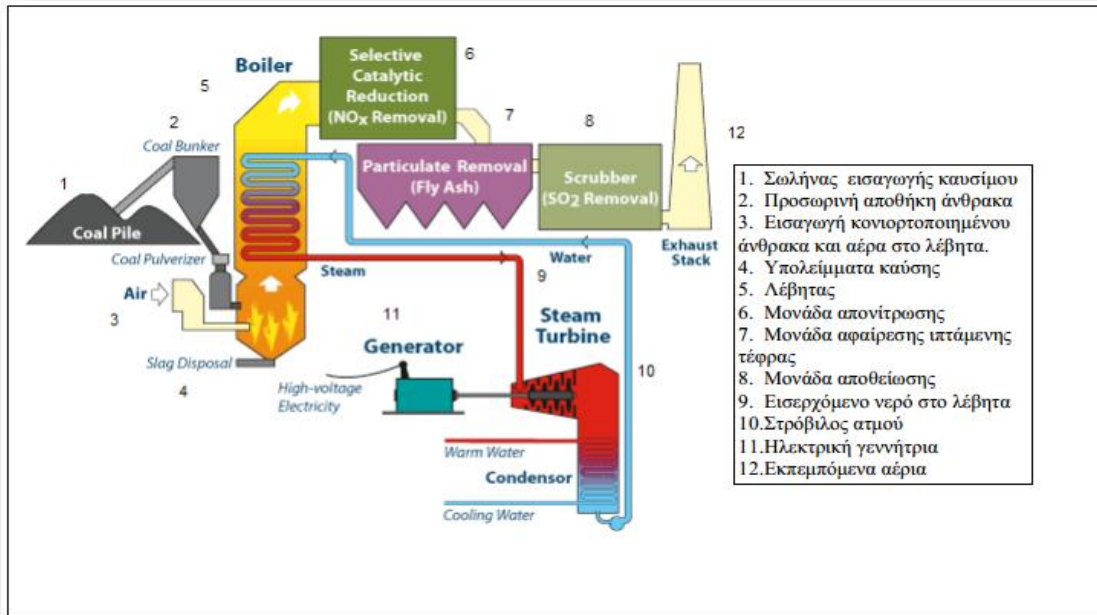
Οι αεριοστροβιλικοί σταθμοί συνδυασμένου κύκλου έχουν μικρό κόστος κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης και περιορισμένες απαιτήσεις χώρου. Η γρήγορη εκκίνηση, η ταχύτητα και η ευελιξία ρύθμισης της αποδιδόμενης ισχύος και η πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία τους (δυνατότητα τηλεχειρισμού) είναι ορισμένα ακόμα πλεονεκτήματα των αεριοστροβιλικών σταθμών.

✓ Άνθρακας (Coal)

Καύση κονιοποιημένου άνθρακα (Pulverised Coal Combustion , PCC)

Η καύση κονιοποιημένου άνθρακα είναι η πιο συνήθης και ευρέως διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιείται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα και βασίζεται στην εμπειρία πολλών δεκαετιών. Υπάρχουν χιλιάδες θερμοηλεκτρικοί

σταθμοί που βασίζονται σε αυτή τη μέθοδο αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 90% της εγκατεστημένης ισχύος των παραγωγικών μονάδων καύσης άνθρακα. Η λειτουργία των συγκεκριμένων σταθμών βασίζεται στην κονιοποίηση του άνθρακα και η εμφύσησή του (συμπεριλαμβανομένου αέρα) στον λέβητα της εγκατάστασης όπου και παραμένει 2-5 δευτερόλεπτα.. Η καύση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 1300-1700 ° C και ο ατμός που παράγεται θέτει σε κίνηση έναν ατμοστρόβιλο και πραγματοποιείται ηλεκτροπαραγωγή μέσω μιας ηλεκτρογεννήτριας. Οι λέβητες έχουν κατασκευαστεί για να ταιριάζουν με τους ατμοστροβίλους που στις εξόδους τους δίνουν από 50 και 1300 MWe. Προκειμένου να επωφεληθούν από τις οικονομίες κλίμακας, οι περισσότερες νέες μονάδες δίνουν πάνω από 300 MWe αλλά είναι πολύ λίγες εκείνες που υπερβαίνουν τα 700 MWe εξαιτίας των σημαντικών επιπτώσεων που θα έχει μια απροσδόκητη διακοπή της λειτουργίας τους, στο δίκτυο διανομής. Ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης παλιών και μικρότερων μονάδων που χρησιμοποιούν χαμηλής ποιότητας άνθρακα κυμαίνεται στο 30%. Η μέση θερμοδυναμική απόδοση των σύγχρονων παραγωγικών μονάδων που κάνουν χρήση καλής ποιότητας καυσίμου και υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού κυμαίνεται στο 35-36% ενώ η προοπτική για τους νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής φτάνουν σε βαθμούς θερμοδυναμικής απόδοσης στο 43-45%. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε οι μονάδες που χρησιμοποιούν υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά ατμού, εξαιτίας της αυξημένης πίεσης λειτουργίας και των θερμοκρασιών του υπέρθερμου και του ανάθερμου ατμού οδηγούν σε αύξηση του συνολικού βαθμού απόδοσης των θερμικών μονάδων, λόγω μεγαλύτερης αξιοποίησης του ατμού στο στρόβιλο. Η περιβαλλοντική επίδοση συναρτάται ανάλογα της απόδοσης των μονάδων όποτε η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εισαγωγή υπερκρίσιμων χαρακτηριστικών ατμού στις μονάδες, με εισαγωγή καυστήρων χαμηλών εκπομπών, με 'δυβάθμια' καύση καθώς επίσης και με μονάδες απονίτρωσης για τις εκπομπές NO_x, αλλά και οι μονάδες αποθείωσης για τις εκπομπές SO₂. Ωστόσο οι παραπάνω εναλλακτικές οδηγούν σε αυξημένο κόστος εγκατάστασης.

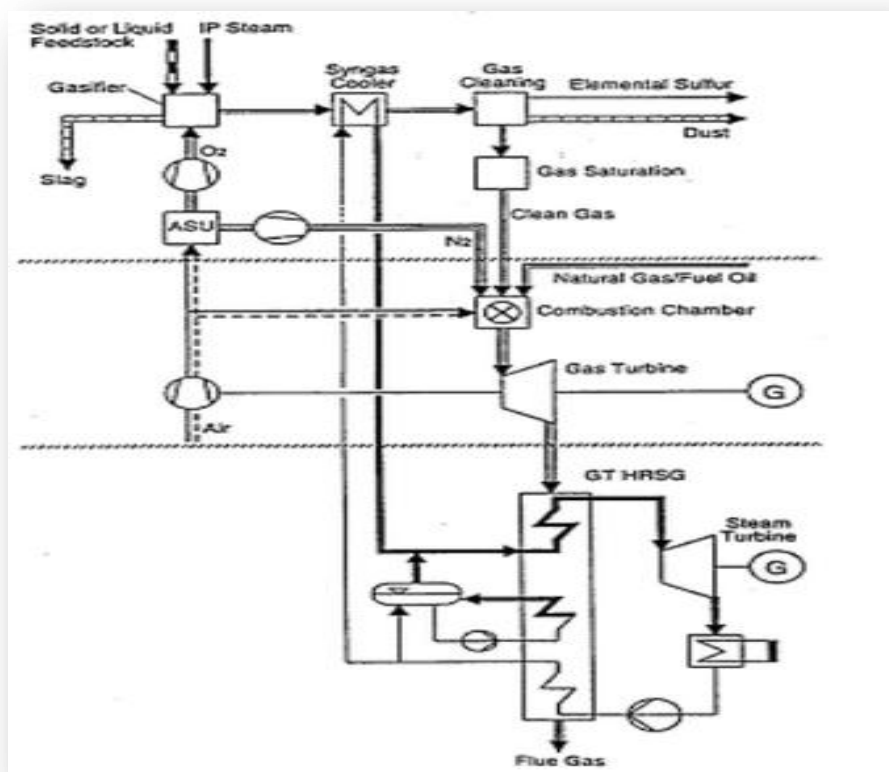


Εικόνα 2.2 Αναπαράσταση ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας με καύση κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) που χρησιμοποιεί υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά ατμού

Ολοκληρωμένη αεριοποίηση (ενσωματωμένη εξαερίωση) συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined , IGCC)

Η τεχνολογία της Ολοκληρωμένης αεριοποίησης (ενσωματωμένης εξαερίωσης) συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined , IGCC) είναι μια πολλά υποσχόμενη από πλευράς υψηλού βαθμού απόδοσης και οικονομικής παραγωγής, τεχνολογία που μπορεί να αξιοποιήσει όλους τους τύπους άνθρακα. Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται στον συνδυασμένο κύκλο αεριοστρόβιλου-ατμοστρόβιλου και περιλαμβάνει μονάδα εξαερίωσης στερεών καυσίμων. Η διεργασία εξαερίωσης ενός στερεού καυσίμου αποτελείται από την αποπτητικοποίηση και τη μερική οξείδωσή του με σκοπό την παραγωγή αερίου σύνθεσης και λαμβάνει χώρα μέσω αντιδράσεων με οξυγόνο (καθαρό ή του αέρα) και με ατμό, στη γενικότερη περίπτωση. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης περιλαμβάνει μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο, καθώς και αδρανή και ανεπιθύμητα συστατικά, όπως θείο, αμμωνία, ενώσεις του χλωρίου κλπ. Στην τεχνολογία IGCC, το παραγόμενο αέριο σύνθεσης από την εξαερίωση του άνθρακα καθαρίζεται από τα σωματίδια, το θείο και άλλες ενώσεις και καίγεται σε αεριοστρόβιλο παράγοντας ηλεκτρισμό. Μέρος της αισθητής θερμότητας

των απαερίων στην έξοδο του αεριοστρόβιλου ανακτάται και παράγει ατμό, ο οποίος με τη σειρά του κινεί έναν ατμοστρόβιλο. Το διάγραμμα ροής μιας τέτοιας διάταξης IGCC δίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 2.3 Κύρια τμήματα μονάδας Ολοκληρωμένης αεριοποίησης (ενσωματωμένης εξαερίωσης) συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined , IGCC)

Ο βαθμός απόδοσης των επιδεικτικών μονάδων IGCC σήμερα κυμαίνεται μεταξύ 39 - 46%. Οι αποκλίσεις εξαρτώνται από σχεδιαστικές λεπτομέρειες, τον τρόπο χρήσης του αέρα και τις ιδιαίτερες συνθήκες. Επίσης, η συνολική απόδοση επηρεάζεται από το συγκεκριμένο συνδυασμό εξαεριωτή και συστήματος καθαρισμού ο οποίος εξαρτάται από το είδος του καυσίμου. Σε μερικό φορτίο λειτουργίας παρατηρείται σημαντική μείωση του βαθμού απόδοσης (20 - 25% για 50% φορτίο), εξαιτίας της σχετικής μείωσης της απόδοσης των αεριοστρόβιλων που προσφέρουν τα 2/3 του παραγόμενου ηλεκτρισμού. Η εταιρεία ABB Carbon θεωρεί ότι είναι εφικτή η επίτευξη αποδόσεων της τάξης του 50 - 53% σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα. Αύξηση του βαθμού απόδοσης του IGCC σε επίπεδα πάνω από 50% θα καταστήσει την

τεχνολογία ανταγωνιστική των συμβατικών μονάδων καύσης. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με χρήση προηγμένων αεριοστρόβιλων που λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Μεταξύ άλλων μελετών αύξησης του βαθμού απόδοσης, περιλαμβάνονται η εξαερίωση σε στάδια, ο αεριοστρόβιλος αναθέρμανσης, ο υπερκρίσιμος κύκλος ατμού και η χρήση κυψελών καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας. Επίσης, το κόστος των μονάδων IGCC πρέπει να μειωθεί σημαντικά .

Στον αεριοστρόβιλο παράγονται οξειδία του αζώτου (NO_x) εξαιτίας της φλόγας υψηλής θερμοκρασίας. Η τελευταία μπορεί να μειωθεί με προσθήκη ατμού στο αέριο σύνθεσης ή αζώτου από τη μονάδα διαχωρισμού αέρα. Όμως, η έγχυση νερού μειώνει την απόδοση του στροβίλου και μπορεί να αυξήσει τις εκπομπές CO σε λειτουργία μερικού φορτίου .Οι καυστήρες οξειδίων αζώτου μπορούν να δώσουν λύση στο πρόβλημα, με την προϋπόθεση ότι δεν θα παρουσιάζουν προβλήματα σταθερότητας της φλόγας. Σε κάθε περίπτωση, η εγκατάσταση συστήματος απονίτρωσης είναι εφικτή, εάν αυτό απαιτηθεί. Αντιθέτως, οι εκπομπές N_2O , NH_3 και HCN είναι ελάχιστες έως ανύπαρκτες, καθώς οι ενώσεις αυτές έχουν μεγάλη διαλυτότητα στο νερό και απομακρύνονται κατά την έκπλυση του αερίου σύνθεσης. Η τεχνολογία IGCC εκπέμπει τους λιγότερους ρύπους SO_2 και μικροσωματιδίων, ακόμη και με καύσιμα χαμηλής ποιότητας.

Η συνολική ποσότητα τέφρας είναι μικρότερη από τις αντίστοιχες άλλων τεχνολογιών, λόγω της παραγωγής καθαρού θείου κατά την αποθείωση. Προβλήματα μπορεί να προκύψουν αναφορικά με τη λάσπη που παράγεται κατά τον καθαρισμό του αερίου σύνθεσης, λόγω των σημαντικά υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

✓ Πυρηνική ενέργεια (Nuclear)

Πυρηνικός αντιδραστήρας ονομάζεται η διάταξη εκείνη εντός της οποίας παράγεται ενέργεια με ελεγχόμενη αντίδραση σχάσης. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν μια μεγάλη δεξαμενή όπου το πυρηνικό καύσιμο υφίσταται έτσι πυρηνική σχάση, απελευθερώνοντας θερμότητα.

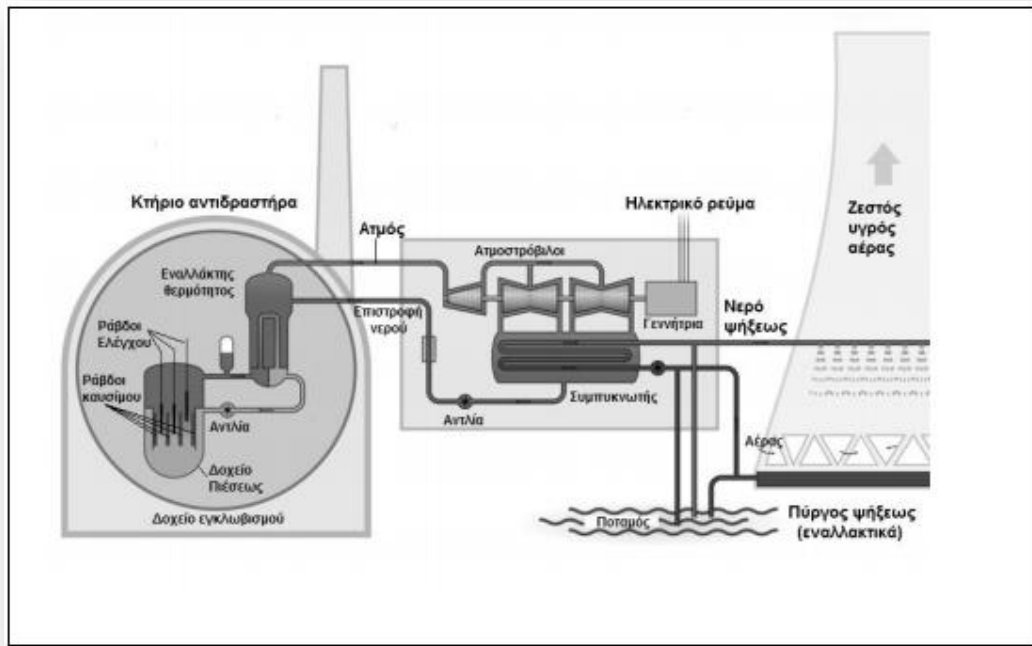
Στην πραγματικότητα, ένας πυρηνικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δε διαφέρει από έναν θερμικό παρά μόνο στον τρόπο παραγωγής της θερμότητας.

Τα άτομα του πυρηνικού καυσίμου, υπό ορισμένες συνθήκες, διασπώνται αυθόρμητα εκπέμποντας νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια προκαλούν τη διάσπαση άλλων ατόμων, με τελικό αποτέλεσμα μια γεωμετρικά αυξανόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Στην καρδιά του αντιδραστήρα" φέρονται επιβραδυντικό υλικό και ρυθμιστικές ράβδοι (ή "ράβδοι ελέγχου" ή "ράβδοι ρύθμισης") που συγκρατούν την αλυσιδωτή αντίδραση σε σταθερό ρυθμό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ομαλή ροή της θερμότητας. Ένα "ψυκτικό μέσο" (που μπορεί να είναι αέριο ή υγρό όπως το νερό) κυκλοφορεί μέσα στον αντιδραστήρα και θερμαίνεται. Στη συνέχεια αυτό οδηγείται σε ένα "εναλλάκτη θερμότητας" όπου προκαλεί βρασμό σε νερό που υπάρχει εκεί. Εν συνεχεία, ο παραγόμενος ατμός θέτει σε κίνηση στροβίλους που με την σειρά τους περιστρέφουν μια ηλεκτρογεννήτρια.

Το 72% των πυρηνικών αντιδραστήρων ισχύος ανήκουν στην κατηγορία των αντιδραστήρων ελαφρού ύδατος (LWR , Light Water Reactors) και χρησιμοποιούν το νερό ως ψυκτικό μέσο. Μόνο σε λίγες χώρες (ιδιαίτερως στην Μεγάλη Βρετανία) χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες με αέριο ψύξης. Οι αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος διακρίνονται σε :

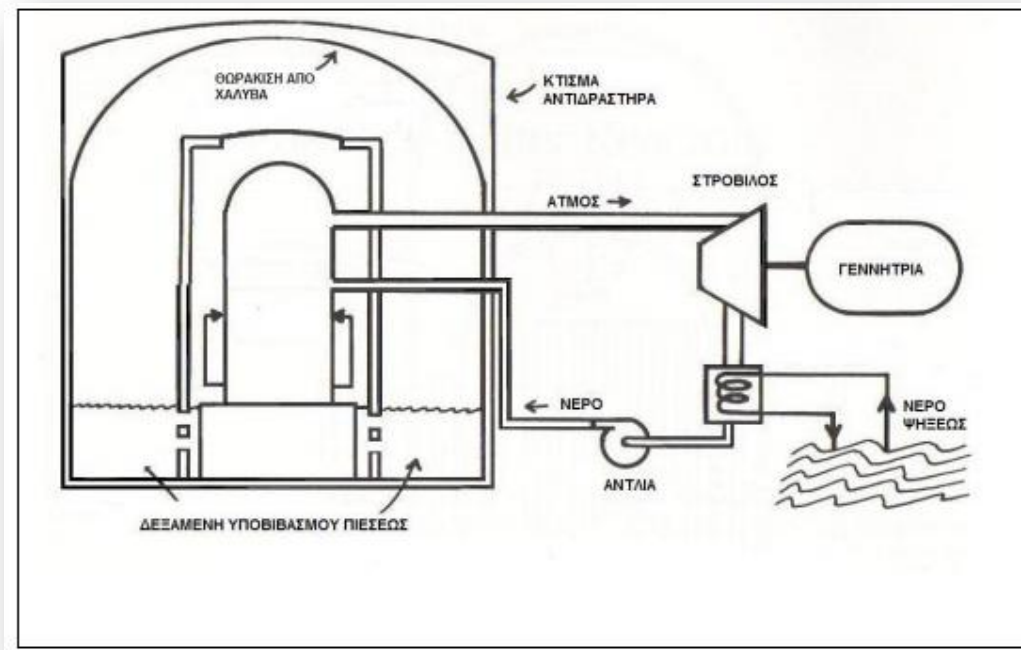
- Αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος υπό πίεση (PWR, Pressurized Water Reactors)
- Αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος υπό βρασμό (BWR , Boiling Water Reactors)

Στον αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό πίεση η κατανάλωση καυσίμου είναι σταθερή σ' όλο το μήκος των ράβδων των καυσίμων. Οι εν λόγω αντιδραστήρες διαθέτουν δύο ψυκτικούς κύκλους, γεγονός που επιτρέπει την τοποθέτηση του αμοστροβίλου σε άλλο κτήριο. Το νερό εισέρχεται στο κάτω μέρος του πυρήνα του αντιδραστήρα με μια θερμοκρασία περίπου 275° και εξέρχεται από το επάνω μέρος με θερμοκρασία περίπου 315° και διατηρείται σε υγρή κατάσταση λόγω της αυξημένης πίεσης (150 atm). Το μειονέκτημα αυτών των αντιδραστήρων είναι η αστάθεια τους σε περίπτωση βρασμού του ψυκτικού μέσου.



Εικόνα 2.4 Αναπαράσταση πυρηνικού σταθμού παραγωγής ισχύος με αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό πίεση (PWR, Pressurized Water Reactors)

Στον αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό βρασμό, υφίσταται ένας ψυκτικός κύκλος που οδηγεί τον ατμό στον ατμοστρόβιλο, χωρίς τη μεσολάβηση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Ωστόσο, πραγματοποιείται ανομοιόμορφη κατανάλωση του καυσίμου υλικού, γεγονός που απαιτεί συνεχή ρύθμιση της ομαλής λειτουργίας του.



Εικόνα 2.5 Αναπαράσταση πυρηνικού σταθμού παραγωγής ισχύος με αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος υπό βρασμό (BWR , Boiling Water Reactors)

Ενδεικτικά θα αναφέρουμε τους αντιδραστήρες βαρέος ύδατος (HWR - Heavy Water Reactors) που με τη σειρά τους διακρίνονται σε Πεπιεσμένου βαρέος ύδατος (HPWR - και Heavy Pressurized-Water Reactors) και αντιδραστήρες ζέοντος βαρέος ύδατος (HBWR - Heavy Boiling Water Reactors). Τέλος θα αναφέρουμε και τους αερίψυκτους πυρηνικούς αντιδραστήρες που χρησιμοποιούν ως επιβραδυντή γραφίτη και ως ψυκτικό μέσο διοξείδιο του άνθρακα ή ήλιο.

✓ **Υδροηλεκτρική ενέργεια (hydropower)**

Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας ενός όγκου νερού που βρίσκεται αποθηκευμένος σε κάποιο ψηλό σημείο, σε κινητική ενέργεια καθώς το νερό ρέει από ένα ψηλό σημείο σε κάποιο χαμηλότερο σημείο (η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σημείων ονομάζεται «υδραυλικό ύψος»). Στο χαμηλότερο σημείο, βρίσκεται εγκαταστημένος ένας στρόβιλος ή τουρμπίνα, που περιστρέφεται από τη ροή του νερού και ενεργοποιεί μια γεννήτρια

που μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια τυπική υδροηλεκτρική μονάδα μπορεί να βρίσκεται εγκατεστημένη σε ποταμό ή καταρράκτη και να εκμεταλλεύεται τη φυσική ροή του νερού ή να συνδυάζεται με τεχνητό ταμιευτήρα ή φράγμα, στο οποίο αποθηκεύεται νερό που μεταφέρεται στο σταθμό μέσω ενός αγωγού μεταφοράς. Η αξιοποιήσιμη υδροηλεκτρική ενέργεια σε κάθε έργο βασίζεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά: Στην παροχή και στο ωφέλιμο ύψος πτώσης του νερού, δηλαδή, την υψομετρική διαφορά μεταξύ της εισαγωγής του νερού και του στροβίλου όταν αφαιρεθούν οι απώλειες που προκαλούνται κατά τη ροή του νερού, λόγω τριβών και στροβιλισμού (turbulence). Σε γενικές γραμμές, ένα σύστημα με μεγάλο ωφέλιμο ύψος νερού και μικρή παροχή, μπορεί να παράξει την ίδια ενέργεια με ένα άλλο σύστημα με μικρό ωφέλιμο ύψος νερού και μεγάλη παροχή, με πολύ χαμηλότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης του σταθμού. Οι σταθμοί παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται σε μέγεθος από μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που τροφοδοτούν πολλούς καταναλωτές με ηλεκτρική ενέργεια σε μεσαίες, μικρές και πολύ μικρές μονάδες που λειτουργούν ιδιώτες για τις δικές τους ενεργειακές ανάγκες ή για να πουλήσουν ενέργεια σε δημόσιες ή ιδιωτικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Αν και οι ορισμοί διαφέρουν, κατατάσσουμε τα υδροηλεκτρικά ως προς το μέγεθος ως ακολούθως:

- ✓ μεγάλα υδροηλεκτρικά (μεγάλης κλίμακας) : Εγκαταστάσεις δυναμικότητας πέραν των 10 MW
- ✓ μικρά υδροηλεκτρικά (μικρής κλίμακας) : Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα από 100 kW έως 10MW
- ✓ πολύ μικρά υδροηλεκτρικά (πολύ μικρής κλίμακας) : Εγκαταστάσεις δυναμικότητας μικρότερης από 100KW

Είναι γεγονός ότι ένας υδροηλεκτρικός σταθμός απαιτεί μηδενικό κόστος καυσίμου και χρειάζεται ελάχιστο προσωπικό και λιγότερη συντήρηση από ένα θερμοηλεκτρικό σταθμό ίδιου μεγέθους, αλλά οι ετήσιες δαπάνες εξυπηρέτησής του είναι αρκετά μεγαλύτερες. Οι δαπάνες αυτές είναι μεγάλες λόγω των μεγάλων δομικών έργων που απαιτεί η διαμόρφωση της υδραυλικής εγκατάστασης. Το κόστος εγκατάστασης ενός υδροηλεκτρικού σταθμού είναι σε γενικές γραμμές χαμηλό και δεν εξαρτάται από το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος, αλλά από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι αγορές εκτάσεων, οι απαλλοτριώσεις που πρέπει να γίνουν, τα έργα στεγανοποίησης και

διαμόρφωσης που πρέπει να εκτελεστούν, οι σήραγγες εκτροπής, η κατασκευή φράγματος, οι δρόμοι προσπέλασης και άλλα έργα απαραίτητα για την εγκατάσταση ενός τέτοιου σταθμού. Το συνολικό κόστος μειώνεται γενικά με την αύξηση του μεγέθους του σταθμού και εξαρτάται από τη θέση και τις ιδιομορφίες της περιοχής εγκατάστασής του.

✓ **Τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης (Carbon Capture and Storage – CCS)**

Η μέθοδος δέσμευσης και ασφαλούς αποθήκευσης του CO₂ επιτρέπει τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή ενώ παράλληλα συντελεί στη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα, αναστέλλοντας έτσι τη μεταβολή του κλίματος. Έτσι λοιπόν καθίσταται αναγκαία η χρήση των τεχνολογιών που ενσωματώνουν την συγκεκριμένα μέθοδο.

Οι τεχνολογίες δέσμευσης διακρίνονται ανάλογα με το στάδιο της παραγωγικής διεργασίας κατά την οποία το CO₂ διαχωρίζεται με στόχο τη μεταφορά και αποθήκευσή του:

✓ Τεχνολογίες δέσμευσης μετά από την καύση

Το CO₂ απομονώνεται από τα καυσαέρια συνήθως σε χαμηλή πίεση (1 bar). Η διεργασία βασίζεται στο διαχωρισμό του CO₂ από ένα αέριο μίγμα αζώτου και οξυγόνου. Η επικρατέστερη πρακτική αφορά στον διαχωρισμό με χημική απορρόφηση με χρήση αμινών σε στήλες απορρόφησης - αναγέννησης. Άλλες πρακτικές αφορούν στις τεχνολογίες πολυμερικών και κεραμικών μεμβρανών οι οποίες είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης.

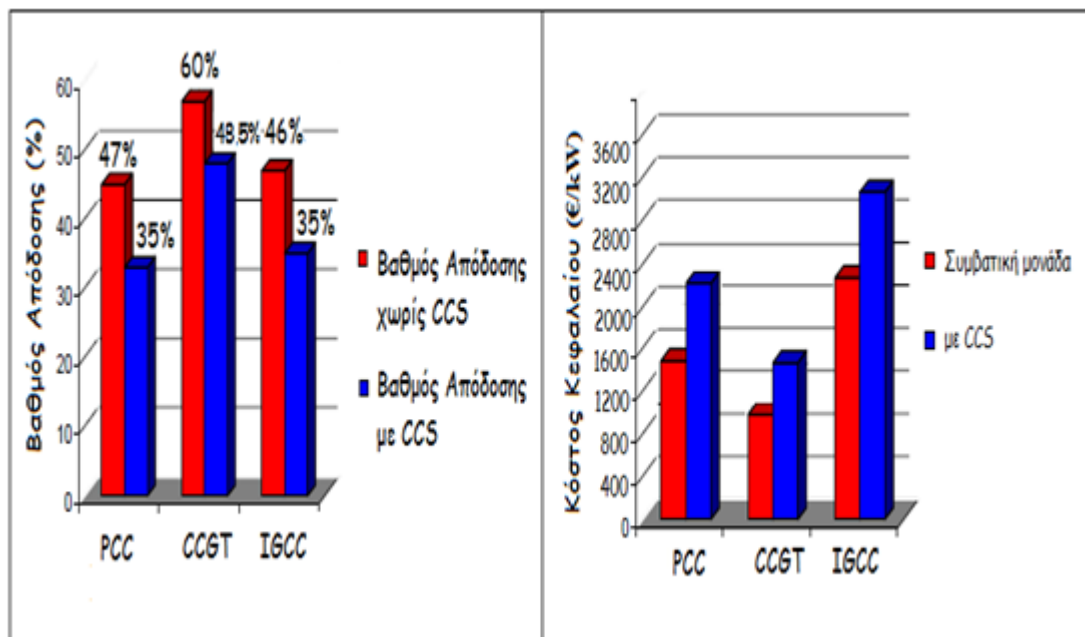
✓ Τεχνολογίες δέσμευσης πριν από την καύση

Το CO₂ απομονώνεται από αέριο μίγμα πλούσιο σε H₂ προϊόν αεριοποίησης άνθρακα ή αναμόρφωσης φυσικού αερίου σε υψηλή πίεση (15-40 bar). Η επικρατέστερη πρακτική είναι η απορρόφηση CO₂ με διάφορες εναλλακτικές λύσεις όπως η απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης (Pressure Swing Absorption), η φυσική απορρόφηση (Rectisol, Selexol) και η απορρόφηση με χρήση CaO (carbonation – calcination cycle)

- ✓ Καύση με υψηλή συγκέντρωση O₂/CO₂

Η τεχνολογία βασίζεται στο διαχωρισμό του αζώτου από τον αέρα καύσης και στην καύση με οξυγόνο αντί για αέρα έχοντας ως αποτέλεσμα καυσαέριο που αποτελείται από διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Μέρος του καυσαερίου ανακυκλώνεται με σκοπό την ρύθμιση της θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης. Το οξυγόνο παράγεται από μονάδα διαχωρισμού οξυγόνου (Air Separation Unit) με επικρατέστερη τεχνολογία τον διαχωρισμό του οξυγόνου με κρυογενικές.

Οι πρώτες μονάδες (first-of-a-kind) ορυκτών καυσίμων με ενσωματωμένη τεχνολογία δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία το 2015 (η ίδια ακριβώς παραδοχή γίνεται και στον υπολογισμό του κόστους ηλεκτροπαραγωγής από το SETIS Energy Calculator) και να διατεθούν σε εμπορική κλίμακα το 2020. Ο βαθμός απόδοσης και το κόστος κεφαλαίου των μονάδων αυτών παρουσιάζεται ακολούθως.



Γράφημα 2.17 Βαθμός Απόδοσης (%) και Κόστος Κεφαλαίου (€/kW) συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών και τεχνολογιών με CCS για το έτος 2011

Στην περίπτωση σταθμού καύσης κονιοποιημένου άνθρακα (PCC) η εφαρμογή των τεχνολογιών CCS αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά 32%, στην περίπτωση της μονάδας αεριοστρόβιλου συνδυασμένου κύκλου με φυσικό αέριο κατά 16% ενώ στα ολοκληρωμένα συστήματα αεριοποίησης περίπου

20%. Τα προαναφερόμενα δεδομένα είναι ενδεικτικά δεδομένου ότι η διεθνής βιβλιογραφία εμφανίζει διαφοροποιημένα στοιχεία όσον αφορά τα λειτουργικά κόστη των μονάδων αυτών. Στην μελέτη μας προσπαθήσαμε να προσαρμόσουμε τα δεδομένα αυτά στον χώρο της Ε.Ε και ιδιαιτέρως του Σκανδιναβικού συμπλέγματος χωρών. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής εξαρτάται σημαντικά από το είδος και την ποιότητα του καυσίμου και κυρίως από τα κατά περίπτωση τεχνικά, λειτουργικά και οικονομικά δεδομένα.

Μετά τη διαδικασία δέσμευσης ακολουθεί η μεταφορά και αποθήκευσή του διοξειδίου του άνθρακα σε ιζηματογενείς κυρίως λεκάνες εντός των οποίων υπάρχουν κατάλληλοι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως ενεργοί ή /και εξαντλημένοι ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου, μη εκμεταλλεύσιμα στρώματα γαιάνθρακα με ταυτόχρονη ανάκτηση του προσροφημένου μεθανίου (CH₄) και υπόγειοι αλατούχοι υδροφόροι ορίζοντες που εντοπίζονται σε βάθη μεγαλύτερα των 800m. Επιπροσθέτως, μια ακόμη μέθοδος αποθήκευσης του CO₂ είναι η δέσμευση του υπό μορφή ορυκτών (ορυκτοποίηση CO₂).

2.3.3 Προσδιορισμός της Απόδοσης Ενεργειακών Τεχνολογιών χρησιμοποιώντας το SETIS - Energy Cost Calculator

Συναντήσαμε πολλές δυσκολίες για την εύρεση των κοστών ηλεκτροπαραγωγής για τη Σκανδιναβία ή για κάθε χώρα της ξεχωριστά. Έτσι λοιπόν θελήσαμε να καταφύγουμε σε μια υπολογιστική πλατφόρμα προσδιορισμού των κοστών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα δίνει την δυνατότητα αντιμετώπισης και σύγκρισης των διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών με τον ίδιο τρόπο σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο.

Στα πλαίσια της επιτάχυνσης της οικονομικώς συμφερότερης ανάπτυξης και αξιοποίησης τεχνολογιών χαμηλής έντασης εκπομπών άνθρακα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το Στρατηγικό σχέδιο Ενεργειακών Τεχνολογιών (The European Strategic Energy Technology (SET) – Plan). Το συγκεκριμένο σχέδιο περιλαμβάνει μέτρα που αφορούν τον προγραμματισμό, την εφαρμογή, τους πόρους και τη διεθνή συνεργασία στον τομέα των ενεργειακών τεχνολογιών. Το (SET)- plan

καθοδηγείται από μια διευθύνουσα ομάδα η οποία απαρτίζεται από μέλη όλων των κρατών μελών της Ε.Ε 27 και από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Επιπροσθέτως η Νορβηγία εκπροσωπείται στην εν λόγω διευθύνουσα ομάδα. Κύριο στρατηγικό ρόλο στα πλαίσια του (SET) –plan διαδραματίζει το πληροφοριακό σύστημα SETIS (Strategic Energy Technology Information System) όπου δημιούργησε μια διαδικτυακή πλατφόρμα για τον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Energy Cost Calculator). Το συγκεκριμένο υπολογιστικό μέσο αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την πρόβλεψη της ανταγωνιστικότητας μιας δεδομένης τεχνολογίας σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα και επιπλέον αντιμετωπίζει την Ε.Ε ως μια ενιαία ενεργειακή αγορά. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι στο πλαίσιο των υπολογισμών που πραγματοποιεί, χρησιμοποιεί μια κοινή μεθοδολογία για όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες εξασφαλίζοντας ότι συγκρίνονται και αντιμετωπίζονται επί ίσοις όροις. Έτσι λοιπόν θεωρήσαμε ότι οι υπολογισμοί του κόστους ηλεκτροπαραγωγής μέσω της συγκεκριμένης πλατφόρμας αντιπροσωπεύουν και το Σκανδιναβικό σύμπλεγμα χωρών.

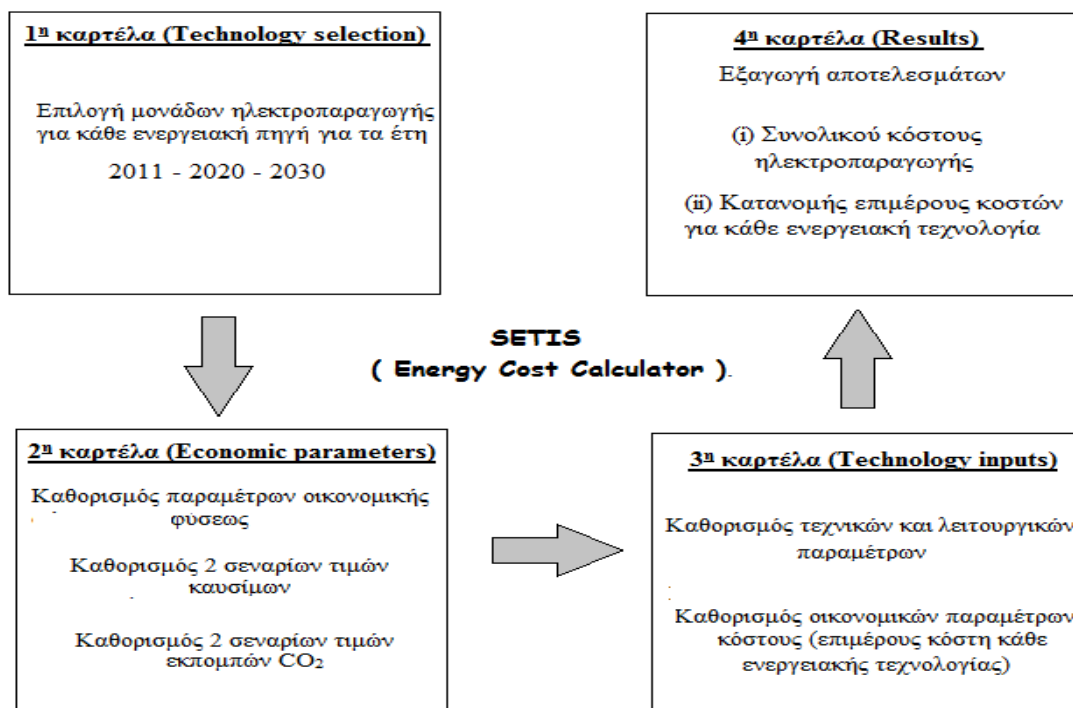
Η υπολογιστική διαδικτυακή πλατφόρμα για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτροπαραγωγής διαθέτει 4 καρτέλες. Στην 1^η καρτέλα (Technology selection) δίνει την δυνατότητα επιλογής ενεργειακών τεχνολογιών για τις οποίες θα υπολογιστεί το κόστος ηλεκτροπαραγωγής για το έτος 2011 και θα πραγματοποιηθεί πρόβλεψη του κόστους για τα έτη 2020 και 2030. Στην 2^η καρτέλα (Economic parameters) δίνεται η δυνατότητα καθορισμού μιας σειράς παραμέτρων οικονομικής φύσεως που είναι κοινές για όλες τις επιλεγμένες ενεργειακές τεχνολογίες και μπορούν να αλλάξουν μέσα σε προκαθορισμένα όρια. Επιπροσθέτως, στην συγκεκριμένη καρτέλα δίνεται τόσο η δυνατότητα επιλογής δύο εναλλακτικών σεναρίων τιμών καυσίμων (μέτριων και υψηλών τιμών) όσο και η δυνατότητα διαμόρφωσης των τιμών εκπομπών CO₂ για τις προβλέψεις των κοστών ηλεκτροπαραγωγής για τα έτη 2020 και 2030. Στην παρούσα εργασία συμπεριλαμβάνουμε δύο σενάρια τιμών εκπομπών CO₂ (μέτριων και υψηλών) και εξάγουμε συνολικά τέσσερα σενάρια για τα κόστη ηλεκτροπαραγωγής των ετών 2020 και 2030 :

- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Στην 3^η καρτέλα (Technology inputs), η πλατφόρμα μας επιτρέπει τον καθορισμό μιας σειράς τόσο από τεχνικές και λειτουργικές παραμέτρους, όσο και από οικονομικές παραμέτρους κόστους των ενεργειακών τεχνολογιών. Ο καθορισμός των συγκεκριμένων μεγεθών έγινε από τον συνδυασμό των τεχνικών και οικονομικών παραδοχών που έγιναν στην μελέτη ‘Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future’ για τις Σκανδιναβικές χώρες από τον οργανισμό Nordic Energy Research, και από τις τιμές των παραμέτρων που είχε η υπολογιστική πλατφόρμα ως προεπιλογή.

Στην 4^η καρτέλα (Results) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συνολικών κοστών ηλεκτροπαραγωγής για τις ενεργειακές τεχνολογίες που επιλέχτηκαν και το πως αυτά κατανέμονται στα επιμέρους κόστη που συνθέτουν το συνολικό κόστος για κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.1 Διαδικασία λειτουργίας του SETIS – Energy Cost Calculator

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διαδικτυακής πλατφόρμας γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες είναι σύγχρονης τεχνολογίας (state-of-the-art). Συγκεκριμένα, για τις τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης (Carbon Capture and Storage – CCS), θεωρείται ότι οι πρώτες μονάδες θα τεθούν σε λειτουργία το 2015.

Στο σημείο αυτό κρίνουμε σκόπιμο να αναφερθούμε στα επιμέρους κόστη που συνθέτουν το συνολικό κόστος ηλεκτροπαραγωγής των ενεργειακών τεχνολογιών και συμπεριλαμβάνονται ως παράμετροι στην υπολογιστική πλατφόρμα.

✓ **Κόστος Κεφαλαίου (Επένδυσης) (Capital Cost)**

Είναι το κόστος που απαιτείται για το σχεδιασμό και την κατασκευή μιας νέας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συμπεριλαμβάνει το κόστος του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και το κόστος εγκατάστασής του, το κόστος υποδομών, το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο καθώς επίσης και τα κόστη των συστημάτων ισχύος, καυσίμου και ψύξης. Στο εν λόγω κόστος ακόμα εμπεριέχονται τόσο οι αναπτυξιακές δαπάνες όσο και οι υπηρεσίες που σχετίζονται με τη χορήγηση αδειών και τη παροχή συμβουλών. Το κόστος γης της εγκατάστασης δεν συμπεριλαμβάνεται. Το κόστος επένδυσης παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατασκευή μιας καινούργιας ενεργειακής μονάδας, ιδιαίτερος σε περιπτώσεις που δεν υφίσταται ρευστότητα κεφαλαίου. Επιπροσθέτως αφορά στο χρονικό διάστημα που περιλαμβάνει το σχεδιασμό, τις συμβάσεις και την κατασκευή της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, έως και την έναρξη της λειτουργίας της. Τέλος, σε ότι αφορά το κόστος των τόκων και τη χρηματοδότηση στο χρονικό διάστημα κατασκευής της μονάδας, εφαρμόζεται ένα ενιαίο προεξοφλητικό επιτόκιο σε όλες τις χρηματοροές, έχοντας υπόψη το χρονοδιάγραμμα των προβλεπόμενων δαπανών κεφαλαίου.

✓ **Κόστος συντήρησης και λειτουργίας (O&M Cost)**

Είναι το κόστος εκείνο που προκύπτει από τη λειτουργία του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από τη συντήρηση των μηχανών για την ηλεκτροπαραγωγή και επιμερίζεται στο σταθερό και στο μεταβλητό κόστος.

Το σταθερό κόστος συντήρησης και λειτουργίας (fixed O&M Cost) παραμένει αμετάβλητο ανεξάρτητα από το ποσό της παραγόμενης ενέργειας και εμπεριέχει τους μισθούς και την ασφάλιση του προσωπικού που εργάζεται στη μονάδα, τα έξοδα

τακτικής - έκτακτης συντήρησης, τις δαπάνες συντήρησης του κεφαλαίου κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, τους φόρους ιδιοκτησίας και το κόστος ασφάλειας και χρήσης του δικτύου και του συστήματος τελών.

Στο μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας (variable O&M Cost) εμπεριέχεται το κόστος καυσίμου που χρησιμοποιεί η ενεργειακή τεχνολογία. Το κόστος αυτό αφορά ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες που μετατρέπουν τη θερμογόνο δύναμη των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια και όχι μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον συμπεριλαμβάνεται το κόστος των εκπομπών CO₂, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης που σχετίζεται με την παραγόμενη ποσότητα ενέργειας, που αφορά την χρήση χημικών ουσιών για την συντήρηση και την σωστή λειτουργία των μηχανημάτων της ενεργειακής τεχνολογίας και το κόστος διάθεσης και επεξεργασίας των υπολειμμάτων. Εν κατακλείδι, το μεταβλητό κόστος συντήρησης και λειτουργίας συναρτάται της τιμής του καυσίμου που χρησιμοποιείται, του τύπου της εγκατάστασης και του εκάστοτε λειτουργικού πλαισίου.

Για τις μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης (Carbon Capture and Storage – CCS), το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης ψ αποτελεί μια ακόμα παράμετρο του κόστους με μια τιμή αναφοράς 20 € ανά δεσμευμένο τόνο CO₂. Τα κόστη παροπλισμού και τα υπολειπόμενα κόστη δεν συμπεριλαμβάνονται με εξαίρεση το κόστος αποσυναρμολόγησης του πυρηνικού αντιδραστήρα ισχύος.

Ακολούθως επισυνάπτουμε 5 συγκεντρωτικούς πίνακες που συμπεριλαμβάνουν όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην υπολογιστική πλατφόρμα για την εξαγωγή του κόστους ηλεκτροπαραγωγής των ενεργειακών τεχνολογιών ξεκινώντας από τις τιμές των ενεργειακών πηγών (καυσίμων) για τα έτη 2011, 2020 και 2030 και τα δύο σενάρια τιμών για το 2020 και 2030 που συμπεριλάβαμε στην μελέτη μας.

Τύπος Ενεργειακής Πηγής	2011	2020		2030	
		Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμου	Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμου	Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμου	Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμου
Πετρέλαιο(Diesel Oil – Light Fuel Oil)	11,09	11,98	19,30	12,97	24,21
Φυσικό Αέριο (Natural Gas)	6,81	7,48	8,54	8,22	10,53
Ανθρακας (Hard Coal)	2,22	2,40	3,95	2,60	4,48
Ουράνιο (Enriched Uranium)	1,06	1,10	2,47	1,15	2,79

Πίνακας 2.2 Πίνακας τιμών καυσίμων για τα 2011 , 2020, 2030 και των δύο σεναρίων τιμών για τα έτη 2020,2030. [Τιμές καυσίμου σε (€/GJ)]

Ακολούθως επισυνάπτεται ο πίνακας που περιλαμβάνει τις τιμές εκπομπών CO₂ για το έτος 2011, τα δύο σενάρια τιμών εκπομπών CO₂ για τα έτη 2020 και 2030 καθώς επίσης και το κόστος αποσυναρμολόγησης του πυρηνικού αντιδραστήρα ισχύος LWR για τα έτη 2011,2020 και 2030.

Επιπρόσθετοι Παράμετροι	2011	2020		2030	
		Σενάριο μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	Σενάριο υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂	Σενάριο μέτριων τιμών εκπομπών CO ₂	Σενάριο υψηλών τιμών εκπομπών CO ₂
Κόστος Εκπομπών CO ₂ (€/tCO ₂)	20	30	40	40	90
Κόστος Αποσυναρμολόγησης για τον Αντιδραστήρα (€/kW)	650	590		580	

Πίνακας 2.3 Πίνακας τιμών εκπομπών CO₂ και κόστους παροπλισμού πυρηνικού αντιδραστήρα για τα 2011 , 2020, 2030 και των δύο σεναρίων τιμών εκπομπών για τα έτη 2020,2030.

Εν συνεχεία επισυνάπτεται πίνακας με τις τιμές των οικονομικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν από κοινού για όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, ο δείκτης πληθωρισμού (Inflation Rate) ο οποίος είναι ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής των τιμών, με βάση ένα δείκτη τιμών ελήφθη μηδενικός. Το ονομαστικό / χρηματικό προεξοφλητικό επιτόκιο (Nominal Discount Rate) χρησιμοποιείται για την αναγωγή σε παρούσα αξία αν οι χρηματικές ροές είναι εκφρασμένες στη χρηματική αξία του χρόνου στον οποίο προέκυψαν και στην μελέτη μας λαμβάνεται ίσο με 10%. Οι τόκοι κατά την διάρκεια της κατασκευής κάθε ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας (Interest during construction) αποτελούν κομμάτι του χρηματοοικονομικού κόστους κατά την διάρκεια της κατασκευής. Το επιτόκιο τοκοχρεολυσίων (Sinking Fund Interest Rate) αφορά κυρίως το κόστος αποσυναρμολόγησης του πυρηνικού αντιδραστήρα ισχύος και ελήφθη ίσο με 2,5%. Τα ποσοστά κλιμάκωσης (escalation rate) εκφράζουν τον ετήσιο ρυθμό κλιμάκωσης μιας χρηματοροής ή ενός μεγέθους γενικά και συνήθως εφαρμόζονται από το δεύτερο έτος και έπειτα. Οι συντελεστές γνώσης (επίδραση γνώσης) (learning effect) αφορούν στην μείωση του μελλοντικού κόστους για μια τεχνολογία βασισμένοι στην θεωρία μιας τεχνολογικής γνώσης. Τέλος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για τις μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης (CCS), το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης λαμβάνει τιμή αναφοράς 20 € / tncO₂. Οι άνωθεν παράμετροι έλαβαν τις τιμές που έδινε ως προεπιλογή η υπολογιστική πλατφόρμα.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Δείκτης πληθωρισμού (Inflation rate)	0%
Ονομαστικό/χρηματικό προεξοφλητικό Επιτόκιο (Nominal Discount Rate)	10%
Τόκοι κατά την διάρκεια κατασκευής της μονάδας (Interest during construction)	10%
Τοκοχρεωλυτικό Επιτόκιο (Sinking Fund Interest Rate)	2,5%
Ποσοστό κλιμάκωσης ΟΜ (OM escalation rate)	0%
Συντελεστής γνώστης ΟΜ (Επίδραση γνώσης) (OM learning effect)	-0,5%
Ποσοστό κλιμάκωσης εκπομπών CO ₂ (CO ₂ allowance escalation rate)	0,4%
Ποσοστό κλιμάκωσης κόστους μεταφοράς και αποθήκευσης για τεχνολογίες CCS (CO ₂ T&S cost escalation rate)	0%
Κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης για τεχνολογίες CCS (T&S cost)	20 €/tnCO ₂

Πίνακας 2.4 Πίνακας κοινών οικονομικών παραμέτρων για όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται μια σειρά από τεχνικές παραμέτρους που ελήφθησαν για κάθε ενεργειακή τεχνολογία λαμβάνοντας υπόψη σχετική υπάρχουσα βιβλιογραφία για την λειτουργία των εν λόγω μονάδων τόσο σε Ευρωπαϊκό επίπεδο όσο και στο σύμπλεγμα Σκανδιναβικών χωρών. Όσον αφορά την απόδοση της ανάλυσης κύκλου ζωής για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Life Cycle Assessment), χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές της υπολογιστικής πλατφόρμας. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθ' όλη τη διάρκεια ζωής των ενεργειακών τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνουν άμεσες εκπομπές αερίων από τη διαδικασία καύσης/αεριοποίησης και έμμεσες εκπομπές που προέρχονται μεταξύ άλλων από την αλυσίδα εφοδιασμού των καυσίμων και την κατασκευή του εργοστασίου παραγωγής. Στην περίπτωση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης, οι άμεσες εκπομπές είναι η διαφορά μεταξύ των παραγόμενων και των δεσμευμένων ποσών CO₂. Τα ποσοστά δέσμευσης CO₂ για τις συγκεκριμένες τεχνολογίες έλαβαν τιμές ελάχιστης αποδοτικότητας δέσμευσης, ίσες με 85%.

Τύπος Ενεργειακής Πηγής	Ενεργειακή Τεχνολογία	Δυναμικότητα (Net Capacity) (MW)	Απόδοση (Net Efficiency) (%)			Συντελεστής Φορτίου (%)	Διάρκεια Ζωής (χρόνια)	Χρόνος Κατασκευής (χρόνια)	Ποσοστό Δέσμευσης CO ₂ (%)	Απόδοση LCA (Ανάλυσης Κύκλου Ζωής) (tn CO ₂ /GWh)
			2011	2020	2030					
Πετρέλαιο	ICE	16	43	43	43	90	40	3	0	654
	Oil-fired Gas Turbines	110	31	31	31	90	30	3	0	860
Φυσικό Αέριο	CCGT	580	60	64	65	70	30	2	0	246,67
	CCGT with CCS	550	48,5*	51,5	55	85	25	4	85	137,78
Ανθρακας	IGCC	675	46	52	52	85	40	3	0	750
	IGCC with CCS	600	35*	38	42	85	40	4	85	251,5
	PCC	800	47	51	54	85	40	3	0	820
	PCC with CCS	500	35*	38	42	85	40	4	85	270
Πυρηνικά	Nuclear Gen III LWR	1600	35	36	36	85	40	6	0	15
Ύδωρ	Hydropower-Large	50	92	92	92	38	50	4	0	8
	Hydropower-Small	5	88	88	88	42	50	3	0	6

Πίνακας 2.5 Τιμές τεχνικών παραμέτρων για τον υπολογισμό του κόστους ηλεκτροπαραγωγής (*Οι τιμές των αποδόσεων των τεχνολογιών CCS αναφέρονται στο έτος 2015)

Στον ακόλουθο πίνακα που παρατίθεται καταγράφονται όλες οι τιμές των παραμέτρων κόστους για κάθε ενεργειακή τεχνολογία. Ο αριθμός προσωπικού, τα κόστη κεφαλαίου, και τα σταθερά-μεταβλητά κόστη συντήρησης και λειτουργίας των μονάδων αντλήθηκαν από ορισμένες οικονομικές παραδοχές που έγιναν στην μελέτη ‘Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future’ για τις Σκανδιναβικές χώρες από τον οργανισμό Nordic Energy Research, από την σχετική βιβλιογραφία στην οποία ανατρέξαμε για την ανάλυση των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων ενεργειακών τεχνολογιών και από τις τιμές των παραμέτρων που είχε η υπολογιστική πλατφόρμα ως προεπιλογή θεωρώντας ότι αντιπροσωπεύουν τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο ακαθάριστος ετήσιος μισθός του προσωπικού ανεξαρτήτως ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας

θεωρείται 55000 €. Το κόστος διοίκησης για όλες τις μονάδες θεωρήθηκε 30% του κόστους του προσωπικού εκτός από τον πυρηνικό σταθμό που θεωρήθηκε το 73% του κόστους προσωπικού. Τέλος, οι τιμές του συντελεστή γνώσης για το κόστος κεφαλαίου-επένδυσης είναι εκείνες που ορίζει η υπολογιστική πλατφόρμα ως προεπιλογή και αντιπροσωπεύουν την Ε.Ε.

Τύπος Ενεργειακής Πηγής	Ενεργειακή Τεχνολογία	Αριθμός Προσωπικού	Κόστος Κεφαλαίου-Επένδυσης (€/kW)			Κόστη Συντήρησης Λειτουργίας (% Κόστος Κεφαλαίου)	Μεταβλητά Κόστη Συντήρησης Λειτουργίας (€/kW)	Ακαθάριστος Ετήσιος Μισθός (€)	Κόστος Διοίκησης (% Κόστος Προσωπικού)	Συντελεστής Γνώσης για το κόστος Κεφαλαίου (%)
			2011	2020	2030					
Πετρέλαιο	ICE	4	820	820	820	0	5,4	55000	30	3
	Oil-fired Gas Turbines	4	530	530	530	0	1	55000	30	2
Φυσικό Αέριο	CCGT	36	840	760	690	2,3	2,8	55000	30	16
	CCGT with CCS	55	1340*	1260	1180	2,9	0,92	55000	30	2,2
Ανθρακας	IGCC	93	2240	1730	1640	0	0,78	55000	30	17,92
	IGCC with CCS	112	2840*	2500	2290	3,70	1,19	55000	30	5
	PCC	60	1270	1200	1160	3,9	0,8	55000	30	14,23
	PCC with CCS	78	2250*	2140	2050	2,5	2,9	55000	30	2,1
Πορηνικά	Nuclear Gen III LWR	480	2570	2300	2220	2	0,6	55000	73	6,2
Ύδωρ	Hydropower-Large	8	3000	3000	3000	2	2,20	55000	30	3
	Hydropower-Small	2	3300	3300	3300	2	2,4	55000	30	3

Πίνακας 2.6 Τιμές παραμέτρων κόστους για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής (*Οι τιμές των κόστους κεφαλαίου-επένδυσης των τεχνολογιών CCS αναφέρονται στο έτος 2015)

Στην 4^η καρτέλα της υπολογιστικής πλατφόρμας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα συνολικά κόστη ηλεκτροπαραγωγής για κάθε μία από τις ενεργειακές τεχνολογίες. Για να υπολογίσουμε την απόδοση για κάθε τύπο ενεργειακής πηγής, προσδιορίζουμε αρχικά το κόστος ηλεκτροπαραγωγής ανά τύπο ενεργειακής πηγής. Λαμβάνοντας υπόψη την εγκατεστημένη ισχύ για το έτος 2011 αλλά και την προβλεπόμενη για τα έτη 2020 και 2030 κάθε ενεργειακής τεχνολογίας, παίρνουμε τον σταθμισμένο μέσο όρο του κόστους κάθε τεχνολογίας για δεδομένο τύπο

ενεργειακής πηγής. Δηλαδή, για κάθε τύπο καυσίμου υπολογίστηκε το συνολικό κόστος καυσίμου σύμφωνα με την σχέση :

$$WACOE = \frac{\sum_{i=1}^N (IC_i * COE_i)}{\sum_{i=1}^N (IC_i)}$$

όπου :

WACOE (Weighted Average Cost Of Electricity) : Το μέσο σταθμισμένο κόστος ηλεκτροπαραγωγής ανά τύπο ενεργειακής πηγής

IC_i (Installed Capacity) : Η εγκατεστημένη ισχύς της ενεργειακής τεχνολογίας i της συγκεκριμένης ενεργειακής πηγής

COE_i (Cost Of Electricity) : Το κόστος ηλεκτροπαραγωγής της ενεργειακής τεχνολογίας i της συγκεκριμένης ενεργειακής πηγής

Το μέσο σταθμισμένο κόστος ηλεκτροπαραγωγής ανά τύπο καυσίμου υπολογίζεται σε (€/MWh). Εν συνεχεία για τον υπολογισμό της απόδοσης ανά τύπο ενεργειακής πηγής σε (kWh/€) εφαρμόζουμε την σχέση :

$$\text{Απόδοση ανά ενεργειακή πηγή} = \frac{1000}{WACOE}$$

Στον ακόλουθο πίνακα που επισυνάπτεται, προκύπτουν τα αποτελέσματα της υπολογιστικής πλατφόρμας SETIS και η εκτίμηση των αποδόσεων για το έτος 2011 καθώς επίσης και για τα έτη 2020 και 2030 για το πρώτο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂. Τα αποτελέσματα του σταθμισμένου μέσου κόστους του φυσικού αερίου και του άνθρακα για το έτος 2011 δεν περιλαμβάνουν τις τεχνολογίες CCS καθώς οι πρώτες μονάδες θα τεθούν σε λειτουργία το 2015.

Ενεργειακή Πηγή	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (€/MWh)			Εγκατεστημένη Ισχύς ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (Παγκοσμίως) (GW)			Σταθμισμένο Μέσο Κόστος ανά Ενεργειακή Πηγή (€/MWh)			Απόδοση ανά Ενεργειακή Πηγή (kWh/€)		
		2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030
Πετρέλαιο	ICE	135	150	160	200	200	200	160,61	179,88	198,42	6,23	5,56	5,04
	Oil-fired Gas Turbines	165	185	205	1168	1168	1168						
Φυσικό Αέριο	CCGT	75	75	80	350	534.33	790	75	75,22	80,88	13,33	13,29	12,36
	CCGT with CCS	100*	95	95	1*	5.86	49.23						
Άνθρακας	IGCC	75	70	75	1	2.48	3	65,03	71,37	77,36	15,38	14,01	12,93
	IGCC with CCS	110*	105	95	10*	55.87	180.34						
	PCC	65	65	70	303	511.46	790						
	PCC with CCS	100*	95	90	10*	58.59	209.04						
Πυρηνικά	Nuclear Gen III LWR	75	70	65	3.5	100	100	75	70	65	13,33	14,29	15,38
Ύδωρ	Hydropower-Large	140	140	140	770	770	770	139,56	139,56	139,56	7,17	7,17	7,17
	Hydropower-Small	135	135	135	75	75	75						

Πίνακας 2.7 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για το έτος 2011 καθώς επίσης και για τα έτη 2020 και 2030 για το πρώτο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Στον ακόλουθο πίνακα προκύπτουν τα αποτελέσματα της υπολογιστικής πλατφόρμας SETIS και οι εκτιμήσεις των αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το δεύτερο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Ενεργειακή Πηγή	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (€/MWh)			Εγκατεστημένη Ισχύς ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (Παγκοσμίως) (GW)			Σταθμισμένο Μέσο Κόστος ανά Ενεργειακή Πηγή (€/MWh)			Απόδοση ανά Ενεργειακή Πηγή (kWh/€)		
		2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030
Πετρέλαιο	ICE	-	155	195	-	200	200	-	189,15	241,96	-	5,29	4,13
	Oil-fired Gas Turbines	-	195	250	-	1168	1168						
Φυσικό Αέριο	CCGT	-	80	95	-	534.33	790	-	80,16	95,29	-	12,48	10,49
	CCGT with CCS	-	95	100	-	5.86	49.23						
Ανθρακας	IGCC	-	75	110	-	2.48	3	-	79,53	103,24	-	12,57	9,69
	IGCC with CCS	-	105	105	-	55.87	180.34						
	PCC	-	75	105	-	511.46	790						
	PCC with CCS	-	95	95	-	58.59	209.04						
Πυρηνικά	Nuclear Gen III LWR	-	70	65	-	100	100	-	70	65	-	14,29	15,38
Ύδωρ	Hydropower-Large	-	140	140	-	770	770	-	139,56	139,56	-	7,17	7,17
	Hydropower-Small	-	135	135	-	75	75						

Πίνακας 2.8 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το δεύτερο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Στον ακόλουθο πίνακα που επισυνάπτεται προκύπτουν τα αποτελέσματα της υπολογιστικής πλατφόρμας SETIS και οι εκτιμήσεις των αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τρίτο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Ενεργειακή Πηγή	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (€/MWh)			Εγκατεστημένη Ισχύς ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (Παγκοσμίως) (GW)			Σταθμισμένο Μέσο Κόστος ανά Ενεργειακή Πηγή (€/MWh)			Απόδοση ανά Ενεργειακή Πηγή (kWh/€)		
		2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030
Πετρέλαιο	ICE	-	195	230	-	200	200	-	237,69	285,50		4,21	3,50
	Oil-fired Gas Turbines	-	245	295	-	1168	1168						
Φυσικό Αέριο	CCGT	-	80	90	-	534.33	790	-	80,22	90,88		12,47	11,00
	CCGT with CCS	-	100	105	-	5.86	49.23						
Ανθρακας	IGCC	-	75	85	-	2.48	3	-	81,35	89,01		12,29	11,23
	IGCC with CCS	-	115	110	-	55.87	180.34						
	PCC	-	75	80	-	511.46	790						
	PCC with CCS	-	105	105	-	58.59	209.04						
Πυρηνικά	Nuclear Gen III LWR	-	80	80	-	100	100	-	80	80		12,5	12,5
Υδωρ	Hydropower-Large	-	140	140	-	770	770	-	139,56	139,56		7,17	7,17
	Hydropower-Small	-	135	135	-	75	75						

Πίνακας 2.9 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τρίτο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

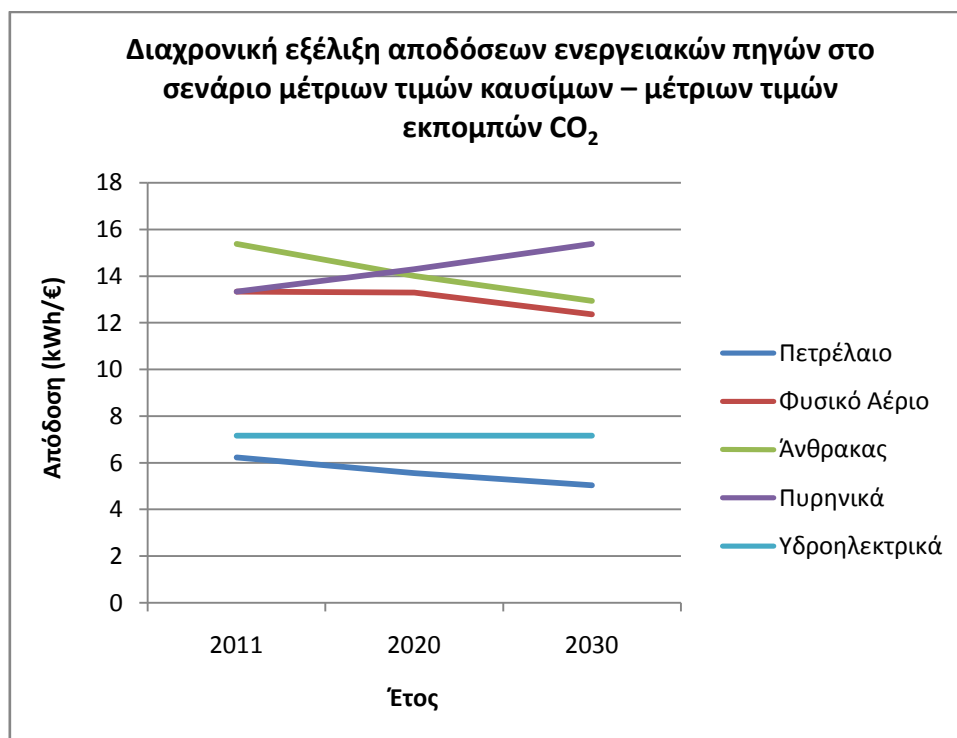
Στον τελευταίο πίνακα που επισυνάπτεται προκύπτουν τα αποτελέσματα της υπολογιστικής πλατφόρμας SETIS και οι εκτιμήσεις των αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τέταρτο και τελευταίο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Ενεργειακή Πηγή	Ενεργειακή Τεχνολογία	Κόστος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (€/MWh)			Εγκατεστημένη Ισχύς ανά Ενεργειακή Τεχνολογία (Παγκοσμίως) (GW)			Σταθμισμένο Μέσο Κόστος ανά Ενεργειακή Πηγή (€/MWh)			Απόδοση ανά Ενεργειακή Πηγή (kWh/€)		
		2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030	2011	2020	2030
Πετρέλαιο	ICE	-	200	265	-	200	200	-	246,96	329,04	-	4,05	3,04
	Oil-fired Gas Turbines	-	255	340	-	1168	1168	-			-		
Φυσικό Αέριο	CCGT	-	85	105	-	534.33	790	-	85,16	105,29	-	11,74	9,50
	CCGT with CCS	-	100	110	-	5.86	49.23	-			-		
Ανθρακας	IGCC	-	85	120	-	2.48	3	-	85,46	114,13	-	11,70	8,76
	IGCC with CCS	-	115	115	-	55.87	180.34	-			-		
	PCC	-	80	115	-	511.46	790	-			-		
	PCC with CCS	-	105	110	-	58.59	209.04	-			-		
Πυρηνικά	Nuclear Gen III LWR	-	80	80	-	100	100	-	80	80	-	12,5	12,5
Ύδωρ	Hydropower-Large	-	140	140	-	770	770	-	139,56	139,56	-	7,17	7,17
	Hydropower-Small	-	135	135	-	75	75	-			-		

Πίνακας 2.10 Τιμές αποτελεσμάτων και υπολογισμός αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 για το τέταρτο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Παρατηρώντας τις τιμές των αποτελεσμάτων των αποδόσεων ανά ενεργειακή πηγή μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για την διαχρονική τους εξέλιξη για κάθε ένα από τα σενάρια που επιλέξαμε να συμπεριλάβουμε, όσο και για την επίδραση του κόστους εκπομπών CO₂ για τα έτη 2020 και 2030 για τις δύο περιπτώσεις μέτριων και υψηλών τιμών καυσίμου. Αρχικά για το έτος 2011, ο άνθρακας παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με τις υπόλοιπες ενεργειακές πηγές και ακολουθούν τα πυρηνικά και το φυσικό αέριο με ισόποσες αποδόσεις. Ακολουθούν τα υδροηλεκτρικά με σχετικά μικρή απόδοση συγκριτικά με τις τρεις προαναφερθείσες ενεργειακές πηγές και το πετρέλαιο αποτελεί το λιγότερο αποδοτικό καύσιμο. Ωστόσο, αν ακολουθήσουμε την μεσο-μακροπρόθεσμη

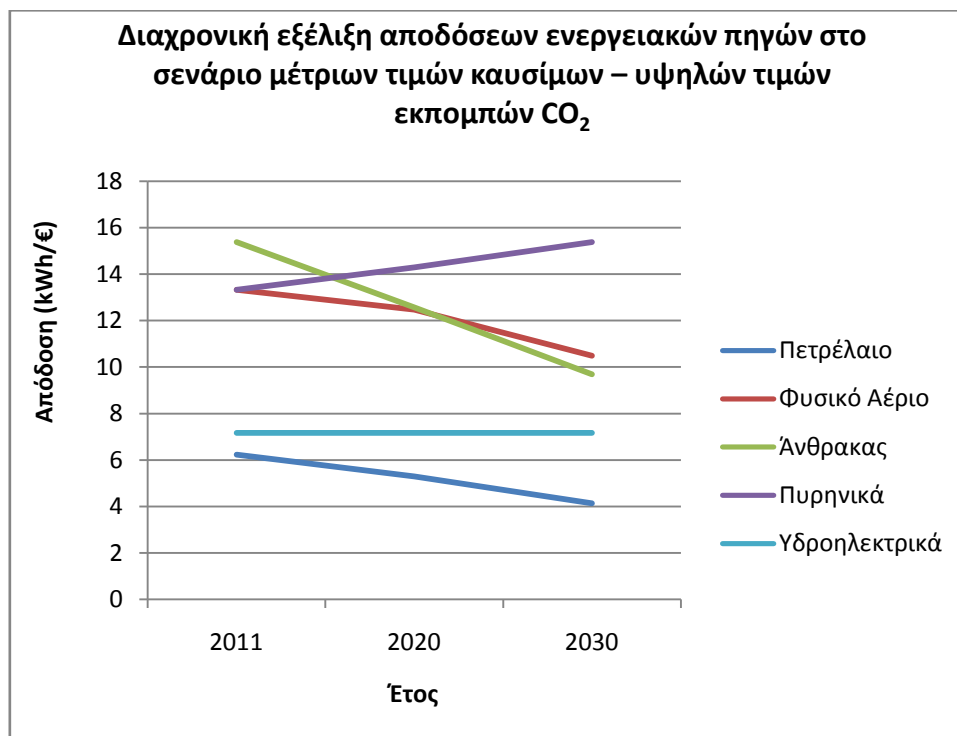
διαχρονική εξέλιξη των αποδόσεων για τα έτη 2020 και 2030 ανά σενάριο μελέτης θα δούμε δομικές διαφορές συγκριτικά με την κατάταξη των αποδόσεων για το έτος 2011. Ακολουθώς επισυνάπτουμε 4 γραφήματα, ένα για κάθε εξεταζόμενο σενάριο, για να αποτυπώσουμε γραφικά την διαχρονική εξέλιξη των αποδόσεων ανά ενεργειακή πηγή.



Γράφημα 2.18 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα στο 1^ο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων και μέτριων τιμών εκπομπών παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη καθοδική τάση στην απόδοση παρουσιάζει ο άνθρακας για τα έτη 2020 και 2030 ενώ παρόμοια τάση παρουσιάζουν το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Το 2020 πλέον τα πυρηνικά αποτελούν την πιο αποδοτική ενεργειακή πηγή με αισθητή διαφορά συγκριτικά με τις υπόλοιπες το 2030. Στο συγκριμένο σενάριο ωστόσο ο άνθρακας αν και παρουσιάζει την μεγαλύτερη πτωτική τάση παραμένει μέχρι και το 2030 η δεύτερη κατά σειρά πιο αποδοτική ενεργειακή πηγή. Τέλος, τα υδροηλεκτρικά δεν φαίνεται να παρουσιάζουν καμία μεταβολή στην απόδοση τους μέχρι και το 2030 αλλά είναι φανερή η

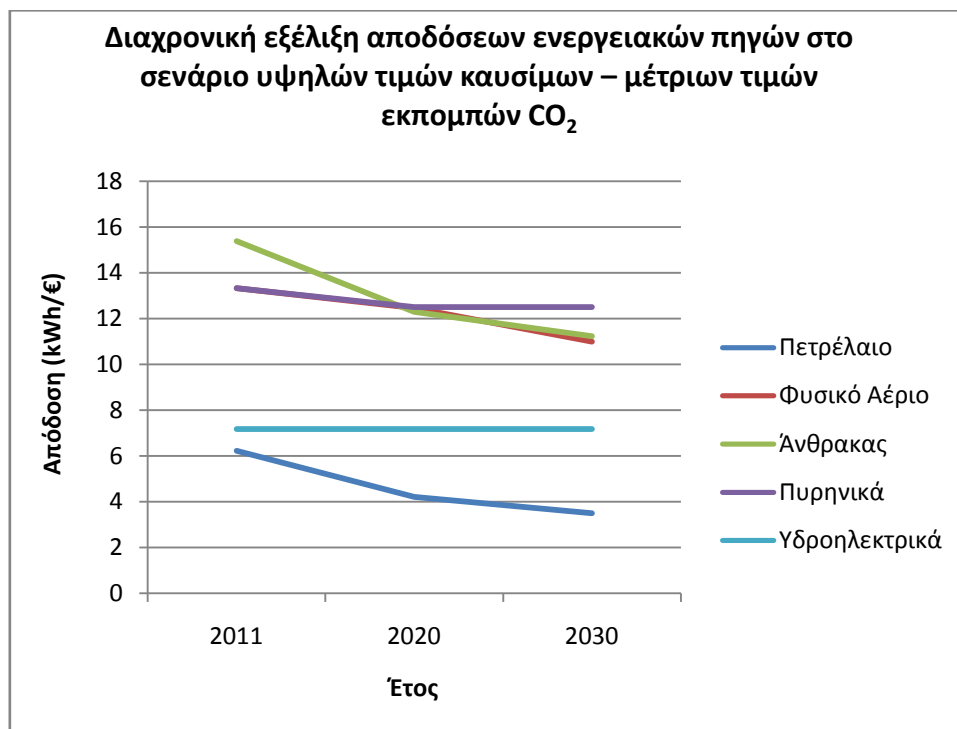
διαχρονική μείωση της διαφοράς μεταξύ των τιμών των αποδόσεων του άνθρακα και του φυσικού αερίου.



Γράφημα 2.19 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

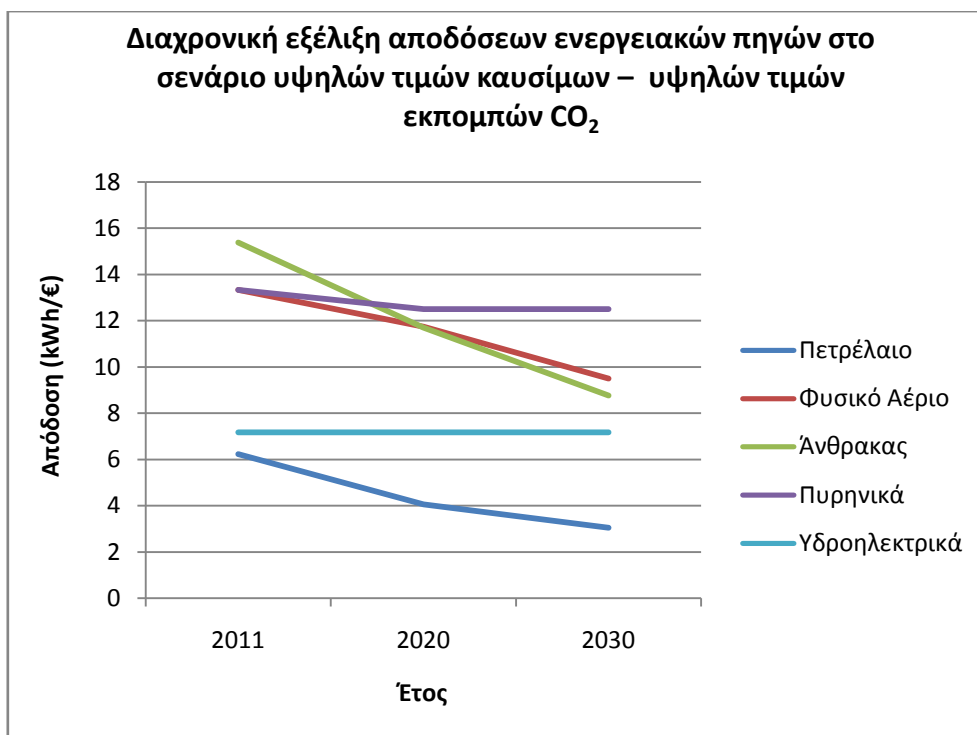
Στο 2^ο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων και υψηλών τιμών εκπομπών παρατηρούμε ότι ο άνθρακας παρουσιάζει περαιτέρω μείωση στην απόδοση του και παρόμοιες πτωτικές τάσεις ακολουθεί το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Η πυρηνική τεχνολογία συνεχίζει και παρουσιάζει ανοδικές τάσεις στην απόδοση της καθώς δεν επηρεάζεται από την αύξηση των τιμών εκπομπών CO₂ και η διαφορά μεταξύ του πιο αποδοτικού πλέον καυσίμου (πυρηνικά) και των υπόλοιπων ενεργειακών πηγών μεγαλώνει. Τα υδροηλεκτρικά δεν επηρεάζονται από την αύξηση των τιμών εκπομπών και συνεχίζουν και κρατάνε σταθερή την απόδοσή τους μέχρι και το 2030 ενώ η ψαλίδα μεταξύ των αποδόσεων τους και των αποδόσεων του άνθρακα και του φυσικού αερίου μειώνεται παραπάνω. Τέλος, παρατηρούμε ότι στο σενάριο αυτό, η αύξηση

των τιμών εκπομπών επηρεάζει περισσότερο τον άνθρακα που το 2030 καταλαμβάνει την 3^η κατά σειρά θέση στην απόδοση μετά τα πυρηνικά και το φυσικό αέριο.



Γράφημα 2.20 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

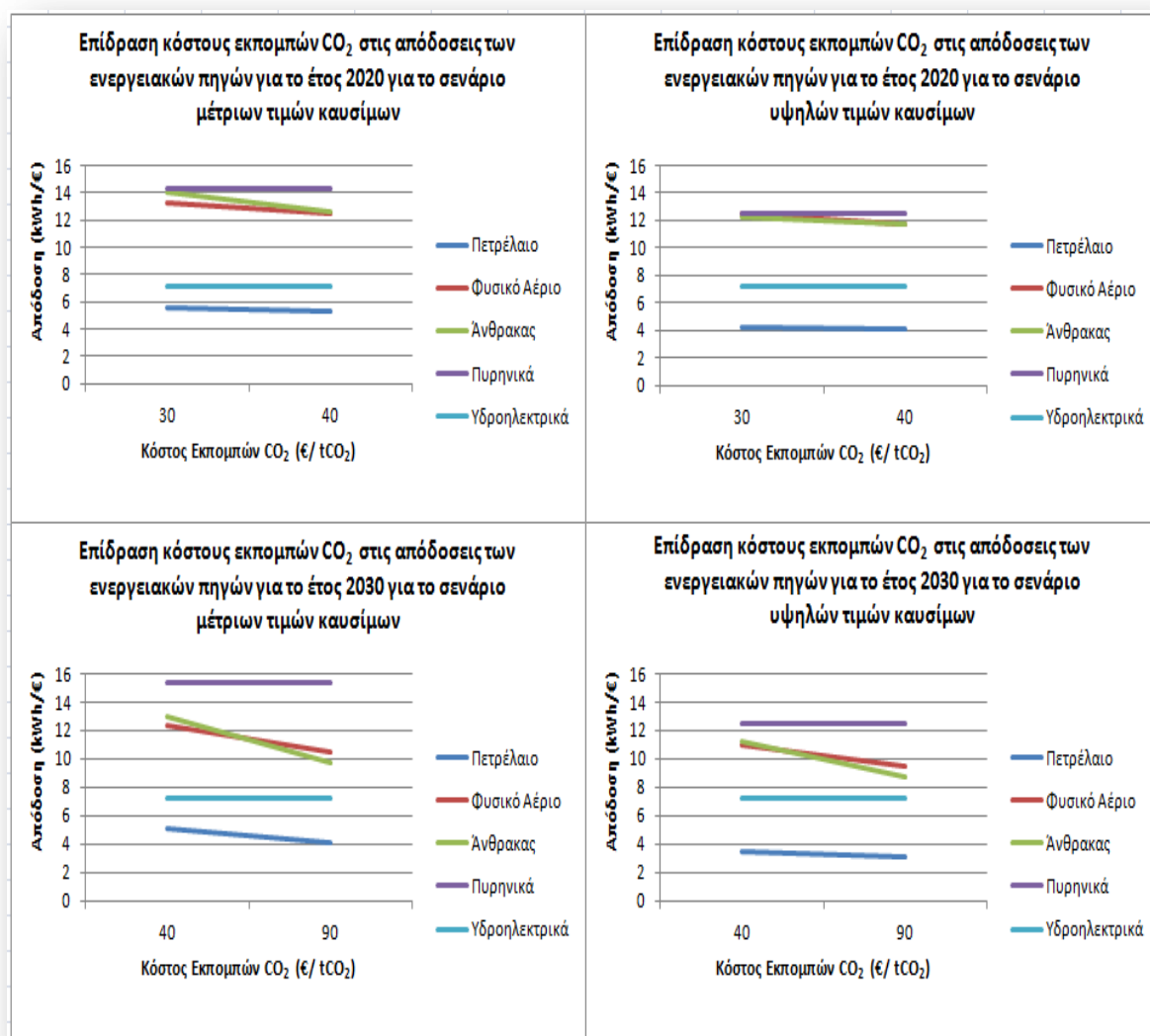
Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα, στο 3^ο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων και μέτριων τιμών εκπομπών παρατηρούμε ότι οι ενεργειακές τεχνολογίες άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζουν περαιτέρω μείωση συγκριτικά με το 1^ο σενάριο ενώ ακόμα και η απόδοση της ενεργειακής τεχνολογίας των πυρηνικών δεν παραμένει ανεπηρέαστη από την αύξηση των τιμών των καυσίμων. Τα υδροηλεκτρικά είναι η μόνη τεχνολογία που δεν επηρεάζεται από την αύξηση των τιμών των καυσίμων και συνεχίζει και διατηρεί σταθερή την απόδοσή της. Τα πυρηνικά συνεχίζουν και παραμένουν η πιο αποδοτική τεχνολογία για τα έτη 2020 και 2030.



Γράφημα 2.21 Διαχρονική εξέλιξη αποδόσεων ενεργειακών πηγών στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Στο τελευταίο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων και υψηλών τιμών εκπομπών, οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζουν ακόμα περισσότερη μείωση στις αποδόσεις τους συγκριτικά με τα υπόλοιπα τρία προς μελέτη σενάρια καθότι οι αποδόσεις τους τώρα επηρεάζονται τόσο από την αύξηση των τιμών καυσίμων όσο και από την αύξηση των τιμών εκπομπών. Η πυρηνική τεχνολογία συνεχίζει και επηρεάζεται μόνο από την αύξηση των τιμών καυσίμων αλλά παραμένει σταθερά η πιο αποδοτική τεχνολογία για τα έτη 2020 και 2030. Η μόνη τεχνολογία που δεν επηρεάζεται σε αυτό το σενάριο, ούτε από την αύξηση τιμών καυσίμων ούτε από την αύξηση τιμών εκπομπών είναι τα υδροηλεκτρικά. Συγκεκριμένα για το 2030, η απόδοση των υδροηλεκτρικών, αν και δεν έχει υποστεί καμία απολύτως μεταβολή, δεν διαφέρει πολύ από τις αποδόσεις του φυσικού αερίου (2^ο σε κατάταξη απόδοσης το 2030) ούτε του άνθρακα (3^ο σε κατάταξη απόδοσης το 2030), ενώ η διαφορά της απόδοσής τους από το πετρέλαιο πλέον είναι θεαματική.

Στο σημείο αυτό θα είχε ενδιαφέρον να δούμε το πως επηρεάζει η αύξηση των τιμών εκπομπών CO₂ την απόδοση των ενεργειακών πηγών στα έτη 2020 και 2030 για τις δυο περιπτώσεις μέτριων και υψηλών τιμών καυσίμων. Ακολούθως επισυνάπτεται εικόνα με τα 4 σχετικά γραφήματα



Γράφημα 2.22 Επίδραση του κόστους εκπομπών CO₂ στις αποδόσεις των ενεργειακών πηγών για τα έτη 2020 και 2030 για τις περιπτώσεις μέτριων και υψηλών τιμών καυσίμων.

Από τα παραπάνω 4 γραφήματα παρατηρούμε καταρχήν ότι οι μόνες τεχνολογίες που επηρεάζονται από την αύξηση των τιμών εκπομπής CO₂ είναι οι συμβατικές τεχνολογίες άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου. Οι τεχνολογίες των πυρηνικών

και των υδροηλεκτρικών παραμένουν αμετάβλητες σε όλα τα γραφήματα. Για το έτος 2020, παρατηρούμε μια μικρότερη μεταβολή στις τιμές των αποδόσεων των συμβατικών τεχνολογιών που αναφέραμε καθώς τόσο οι τιμές εκπομπών όσο και το εύρος τους είναι μικρότερες συγκριτικά με το 2030. Ωστόσο είναι ευδιάκριτο ότι κυρίως οι τεχνολογίες του άνθρακα κυρίως και αμέσως μετά του φυσικού αερίου επηρεάζονται περισσότερο από την αύξηση των κόστους εκπομπών. Στο έτος 2030, είναι περισσότερο ευδιάκριτη η επιρροή των τιμών εκπομπής στις αποδόσεις του άνθρακα κατά κύριο λόγο και του φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τα προς μελέτη σενάρια, το 2030 όπου το κόστος εκπομπής CO₂ λαμβάνει τις τιμές των 40 και 90 €/tnCO₂, η επιρροή του στην απόδοση ακόμα και του πετρελαίου είναι περισσότερο φανερή συγκριτικά με το 2020.

Συνοψίζοντας λοιπόν την ανάλυση της μεσο-μακροπρόθεσμης εξέλιξης των αποδόσεων για τις ενεργειακές τεχνολογίες των προς μελέτη καυσίμων, παρατηρούμε ότι όλες οι ενεργειακές τεχνολογίες επηρεάζονται από την αύξηση της τιμής των καυσίμων πλην των υδροηλεκτρικών ενώ η αύξηση του κόστους εκπομπών CO₂ επηρεάζει τις συμβατικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν κυρίως τον άνθρακα, και αφετέρου το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Είναι γεγονός αν επαληθευτούν είτε το 2^ο είτε το 4^ο σενάριο όπου συμπεριλαμβάνεται η περίπτωση υψηλού κόστους εκπομπών, ο άνθρακας όχι απλά παύει να είναι η πιο αποδοτική ενεργειακή τεχνολογία όπως αποτυπώνεται στο έτος 2011 αλλά μέχρι το 2030 θα αποτελεί το 3^ο κατά σειρά απόδοσης καύσιμο. Τόσο η αύξηση της τιμής του καυσίμου όσο και οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκαλούν οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα είναι η βασικές αιτίες της διαχρονικής μείωσης των αποδόσεών τους. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε τις συναλλαγές δικαιωμάτων εκπομπών [Καταλογισμένη ποσοτική μονάδα του Πρωτοκόλλου του Κιότο (AAU-Kyoto) και το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (European Union Emissions Trading Scheme)] και την υποχρέωση όλων των εταιριών ηλεκτρισμού και στις 4 σκανδιναβικές χώρες που εξετάζουμε, να αγοράζουν όλα τα δικαιώματα εκπομπών μέσω του EU ETS¹. Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής ζημίας

¹ Το σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU ETS) αποτελεί το μεγαλύτερο πολυεθνικό σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών παγκοσμίως και συνιστά ένα θεμελιώδη πυλώνα της κλιματικής πολιτικής της ΕΕ. Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας, οι σημαντικότερες ρυπογόνες βιομηχανίες διοξειδίου του άνθρακα της ΕΕ οφείλουν να παρακολουθούν και να συντάσσουν ετήσια αναφορά των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που παράγουν, όπως επίσης έχουν την ετήσια υποχρέωση να αποσύρουν στην κυβέρνηση την ποσότητα των δικαιωμάτων/πιστώσεων εκπομπών που αντιστοιχεί

που προκαλούν οι ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες άνθρακα είναι η ενσωμάτωση τεχνολογιών CCS. Ωστόσο οι εν λόγω τεχνολογίες παρουσιάζουν σημαντικά μεγάλο κόστος όπως καταγράφηκε από τα αποτελέσματα της υπολογιστικής πλατφόρμας και ίσως πρέπει να περάσουν αρκετά χρόνια ακόμα για να μπορέσουν να ανταγωνιστούν τις υπόλοιπες. Όσον αφορά τις πυρηνικές ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, καταλαμβάνουν την θέση της αποδοτικότερης ενεργειακής τεχνολογίας και στα 4 σενάρια για τα έτη 2020 και 2030. Ωστόσο υπάρχουν κριτήρια πολιτικο-ηθικής φύσεως που αποτρέπουν την εξάπλωσή της και δεν θα πρέπει να ξεχνάμε τους στρατηγικούς περιορισμούς που έχει θέση η Σουηδία (μία εκ των δύο χωρών στο Σκανδιναβικό σύμπλεγμα που χρησιμοποιεί πυρηνικά) όσον αφορά νέες ενεργειακές επενδύσεις στην πυρηνική ενέργεια.

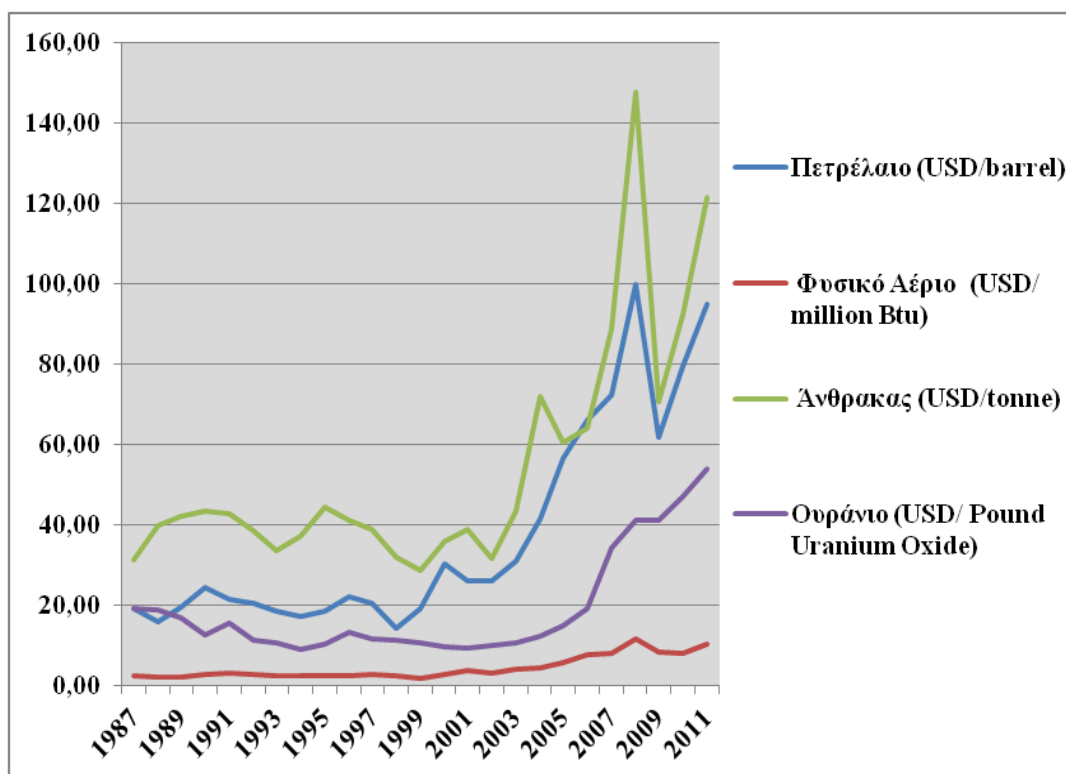
2.3.4 Προσδιορισμός του κινδύνου-ρίσκου των ενεργειακών τεχνολογιών

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή του δευτέρου μέρους της μελέτης μας, το ρίσκο των οικονομικών αξιόγραφων ορίζεται ως η τυπική απόκλιση ή η διακύμανση της αναμενόμενης απόδοσης τους. Για την περίπτωση του ενεργειακού σχεδιασμού στην μελέτη μας, επικεντρωνόμαστε στην παράμετρο του κόστους καυσίμου και στον κίνδυνο που εισάγεται εξαιτίας της διαχρονικής αυξομείωσης των τιμών τους και χρησιμοποιούμε την τυπική απόκλιση των τιμών καυσίμων των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών σαν μέτρο για τον υπολογισμό του ρίσκου της κάθε ενεργειακής πηγής. Η αυξομείωση των τιμών των καυσίμων εισάγει στο πρόβλημα μας ένα είδος συστηματικού κινδύνου καθότι συνδέεται με τις κινήσεις της συνολικής αγοράς και δεν μπορεί να εξαλειφθεί με τη διαφοροποίηση του χαρτοφυλακίου. Απώτερος στόχος μας για την εξαγωγή αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων, είναι η διαχείριση αυτού του κινδύνου μέσω της όσο το δυνατόν περισσότερο εφικτής μείωσής του.

στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα εκείνου του έτους. Το επίπεδο συμμόρφωσης των εταιρειών με τους κανόνες του EU ETS είναι πολύ υψηλό. Η τρίτη περίοδος εμπορίας στο πλαίσιο του εν λόγω συστήματος άρχισε την 1η Ιανουαρίου 2013 και θα έχει διάρκεια οκτώ ετών μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου 2020. Εκτός από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Νορβηγία και η Ισλανδία έχουν ήδη προσχωρήσει στην σύμβαση.

Επιπροσθέτως, η συσχετισμένη μεταβολή των τιμών των ενεργειακών πηγών που εκφράζεται μέσω των διαφόρων συντελεστών συσχέτισης μεταξύ τους είναι απαραίτητη προκειμένου να εξάγουμε τον συνολικό κίνδυνο-ρίσκο για κάθε ενεργειακό χαρτοφυλάκιο.

Έτσι λοιπόν θα προσδιορίσουμε τα στατιστικά μεγέθη της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή συσχέτισης για τις ενεργειακές πηγές : Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο, Άνθρακας και Ουράνιο που χρησιμοποιούν οι τέσσερις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες. Τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των εν λόγω στατιστικών μεγεθών για το Πετρέλαιο, το Φυσικό Αέριο και τον Άνθρακα αντλήθηκαν από την ετήσια μελέτη της εταιρείας BP (Statistical Review of World Energy – June 2013). Επιλέξαμε να πάρουμε ετήσια δεδομένα για 25 χρόνια (από το 1987 έως και το 2011) καθώς στο συγκεκριμένο εύρος ετών υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα και για τα τρία καύσιμα στη περιοχή της Βόρειας Ευρώπης. Συγκεκριμένα, οι χρονοσειρές που επιλέχτηκαν, αφορούν στις τιμές του αργού πετρελαίου, με βάση τον δείκτη West Texas Intermediate σε δολάρια ανά βαρέλι (\$/bbl), του φυσικού αερίου για την Βόρεια Ευρώπη σε δολάρια ανά εκατομμύριο Btu (US dollars per million Btu) και του άνθρακα για τη βορειοδυτική Ευρώπη σε δολάρια ανά τόνο (US dollars per tonne). Για τις χρονοσειρές του ουρανίου χρησιμοποιήσαμε τη βάση δεδομένων της αμερικάνικης ενεργειακής αρχής (Energy Information Administration), παίρνοντας πάλι ετήσια δεδομένα από το 1987 έως και το 2011 σε δολάρια ανά λίβρα ουρανίου(οξειδίου του ουρανίου) (Dollars per Pound Uranium Oxide). Οι τιμές των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν είναι ετήσιες και αναφέρονται σε μέση ετήσια τιμή (average price). Τέλος, οι εν λόγω τιμές είναι πραγματικές και όχι ονομαστικές, που σημαίνει ότι έχουν αποπληθωριστεί και έχουν αναχθεί με έτος βάσης το 2011. Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό γράφημα όπου αναπαρίσταται η μεταβολή των τιμών των καυσίμων του αργού πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του άνθρακα και του ουρανίου στο χρονικό εύρος 1987 – 2011.



Γράφημα 2.23 Διαχρονική Εξέλιξη Τιμών Καυσίμων (1987– 2011)

Αναλύοντας το παραπάνω γράφημα, γίνεται αντιληπτό ότι από το 1987 έως και το 2011 ο άνθρακας μαζί με το πετρέλαιο παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και έχουν την μεγαλύτερη άνοδο τα τελευταία 9 χρόνια με μέγιστη τιμή το έτος 2008. Εν συνεχεία, οι τιμές και των δύο ενεργειακών πηγών μειώνεται απότομα το 2009 και εμφανίζει έκτοτε άνοδο. Το φυσικό αέριο μεταβάλλεται με πιο σταθερό ρυθμό μέχρι το 1999 και από κει και πέρα παρατηρούμε άνοδο στις τιμές του η οποία και κλιμακώνεται το 2008. Τέλος η τιμή του ουρανίου από το 1997 έως και το 2005 παρουσιάζει μια σχετική σταθερότητα και από τότε αυξάνεται σταδιακά μέχρι και το 2011 χωρίς να παρουσιάζει την σημαντική μείωση τιμών που παρουσιάζουν τα υπόλοιπα καύσιμα το 2009. Παρατηρούμε λοιπόν ότι τα τελευταία χρόνια οι τιμές των ενεργειακών πηγών που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροπαραγωγή εμφανίζουν ραγδαία και σημαντική άνοδο δημιουργώντας καθεστώς αβεβαιότητας στην χάραξη ενεργειακών πολιτικών και δικαιολογώντας πλήρως την στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όπου δεν συμπεριλαμβάνουν τον συστηματικό κίνδυνο της αυξομείωσης των τιμών των καυσίμων.

Οι χρονοσειρές των τιμών καυσίμων που συλλέξαμε αναφέρονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Ως εκ τούτου δεν θα ήταν σωστό να συγκρίνουμε τις τιμές διαφορετικών ενεργειακών πηγών μεταξύ τους, αλλά ούτε και να επιχειρήσουμε τον προσδιορισμό των στατιστικών μεγεθών της τυπικής απόκλισης και των συντελεστών συσχέτισης καθότι θα προέκυπταν μη συγκρίσιμες και εσφαλμένες τιμές. Για παράδειγμα η τυπική απόκλιση για τον άνθρακα ή το πετρέλαιο θα ήταν πολύ μεγαλύτερη σε αυτή την περίπτωση συγκριτικά με το φυσικό αέριο (ακόμα και με το ουράνιο) μόνο και μόνο εξαιτίας του υψηλότερου επιπέδου τιμών του άνθρακα και του πετρελαίου.

Για να μπορέσουμε να λύσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα, θα υπολογίσουμε το ρίσκο κάνοντας χρήση της τυπικής απόκλισης της Απόδοσης Περιόδου Διακράτησης (Holding Period Return, HPR) των τιμών των ενεργειακών πηγών, ώστε τα αποτελέσματά μας να δύναται να συγκριθούν μεταξύ τους και να δοθεί έμφαση στην ποσοστιαία μεταβολή των τιμών καυσίμων. Έτσι λοιπόν, η Απόδοση Περιόδου Διακράτησης (HPR) εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή ενός μεγέθους σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και η σχέση υπολογισμού της είναι [Shimon Awerbuch, Spencer Yang, 2007) :

$$\text{Holding Period Return} = \frac{\text{Ending_Value}_t - \text{Beginning_Value}_t}{\text{Beginning_Value}_t}$$

όπου :

Ending_Value t = η τελική τιμή καυσίμου στο τέλος της χρονικής περιόδου t

Beginning_Value t = η αρχική τιμή καυσίμου στην αρχή της χρονικής περιόδου t

Έτσι λοιπόν δημιουργούμε τέσσερις νέες χρονοσειρές των Αποδόσεων Περιόδου Διακράτησης για κάθε ένα από τα καύσιμα που χρησιμοποιούν οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες, οι οποίες μας δείχνουν τις ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών των καυσίμων. Κάθε μια από τις καινούργιες χρονοσειρές περιλαμβάνει σε πλήθος 24 στοιχεία, δηλαδή ένα στοιχείο λιγότερο από εκείνες που είχαμε συλλέξει. Για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των χρονοσειρών των Αποδόσεων Περιόδου Διακράτησης, δηλαδή του μέτρου της διασποράς των τιμών σε σχέση με την τιμή του

μέσου όρου (αριθμητικού μέσου), έγινε χρήση της συνάρτησης του Microsoft Office Excel, STDEV που χρησιμοποιεί τον τύπο:

$$STDEV = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

όπου: \bar{x} η μέση τιμή AVERAGE(number1,number2,...)

και n : το μέγεθος δείγματος.

Για τον υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών των Αποδόσεων Περιόδου Διακράτησης, έγινε χρήση της συνάρτησης του Microsoft Office Excel, CORREL που χρησιμοποιεί τον τύπο :

$$CORREL(X.Y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

όπου: \bar{x}, \bar{y} : οι μέσες τιμές δείγματος AVERAGE(πίνακας1) και AVERAGE(πίνακας2)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Ενεργειακές Πηγές	Συντελεστές Συσχέτισης				Τυπική Απόκλιση (Κίνδυνος)
	Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Ουράνιο	
Πετρέλαιο	1	0,58	0,53	0,18	0,24
Φυσικό Αέριο	0,58	1	0,44	0,17	0,23
Άνθρακας	0,53	0,44	1	0,35	0,28
Ουράνιο	0,18	0,17	0,35	1	0,22

Πίνακας 2.11 Τυπική απόκλιση και συντελεστές συσχέτισης ενεργειακών πηγών

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγουμε το συμπέρασμα ότι οι τυπικές αποκλίσεις των ενεργειακών πηγών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η ενεργειακή πηγή με τη μικρότερη μεταβλητότητα στη τιμή της είναι το ουράνιο. Δηλαδή το ουράνιο εμφανίζει τον μικρότερο κίνδυνο - ρίσκο σε σχέση με τις υπόλοιπες ενεργειακές πηγές. Αμέσως μετά από το ουράνιο, το φυσικό αέριο εμφανίζει το μικρότερο ρίσκο ενώ οι ενεργειακές πηγές με τον περισσότερο κίνδυνο είναι ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης. Όλες οι ενεργειακές πηγές είναι θετικά συσχετισμένες μεταξύ τους και την μεγαλύτερη συσχέτιση παρουσιάζει το πετρέλαιο με το φυσικό αέριο. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο καθότι αυτές οι 2 ενεργειακές πηγές υποκαθιστούν η μία την άλλη. Επιπροσθέτως ο άνθρακας παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση τόσο με το πετρέλαιο όσο και με το φυσικό αέριο. Τέλος, το ουράνιο εμφανίζει τους μικρότερους συντελεστές συσχέτισης συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες ενεργειακές πηγές.

2.4 Προσδιορισμός αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων και αποτελεσματικών μετώπων σε περιβάλλον Microsoft Office Excel

2.4.1 Εισαγωγή

Στις δύο προηγούμενες ενότητες προσδιορίσαμε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την εφαρμογή του υποδείγματος. Συγκεκριμένα υπολογίσαμε τις αναμενόμενες ενεργειακές αποδόσεις τόσο για τις τέσσερις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακα και πυρηνικά, όσο και για τις ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες που στην μελέτη μας αντιπροσωπεύονται μόνο από τα υδροηλεκτρικά. Ακολούθως έγινε ο προσδιορισμός του κινδύνου-ρίσκου για κάθε ενεργειακή πηγή που χρησιμοποιούν οι εν λόγω τεχνολογίες με την μορφή του κόστους καυσίμου και παραθέσαμε τον πίνακα με τις τυπικές αποκλίσεις και τους συντελεστές συσχέτισης των τιμών των ενεργειακών πηγών. Είμαστε, πλέον σε θέση να προχωρήσουμε στην εύρεση του αποτελεσματικού μετώπου (ή αλλιώς αποδοτικού συνόρου), πάνω στο οποίο βρίσκονται οι βέλτιστοι συνδυασμοί αναμενόμενης

απόδοσης - κινδύνου των ενεργειακών πηγών που απαρτίζουν τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια, για τα οποία δεν υφίσταται άλλο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο με ίδιο κίνδυνο και μεγαλύτερη απόδοση, ή με την ίδια απόδοση και μικρότερο κίνδυνο.

Ο προσδιορισμός του αποτελεσματικού μετώπου πραγματοποιείται με την λύση ενός προβλήματος μαθηματικού προγραμματισμού. Οπότε χρειαζόμαστε κάποιες μεταβλητές απόφασης, μια αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς που θα ικανοποιούν οι εν λόγω μεταβλητές απόφασης. Στο πρόβλημα μας, οι μεταβλητές απόφασης X_i θα είναι το ποσοστό συμμετοχής της i ενεργειακής πηγής στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο και η αντικειμενική συνάρτηση s_p θα είναι ο κίνδυνος-ρίσκο (τυπική απόκλιση) του ενεργειακού χαρτοφυλακίου. Σκοπός μας, λοιπόν, για την εύρεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων που απαρτίζουν το αποτελεσματικό μέτωπο, θα είναι η ελαχιστοποίηση της συγκεκριμένης αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε δεδομένο επίπεδο απόδοσης χαρτοφυλακίου E_p .

Για την εύρεση του αποτελεσματικού μετώπου έγινε χρήση της εφαρμογής Solver σε περιβάλλον Microsoft Office Excel. Το πρόσθετο Solver, το οποίο εισήχθη από τη Microsoft το 1991, είναι μια εφαρμογή βελτιστοποίησης, μέσω της οποίας έχουμε την δυνατότητα να βρούμε τις τιμές ορισμένων κελιών που βελτιστοποιούν (μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν) έναν ορισμένο αντικειμενικό σκοπό. Ένα μοντέλο βελτιστοποίησης στην εν λόγω εφαρμογή, έχει τρία μέρη: το κελί προορισμού, τα κελιά αλλαγών και τους περιορισμούς. Το κελί προορισμού αναπαριστά τον αντικειμενικό σκοπό ή στόχο και θέλουμε να το ελαχιστοποιήσουμε ή να το μεγιστοποιήσουμε. Τα κελιά αλλαγών είναι τα κελιά του υπολογιστικού φύλλου που μπορούμε να αλλάξουμε ή να προσαρμόσουμε ώστε να βελτιστοποιήσουμε το κελί προορισμού. Τέλος οι περιορισμοί εφαρμόζονται στα κελιά αλλαγών.

2.4.2 Μεθοδολογία προσδιορισμού αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών ενεργειακών πηγών

Αρχικά, θα προσδιορίσουμε το αποτελεσματικό μέτωπο των ενεργειακών πηγών που χρησιμοποιούνται μόνο από τις τέσσερις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο, Άνθρακα και Πυρηνικά). Συγκεκριμένα, ορίζουμε την

αναμενόμενη απόδοση E_i και την τυπική απόκλιση σ_i για την i ($i=1,2,3,4$) συμβατική ενεργειακή πηγή, τους συντελεστές συσχέτισης ρ_{ij} της i με την j συμβατική ενεργειακή πηγή και την μεταβλητή X_i που αποτελεί το ποσοστό συμμετοχής της i συμβατικής ενεργειακής πηγής στο χαρτοφυλάκιο. Επιπροσθέτως, ορίζουμε E_p και σ_p την αναμενόμενη απόδοση και την τυπική απόκλιση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου αντιστοίχως. Ορίζουμε, λοιπόν το ακόλουθο πρόβλημα ελαχιστοποίησης υπό περιορισμούς:

Αντικειμενική συνάρτηση :

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^4 X_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^4 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^4 X_i X_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}} = \min$$

Περιορισμοί:

- ✓ Στα πλαίσια του πρώτου σκέλους της ρύθμισης των ποσοστών επένδυσης, πρέπει οποιοδήποτε ποσοστό συμμετοχής της συμβατικής ενεργειακής πηγής i (μεταβλητή απόφασης) στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 0%. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα διατήρησης αρνητικών ποσοστών επένδυσης σε κάποιο ενεργειακό αξιόγραφο (Απαγόρευση ανοικτών πωλήσεων)

$$X_i \geq 0\%$$

- ✓ Στα πλαίσια του δεύτερου σκέλους της ρύθμισης των ποσοστών επένδυσης, πρέπει οποιοδήποτε ποσοστό συμμετοχής της συμβατικής ενεργειακής πηγής i (μεταβλητή απόφασης) στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο να είναι μικρότερο ή ίσο του 100%.

$$X_i \leq 100\%$$

- ✓ Περιορισμός Πληρότητας : Το άθροισμα των ποσοστών των συμβατικών ενεργειακών πηγών (μεταβλητών απόφασης) στο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο πρέπει να είναι ίσο με 100%.

$$\sum_{i=1}^4 X_i = 100\%$$

- ✓ Θέτουμε την αναμενόμενη απόδοση του ενεργειακού χαρτοφυλακίου ίση με ένα επιθυμητό επίπεδο απόδοσης R.

$$E_p = \sum_{i=1}^4 X_i E_i = R$$

Στην περίπτωση όπου στις συμβατικές τεχνολογίες δεν συμπεριλαμβάνονται τα πυρηνικά, τα μεγέθη E_i , σ_i , ρ_{ij} , X_i , E_p , σ_p ορίζονται ομοίως για (i=1,2,3) (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο και Άνθρακα) και το πρόβλημα καταστρώνεται με τον ίδιο τρόπο.

Έχοντας καταστρώσει το παραπάνω πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα, μέσω της εφαρμογής Solver, για τον προσδιορισμό των αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων που συγκροτούν το αποτελεσματικό μέτωπο συμβατικών ενεργειακών πηγών.

- ✓ Αρχικά προσδιορίζουμε το κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το χαρτοφυλάκιο συμβατικών ενεργειακών πηγών με το ελάχιστο ρίσκο. Απαιτούμε την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπική απόκλιση σ_p) του κελιού προορισμού χωρίς όμως να θέτουμε κάποιον περιορισμό για την αναμενόμενη απόδοση E_p . Θέτουμε τους υπόλοιπους περιορισμούς του προβλήματος κανονικά. Δηλαδή τα ποσοστά συμμετοχής της συμβατικής ενεργειακής πηγής i πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή ίσα του 0%, μικρότερα ή ίσα του 100% και το άθροισμά τους στο χαρτοφυλάκιο να ισούται με 100%.

- ✓ Προσδιορίζουμε το άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το χαρτοφυλάκιο συμβατικών ενεργειακών πηγών με τη μέγιστη δυνατή απόδοση. Απαιτούμε την μεγιστοποίηση της αναμενόμενης απόδοσης του χαρτοφυλακίου E_p (κελί προορισμού) χωρίς όμως να θέτουμε κάποιον περιορισμό για την τυπική απόκλιση σ_p . Θέτουμε τους υπόλοιπους περιορισμούς του προβλήματος για τις μεταβλητές απόφασης κανονικά. Η ενεργειακή πηγή που έχει την μεγαλύτερη απόδοση συμμετέχει σε ποσοστό 100% στο συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο.
- ✓ Στην παρούσα μελέτη αποφασίζουμε ότι το αποτελεσματικό μέτωπο θα αποτελείται από 100 αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Το βήμα, σύμφωνα με το οποίο θα αυξάνεται κάθε φορά το επιθυμητό επίπεδο απόδοσης R για το οποίο θα ελαχιστοποιείται εκ νέου η αντικειμενική συνάρτηση της τυπικής απόκλισης για την κατασκευή καθενός από τα 100 αποδοτικά χαρτοφυλάκια, δίνεται από την σχέση :

$$\beta\acute{\eta}\mu\alpha = \frac{E_p^{max} - E_p^{\sigma min}}{100}$$

όπου:

E_p^{max} : η απόδοση του χαρτοφυλακίου με την μέγιστη δυνατή απόδοση (άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου)

$E_p^{\sigma min}$: η απόδοση του χαρτοφυλακίου με το ελάχιστο ρίσκο (κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου)

- ✓ Όπως καταλαβαίνουμε είναι εξαιρετικά χρονοβόρο να τρέξουμε 100 φορές χειροκίνητα την εφαρμογή Solver για την εξαγωγή ενός μόνο αποτελεσματικού μετώπου. Έτσι λοιπόν θελήσαμε να αυτοματοποιήσουμε την διαδικασία επίλυσης μέσω ενός βρόχου μακροεντολής της Microsoft Visual Basic η οποία θα καλεί κάθε φορά την εφαρμογή Solver και θα απαιτεί την

ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπική απόκλιση) εισάγοντας τις μεταβλητές απόφασης και τους αντίστοιχους περιορισμούς. Έχοντας δεδομένο το βήμα αύξησης του επιθυμητού επιπέδου απόδοσης R, θα απαιτείται εκ νέου ελαχιστοποίηση της τυπικής απόκλισης για δεδομένο επίπεδο απόδοσης και θα ορίζονται οι περιορισμοί το ποσοστών συμμετοχής X_i να είναι μεγαλύτερα ή ίσα του 0%, μικρότερα ή ίσα του 100% και το άθροισμά τους στο χαρτοφυλάκιο να ισούται με 100%. Έτσι θα προκύπτει κάθε ένα από τα αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Ο κώδικας της μακροεντολής παρατίθεται αμέσως ακολούθως :

```
Sub Symvatikes_Technologies_me_pyrinika()
Dim i As Integer
For i = 2 To 102
SolverReset
SolverOk SetCell:="$G$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$D$" & i
SolverAdd CellRef:="$A$" & i & ":$D$" & i, Relation:=1, FormulaText:="100%"
SolverOk SetCell:="$G$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$D$" & i
SolverAdd CellRef:="$A$" & i & ":$D$" & i, Relation:=3, FormulaText:="0%"
SolverOk SetCell:="$G$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$D$" & i
SolverAdd CellRef:="$E$" & i, Relation:=2, FormulaText:="100%"
SolverOk SetCell:="$G$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$D$" & i
SolverAdd CellRef:="$F$" & i, Relation:=2, FormulaText:="$H$" & i
SolverOk SetCell:="$G$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$D$" & i
SolverSolve userFinish:=True
Next i
End Sub
```

Συνοπτικά αναφέρουμε ότι τα κελια A_i , B_i , C_i , D_i ($i = 2$ έως 102) αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά συμμετοχής των συμβατικών ενεργειακών πηγών στο i αποδοτικό χαρτοφυλάκιο, το κελί E_i ισούται με το άθροισμα αυτών των ποσοστών συμμετοχής, το κελί F_i είναι η αναμενόμενη απόδοση του αποδοτικού χαρτοφυλακίου i που κάθε φορά απαιτούμε να λαμβάνει την τιμή ενός επιθυμητού επιπέδου απόδοσης R σύμφωνα με το βήμα, το κελί G_i είναι η τυπική απόκλιση του αποδοτικού χαρτοφυλακίου i που απαιτούμε κάθε φορά να ελαχιστοποιείται για δεδομένο E_p και το κελί H_i λαμβάνει τις

τιμές των επιθυμητών επιπέδων απόδοσης R και αυξάνεται σύμφωνα με το βήμα σε τιμές από E_p^{min} έως E_p^{max} . Στην περίπτωση προσδιορισμού του αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών πηγών που δεν συμπεριλαμβάνει την πυρηνική τεχνολογία, τα κελιά που αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές απόφασης είναι τα A_i, B_i, C_i ($i = 2$ έως 102).

Ακολουθώντας λοιπόν τα παραπάνω βήματα επίλυσης του προβλήματος μαθηματικού προγραμματισμού, προσδιορίζουμε τα 100 βέλτιστα ενεργειακά χαρτοφυλάκια αναμενόμενης απόδοσης-ρίσκου και σχεδιάζουμε το αντίστοιχο αποτελεσματικό μέτωπο των τεσσάρων συμβατικών ενεργειακών πηγών για τα έτη 2011, 2020 και 2030 για κάθε ένα από τα σενάρια που μελετάμε. Επειδή η Νορβηγία και η Δανία δεν χρησιμοποιούν την πυρηνική τεχνολογία στην ηλεκτροπαραγωγής τους, θα προσδιορίσουμε και τα αποτελεσματικά μέτωπα για τις τρεις συμβατικές ενεργειακές πηγές (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα) των αντιστοίχων ετών και σεναρίων.

2.4.3 Μεθοδολογία προσδιορισμού αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών και ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών

Εν συνεχεία, θα κατασκευάσουμε το αποτελεσματικό μέτωπο που αποτελείται από βέλτιστα χαρτοφυλάκια που συμπεριλαμβάνουν τόσο τις 4 συμβατικές ενεργειακές πηγές όσο και τις Α.Π.Ε. που στην μελέτη μας αντιπροσωπεύονται μόνο από υδροηλεκτρικά. Υπενθυμίζουμε ότι ο κίνδυνος – ρίσκο των συμβατικών πηγών είναι μη μηδενικός και ο υπολογισμός του στη μελέτη μας βασίστηκε στο κόστος καυσίμου ενώ οι Α.Π.Ε. αποτελούν ακίνδυνα ενεργειακά αξιόγραφα.

Η κατασκευή του αποτελεσματικού μετώπου στην περίπτωση αυτή βασίζεται στον προσδιορισμό του βέλτιστου χαρτοφυλακίου συμβατικών ενεργειακών πηγών (M). Όλα τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια που βρίσκονται κάτω από το χαρτοφυλάκιο M και αποτελούν μέρος του αποτελεσματικού μετώπου, συγκροτούνται κατά ένα ποσοστό από το χαρτοφυλάκιο M και κατά το υπόλοιπο ποσοστό από Α.Π.Ε. Όλα τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια που βρίσκονται πάνω από το χαρτοφυλάκιο M συγκροτούνται μόνο από συμβατικές ενεργειακές πηγές. Το τμήμα του αποτελεσματικού μετώπου που βρίσκεται πάνω από το (M) διατηρεί λοιπόν την ίδια

μορφή που είχε και πριν την εισαγωγή του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου (Α.Π.Ε.).

Για τον προσδιορισμό των αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων που συγκροτούν το νέο αποτελεσματικό μέτωπο συμβατικών πηγών και Α.Π.Ε., ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα μέσω της εφαρμογής Solver :

- ✓ Αρχικά προσδιορίζουμε το χαρτοφυλάκιο M. Το χαρτοφυλάκιο M ορίζεται ως το χαρτοφυλάκιο συμβατικών ενεργειακών πηγών στο οποίο εφάπτεται η ευθεία που διέρχεται από το χαρτοφυλάκιο που αποτελείται καθ'ολοκληρίαν από υδροηλεκτρικά, (ακίνδυνο ενεργειακό αξιόγραφο), με το αποτελεσματικό μέτωπο όπως αυτό ήταν πριν την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Αν η απόδοση του ακίνδυνου αξιόγραφου είναι r_f , E_p η αναμενόμενη απόδοση του χαρτοφυλακίου και σ_p η τυπική απόκλιση του χαρτοφυλακίου καταστρώνουμε και επιλύουμε το ακόλουθο πρόβλημα μεγιστοποίησης υπό περιορισμούς :

Αντικειμενική συνάρτηση :

$$\theta = \frac{E_p - r_f}{\sigma_p} = \max$$

Περιορισμοί: $X_i \geq 0\%$, $X_i \leq 100\%$, $\sum_{i=1}^4 X_i = 100\%$

Η λύση του παραπάνω προβλήματος είναι τα χαρακτηριστικά του χαρτοφυλακίου M, δηλαδή τα ποσοστά συμμετοχής των συμβατικών πηγών X_i , η αναμενόμενη απόδοση του E_p και η τυπική απόκλιση του σ_p .

- ✓ Προσδιορίζουμε το κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου. Αυτό αποτελείται κατά 100% από υδροηλεκτρικά και ενέχει μηδενικό ρίσκο. Η απόδοση του χαρτοφυλακίου ελαχίστου ρίσκου ισούται με την απόδοση του ακίνδυνου αξιόγραφου r_f των υδροηλεκτρικών.

- ✓ Προσδιορίζουμε το άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου, δηλαδή το χαρτοφυλάκιο με τη μέγιστη δυνατή απόδοση το οποίο και ταυτίζεται με το άνω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου των συμβατικών ενεργειακών πηγών. Η ενεργειακή πηγή που έχει την μεγαλύτερη απόδοση συμμετέχει σε ποσοστό 100% στο συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο.
- ✓ Στην παρούσα εργασία αποφασίζουμε ότι το τμήμα του αποτελεσματικού μετώπου που θα περιέχει συμβατικές και ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές και θα βρίσκεται κάτω από το χαρτοφυλάκιο M, θα αποτελείται από 40 αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Το βήμα, σύμφωνα με το οποίο θα αυξάνεται κάθε φορά το επιθυμητό επίπεδο απόδοσης R για το οποίο θα ελαχιστοποιείται εκ νέου η αντικειμενική συνάρτηση της τυπικής απόκλισης για την κατασκευή καθενός από τα 40 αποδοτικά χαρτοφυλάκια, δίνεται από την σχέση :

$$\text{βήμα} = \frac{E_p^{(M)} - r_f}{40}$$

όπου:

$E_p^{(M)}$: η απόδοση του χαρτοφυλακίου M

r_f : η απόδοση του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου (κάτω άκρο του αποτελεσματικού μετώπου)

- ✓ Αυτοματοποιούμε πάλι την διαδικασία επίλυσης μέσω ενός καινούργιου βρόχου μακροεντολής της Microsoft Visual Basic η οποία θα καλεί κάθε φορά την εφαρμογή Solver και θα απαιτεί την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπική απόκλιση) εισάγοντας τις μεταβλητές απόφασης και τους αντίστοιχους περιορισμούς. Έχοντας δεδομένο το βήμα αύξησης του R, θα απαιτείται εκ νέου ελαχιστοποίηση της τυπικής απόκλισης για δεδομένο επίπεδο απόδοσης και θα ορίζονται οι περιορισμοί το ποσοστών συμμετοχής X_i να είναι μεγαλύτερα ή ίσα του 0%, μικρότερα ή ίσα του 100% και το άθροισμά τους στο χαρτοφυλάκιο να ισούται με 100%. Έτσι θα προκύπτει

κάθε ένα από τα αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια. Ο κώδικας της μακροεντολής παρατίθεται αμέσως ακολούθως :

```

Sub Symvatikes_kai_ape_me_pyrinika( )
Dim i As Integer
For i = 2 To 42
SolverReset
SolverOk SetCell:="$H$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$E$" & i
SolverAdd CellRef:="$A$" & i & ":$E$" & i, Relation:=1, FormulaText:="100%"
SolverOk SetCell:="$H$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$E$" & i
SolverAdd CellRef:="$A$" & i & ":$E$" & i, Relation:=3, FormulaText:="0%"
SolverOk SetCell:="$H$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$E$" & i
SolverAdd CellRef:="$F$" & i, Relation:=2, FormulaText:="100%"
SolverOk SetCell:="$H$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$E$" & i
SolverAdd CellRef:="$G$" & i, Relation:=2, FormulaText:="$I$" & i
SolverOk SetCell:="$H$" & i, MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$A$" & i &
":$E$" & i
SolverSolve userFinish:=True
Next i
End Sub

```

Τα κελιά A_i , B_i , C_i , D_i , E_i ($i = 2$ έως 42) αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά συμμετοχής συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών στο i αποδοτικό χαρτοφυλάκιο, το κελί F_i ισούται με το άθροισμα αυτών των ποσοστών συμμετοχής, το κελί G_i είναι η αναμενόμενη απόδοση του αποδοτικού χαρτοφυλακίου (όπου σε αυτή την περίπτωση ισούται με $\sum_{i=1}^5 X_i E_i$ αφού συμμετέχει και το ακίνδυνο αξιόγραφο απόδοσης r_f) που κάθε φορά απαιτούμε να λαμβάνει την τιμή ενός επιθυμητού επιπέδου απόδοσης R σύμφωνα με το βήμα, το κελί H_i είναι η τυπική απόκλιση του αποδοτικού

χαρτοφυλακίου i που απαιτούμε κάθε φορά να ελαχιστοποιείται για δεδομένο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης, και το κελί I_i λαμβάνει τις τιμές των επιθυμητών επιπέδων απόδοσης R και αυξάνεται σύμφωνα με το βήμα σε τιμές από r_f έως $E_p^{(M)}$. Στην περίπτωση προσδιορισμού του συγκεκριμένου τμήματος του αποτελεσματικού μετώπου συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών που δεν συμπεριλαμβάνει την πυρηνική τεχνολογία, τα κελιά που αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές απόφασης είναι τα A_i , B_i , C_i , D_i ($i = 2$ έως 42) και ο κώδικας μετατρέπεται όπως στην προηγούμενη περίπτωση των συμβατικών ενεργειακών πηγών.

- ✓ Το τμήμα του αποτελεσματικού μετώπου που βρίσκεται πάνω από το χαρτοφυλάκιο M συμπληρώνεται με τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια συμβατικών ενεργειακών πηγών που βρέθηκαν πριν την εισαγωγή του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου.

Ακολουθώντας λοιπόν τα παραπάνω βήματα προσδιορίζουμε τον συνολικό αριθμό των ενεργειακών χαρτοφυλακίων αναμενόμενης απόδοσης-ρίσκου και σχεδιάζουμε το αντίστοιχο αποτελεσματικό μέτωπο των συμβατικών και ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών για τα έτη 2011, 2020 και 2030 για κάθε ένα από τα σενάρια που μελετάμε. Τέλος, θα προσδιορίσουμε και τα αποτελεσματικά μέτωπα για τις τρεις συμβατικές ενεργειακές πηγές (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα) και τις ανανεώσιμες των αντιστοίχων ετών και σεναρίων για τις χώρες που δεν χρησιμοποιούν πυρηνική τεχνολογία.

2.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Προτάσεις Αξιολόγησης του Ενεργειακού Σχεδιασμού των Σκανδιναβικών Χωρών

2.5.1 Εισαγωγή

Στις προηγούμενες ενότητες αναλύθηκε διεξοδικά τόσο ο τρόπος προσδιορισμού των αποδόσεων ανά ενεργειακή τεχνολογία και ενεργειακή πηγή μέσω της διαδικτυακής υπολογιστικής πλατφόρμας SETIS - Energy Calculator, όσο και ο τρόπος εύρεσης

των ρίσκου-κινδύνου των ενεργειακών πηγών συλλέγοντας χρονοσειρές τιμών καυσίμων από την ετήσια μελέτη της εταιρείας BP και της αμερικάνικης ενεργειακής αρχής EIA. Ακολούθως, έχοντας προσδιορίσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα, εφαρμόσαμε το μοντέλο μέσου-διακύμανσης χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Solver σε περιβάλλον Microsoft Office Excel. Πλέον είμαστε σε θέση να παρουσιάσουμε τα γραφήματα των αποτελεσματικών μετώπων και την σύνθεση των αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων στην περίπτωση των συμβατικών ενεργειακών πηγών και στην περίπτωση συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών.

Από την ανάλυση της ενεργειακής κατάστασης των Σκανδιναβικών χωρών και των πραγματικών ενεργειακών τους χαρτοφυλακίων, παρατηρούμε ότι η Σουηδία και η Φινλανδία χρησιμοποιούν την πυρηνική τεχνολογία στην ηλεκτροπαραγωγή τους ενώ η Νορβηγία και η Δανία όχι. Παράλληλα λοιπόν με την κατασκευή των αποτελεσματικών μετώπων που θα περιλαμβάνουν και τις 4 συμβατικές ενεργειακές πηγές (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο, Άνθρακας και Πυρηνικά), κατασκευάσαμε και τα αποτελεσματικά μέτωπα που αφορούν τις 3 συμβατικές πηγές (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο και Άνθρακας) χωρίς τα πυρηνικά. Ο διαχωρισμός αυτών των δύο περιπτώσεων έγινε προκειμένου να είναι εφικτή η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και των τεσσάρων χωρών του Σκανδιναβικού συμπλέγματος. Τέλος οι δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις αφορούν στα αποτελεσματικά μέτωπα πριν και μετά την εισαγωγή του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου των υδροηλεκτρικών.

Αρχικά λοιπόν θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα γραφήματα των αποτελεσματικών μετώπων και την σύνθεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (συμπεριλαμβανομένων ή μη των πυρηνικών). Έπειτα, για το έτος 2011, θα πραγματοποιήσουμε αξιολόγηση του υπάρχοντος ενεργειακού σχεδιασμού του Σκανδιναβικού συμπλέγματος εν τω συνόλω του αλλά και για καθεμία Σκανδιναβική χώρα ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, ο αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού της Δανίας θα πραγματοποιηθεί μόνο όσον αφορά στο πραγματικό της ενεργειακό χαρτοφυλάκιο συμβατικών πηγών ενέργειας καθότι είναι η μόνη χώρα στη Σκανδιναβία που δεν χρησιμοποιεί υδροηλεκτρικά.

Ακολούθως θα γίνει η παρουσίαση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τα έτη 2020 και 2030 για κάθε ένα από τα τέσσερα ακόλουθα σενάρια :

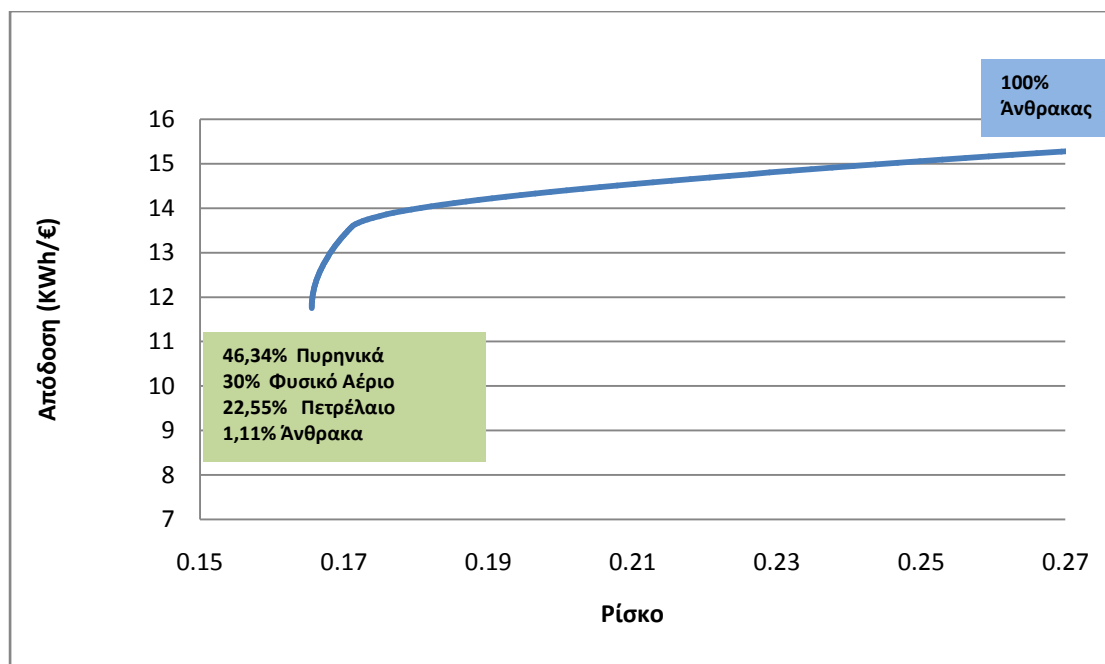
- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Τέλος, θα επιχειρήσουμε να αξιολογήσουμε τα προβλεπόμενα ενεργειακά μίγματα της Σκανδιναβίας στο σύνολο της, έτσι όπως αυτά προβλέπονται για τα έτη 2020 και 2030 από τον Σκανδιναβικό ερευνητικό οργανισμό ενέργειας Nordic Energy Research και να κάνουμε πιθανές προτάσεις για τον σχεδιασμό της μεσομακροπρόθεσμης ενεργειακής πολιτικής του Σκανδιναβικού συμπλέγματος.

2.5.2 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2011

2.5.2.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας και Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού της Σουηδίας, της Φινλανδίας και του Σκανδιναβικού συμπλέγματος για το έτος 2011

Για το έτος 2011, στην αρχή προσδιορίσαμε το αποτελεσματικό μέτωπο που εμπεριέχει τους βέλτιστους – αποδοτικούς συνδυασμούς απόδοσης – κινδύνου όλων των συμβατικών ενεργειακών πηγών και παρατίθεται ακολούθως.

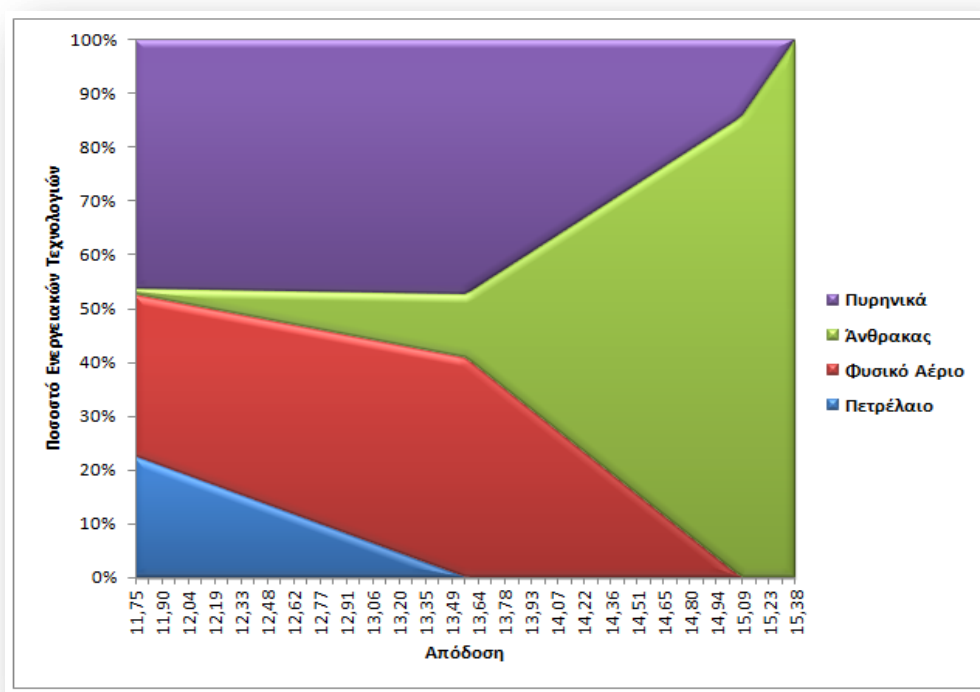


Γράφημα 2.24: Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας)

Το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου που κατά συνέπεια έχει και την μικρότερη απόδοση ($E = 11,75 \text{ kWh/€}$ και $\sigma = 0,165504$) καθορίζει την αρχή του αποδοτικού συνόρου και αποτελείται από άνθρακα σε ποσοστό 1,11%, από πετρέλαιο σε ποσοστό 22,55%, από φυσικό αέριο σε ποσοστό 30% και από πυρηνικά σε ποσοστό 46,34%. Αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο εξαρτάται μόνο από τις τιμές των τυπικών αποκλίσεων και των συντελεστών συσχέτισης και τα ποσοστά συμμετοχής των ενεργειακών πηγών σε αυτό θα παραμένουν ίδια ανεξαρτήτως των αποδόσεων των πηγών για όλα τα έτη (2011 – 2020 – 2030) και στα πλαίσια όλων των προς μελέτη σεναρίων. Βέβαια, η απόδοση του θα διαφοροποιηθεί αν οι αποδόσεις όλων των ενεργειακών πηγών αλλάξουν. Το χαρτοφυλάκιο μέγιστης αναμενόμενης απόδοσης (και άρα μεγαλύτερο ρίσκου) αποτελείται καθ'ολοκληρίαν από άνθρακα (100% άνθρακας) και αποτελεί το άνω άκρο του αποδοτικού συνόρου. Η απόδοση και τυπική του απόκλιση θα ταυτίζεται με εκείνες του ενεργειακού αξιόγραφου του άνθρακα. ($E = 15,38 \text{ kWh/€}$ και $\sigma = 0,28$)

Όπως διακρίνουμε στο παρακάτω γράφημα, καθώς κινούμαστε πάνω στο αποδοτικό σύνορο σε χαρτοφυλάκια μεγαλύτερου κινδύνου (και άρα μεγαλύτερης απόδοσης), το

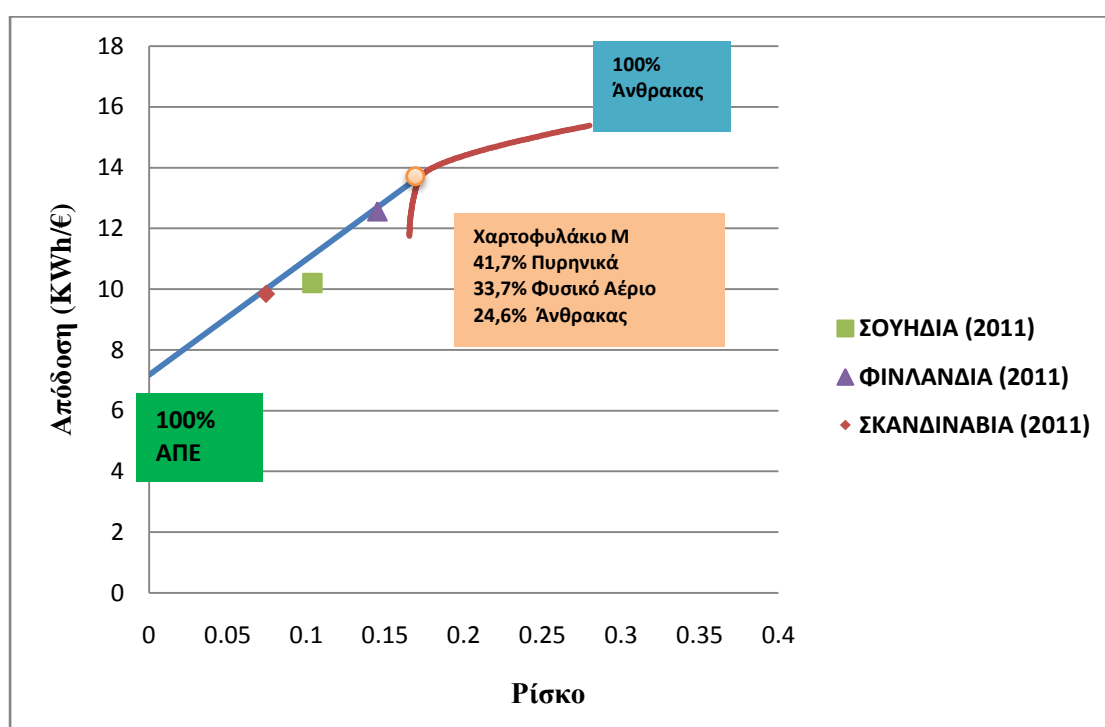
ποσοστό του άνθρακα ξεκινάει από 1,11% (χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου) και συνεχώς αυξάνεται μέχρι και το 100% (χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης). Το πετρέλαιο ξεκινάει με ποσοστό 22,55% , το οποίο και μειώνεται συνεχώς, ώσπου να μηδενιστεί εντελώς. Το φυσικό αέριο ξεκινάει με το ποσοστό που καταλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου (30%) και αυξάνεται ποσοστιαία κατά μήκος του συνόρου, φτάνοντας σε ποσοστό μέχρι και 40,69% (μέγιστο ποσοστό φυσικού αερίου) στο σημείο όπου μηδενίζεται ποσοστιαία το πετρέλαιο. Από κει και πέρα ακολουθεί φθίνουσα πορεία ώσπου να μηδενιστεί. Τέλος, τα πυρηνικά ξεκινάνε με ποσοστό 46,34% το οποίο και συνεχώς αυξάνεται κατά μήκος του συνόρου μέχρι και το σημείο που μηδενίζεται το πετρέλαιο (σημείο μέγιστης ποσοστιαίας συνεισφοράς του φυσικού αερίου), αγγίζοντας το ποσοστό 47,37%. Από εκεί και έπειτα, φθίνει ποσοστιαία μέχρι και τον μηδενισμό του στο χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης.



Γράφημα 2.25: Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας)

Εν συνεχεία, παραθέτουμε το γράφημα του αποτελεσματικού μετώπου που εμπεριέχει τους αποδοτικούς συνδυασμούς απόδοσης – κινδύνου των τεσσάρων συμβατικών

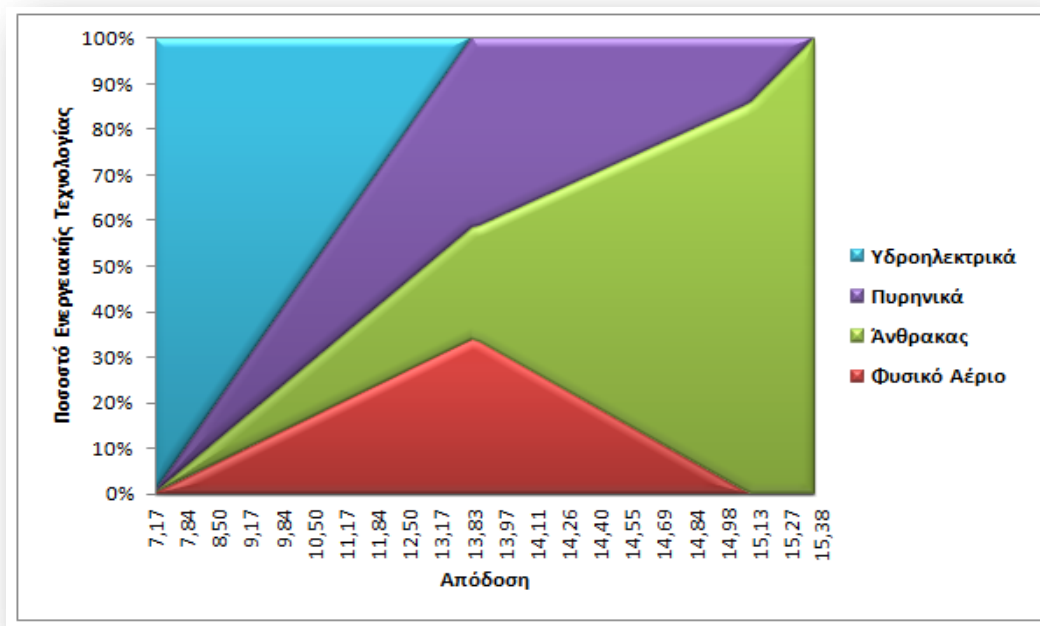
πηγών συμπεριλαμβανομένης της συνεισφοράς των υδροηλεκτρικών. Το αποδοτικό σύνορο αποτελείται από το ευθύγραμμο τμήμα κλίσης θ_{\max} , το οποίο ξεκινάει από το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου (μηδενικού αυτή τη φορά) ρίσκου που αποτελείται κατά 100% από το ακίνδυνο ενεργειακό αξιόγραφο των υδροηλεκτρικών και εφάπτεται στο χαρτοφυλάκιο **M** που είναι το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών πηγών και αποτελεί σημείο του αποτελεσματικού μετώπου. Από το χαρτοφυλάκιο **M** και πέρα, το αποδοτικό σύνορο έχει την μορφή που είχε και πριν την εισαγωγή των υδροηλεκτρικών.



Γράφημα 2.26: Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων πυρηνικών και ΑΠΕ)

Το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο **M** αποτελείται κατά 41,7% από πυρηνικά, 33,7% από φυσικό αέριο και 24,6% από άνθρακα. Η απόδοση του είναι 13,83 kWh/€ και η τυπική του απόκλιση ισούται με 0,175. Κατά μήκος του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει το χαρτοφυλάκιο μηδενικού ρίσκου (100% ΑΠΕ) με το χαρτοφυλάκιο **M**, τα αποδοτικά χαρτοφυλάκια συντίθενται κατά ένα ποσοστό $\Pi\%$ από το ακίνδυνο αξιόγραφο των υδροηλεκτρικών και κατά το υπόλοιπο ποσοστό $(100 - \Pi)\%$ από το

χαρτοφυλάκιο συμβατικών τεχνολογιών **M**. Η σύνθεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων πέραν του χαρτοφυλακίου **M** ακολουθεί την ίδια συγκρότηση όπως και πριν εισάγουμε το ακίνδυνο αξιόγραφο. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο γράφημα, η νέα σύνθεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων δεν συμπεριλαμβάνει καθόλου το πετρέλαιο. Ξεκινάει με το χαρτοφυλάκιο όπου συμμετέχουν τα υδροηλεκτρικά κατά 100% και κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου το ποσοστό τους φθίνει συνεχώς, ώσπου μηδενίζεται στο χαρτοφυλάκιο **M**. Η ποσοστιαία συμμετοχή τόσων των πυρηνικών, όσο και του φυσικού αερίου και του άνθρακα, στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια, αυξάνεται κατά μήκος του συνόρου μέχρι και το **M**. Ο ρυθμός αύξησης για τα πυρηνικά είναι ο μεγαλύτερος και ακολουθεί ο ρυθμός για το φυσικό αέριο και τέλος για τον άνθρακα. Από το χαρτοφυλάκιο **M** και πέρα, ο άνθρακας είναι η μόνη συμβατική πηγή που συνεχίζει και αυξάνει ποσοστιαία την συμμετοχή του στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια μέχρι και το χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης (100% άνθρακας). Το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά, σταδιακά μειώνουν την συνεισφορά τους στα χαρτοφυλάκια κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου, ώσπου και μηδενίζονται. Ο ρυθμός της ποσοστιαίας μείωσης της συνεισφοράς του φυσικού αερίου και των πυρηνικών είναι παραπλήσιος. Ωστόσο η συνεισφορά του φυσικού αερίου μηδενίζεται νωρίτερα απ'ότι των πυρηνικών εξαιτίας του μεγαλύτερου ποσοστού των πυρηνικών στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών ενεργειακών πηγών.

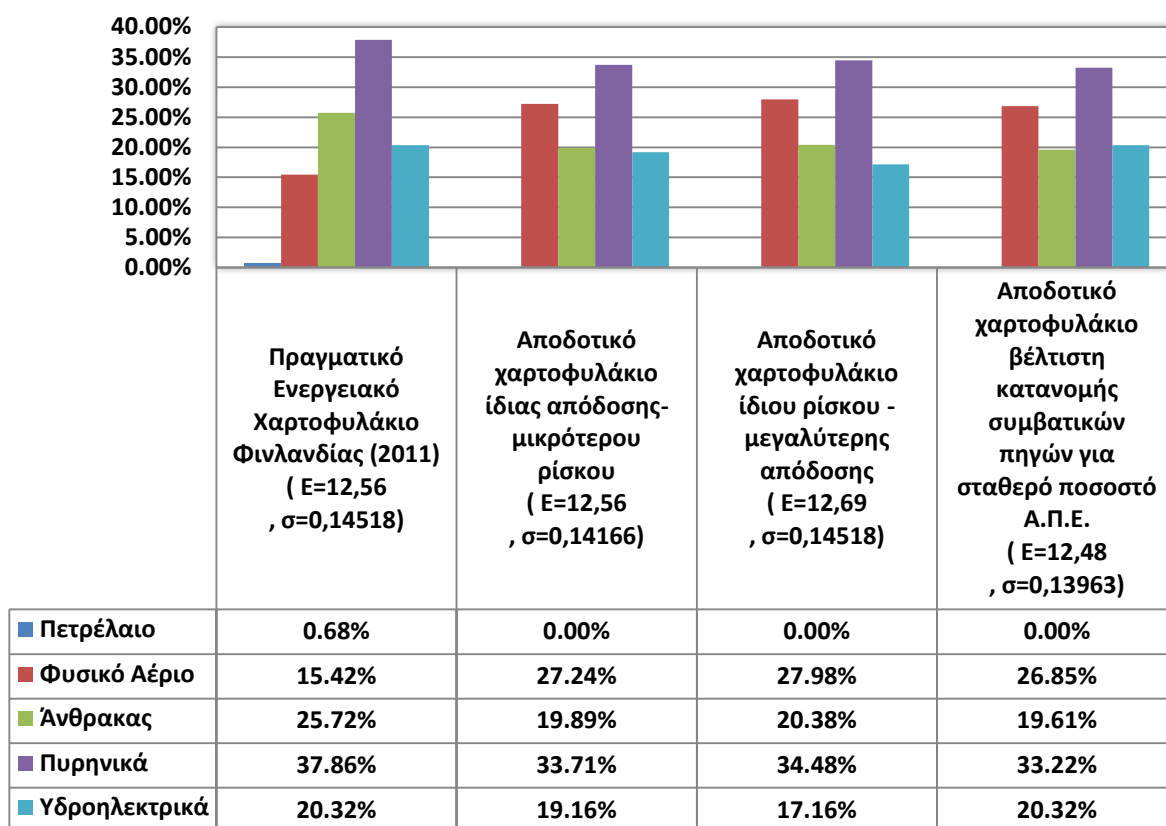


Γράφημα 2.27: Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένων πυρηνικών και ΑΠΕ)

Στο γράφημα του αποδοτικού συνόρου αναπαριστώνται τα πραγματικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια των δύο χωρών που χρησιμοποιούν και την πυρηνική τεχνολογία (Σουηδία, Φινλανδία), καθώς επίσης και του Σκανδιναβικού συμπλέγματος εν τω συνόλω του. Τα συγκεκριμένα χαρτοφυλάκια εμπεριέχουν τις συμβατικές ενεργειακές πηγές και από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μόνο τα υδροηλεκτρικά. Παρατηρούμε ότι και τα 3 χαρτοφυλάκια είναι πολύ κοντά στο σύνορο που αναπαριστά τον βέλτιστο συνδυασμό αναμενόμενης απόδοσης – κινδύνου. Συγκεκριμένα τα πραγματικά χαρτοφυλάκια της Φινλανδίας και της Σκανδιναβίας βρίσκονται σχεδόν πάνω στο σύνορο. Ωστόσο, κανένα από αυτά δεν ταυτίζεται με αυτό και αρά μπορούν να αντικατασταθούν με κάποιο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ίδιου επιπέδου κινδύνου και μεγαλύτερης απόδοσης, είτε στην περίπτωση που θελήσει κάποιος να μειώσει τον κίνδυνο, να πετύχει το ίδιο επίπεδο απόδοσης με μικρότερο κίνδυνο. Η κάθετη προβολή της σημειακής αναπαράστασης του εκάστοτε πραγματικού χαρτοφυλακίου στο αποδοτικό σύνορο, μας δίνει το χαρτοφυλάκιο μεγαλύτερης απόδοσης για ίδιο ρίσκο, ενώ η οριζόντια προβολή του, μας δίνει το χαρτοφυλάκιο μικρότερου ρίσκου για το ίδιο επίπεδο απόδοσης. Τέλος, μπορεί κάποιος να θεωρήσει δεδομένη την ποσοστιαία συνεισφορά των υδροηλεκτρικών (ΑΠΕ), και να βρει το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο γι' αυτήν την περίπτωση που θα παρουσιάζει καλύτερο συνδυασμό αναμενόμενης απόδοσης – ρίσκου σε σχέση με το πραγματικό. Σε αυτήν την περίπτωση, οι συνεισφορές των συμβατικών πηγών στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο βρίσκονται ως ποσόστωση του χαρτοφυλακίου **M** όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Αρχικά παραθέτουμε το γράφημα αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού της Φινλανδίας για το έτος 2011 και τις τρεις περιπτώσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων συμπεριλαμβανομένων των βέλτιστων επιπέδων απόδοσης - ρίσκου. Βέβαια, αναμένουμε ότι τα οι προτάσεις βέλτιστων χαρτοφυλακίων θα συμπεριλαμβάνουν πολύ μικρές βελτιώσεις σε απόδοση και ρίσκο καθότι το πραγματικό ενεργειακό μίγμα της Φινλανδίας βρίσκεται σε 'απόσταση αναπνοής' από το αποδοτικό σύνορο. Η εν λόγω χώρα για το έτος 2011, θα μπορούσε να πετύχει ίδια απόδοση $E = 12,56 \text{ kWh/€}$ με μικρότερη τυπική απόκλιση $\sigma = 0,14166$ αν στο ενεργειακό της μίγμα είχε μηδενική ποσοστιαία συνεισφορά του

πετρελαίου, αυξημένο το ποσοστό του φυσικού αερίου σε 27,24%, ποσοστό άνθρακα μειωμένο κατά 5,83% σε σχέση με το πραγματικό της χαρτοφυλάκιο, ποσοστό πυρηνικών μειωμένο κατά 4,15% και υδροηλεκτρικά να κυμαίνονται στα ίδια περίπου ποσοστά. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των προτεινόμενων αποδοτικών χαρτοφυλακίων είναι το μηδενικό ποσοστό πετρελαίου, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο εξαιτίας της μηδενικής ποσοστιαίας συμμετοχής του στο χαρτοφυλάκιο **Μ**. Τα ποσοστά του άνθρακα και των πυρηνικών στις περιπτώσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων κυμαίνονται σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με εκείνα του πραγματικού ενεργειακού μίγματος ηλεκτροπαραγωγής της Φινλανδίας. Η περίπτωση αποδοτικού χαρτοφυλακίου που προτείνει μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση του άνθρακα (κατά 6,11%) και μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση των πυρηνικών (κατά 4,64%) είναι εκείνη όπου κρατάμε σταθερό το επίπεδο συνεισφοράς των ΑΠΕ. Η συνεισφορά του φυσικού αερίου σε όλα τις προτεινόμενες βέλτιστες - αποδοτικές περιπτώσεις χαρτοφυλακίων είναι εμφανώς μεγαλύτερη και κυμαίνεται από ποσοστά 26,85% έως και 27,98%. Τέλος η προτεινόμενη συμμετοχή των υδροηλεκτρικών κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα εκτός από την περίπτωση αποδοτικού συνδυασμού ίδιου ρίσκου – μεγαλύτερης απόδοσης όπου πέφτει στο 17,16%.

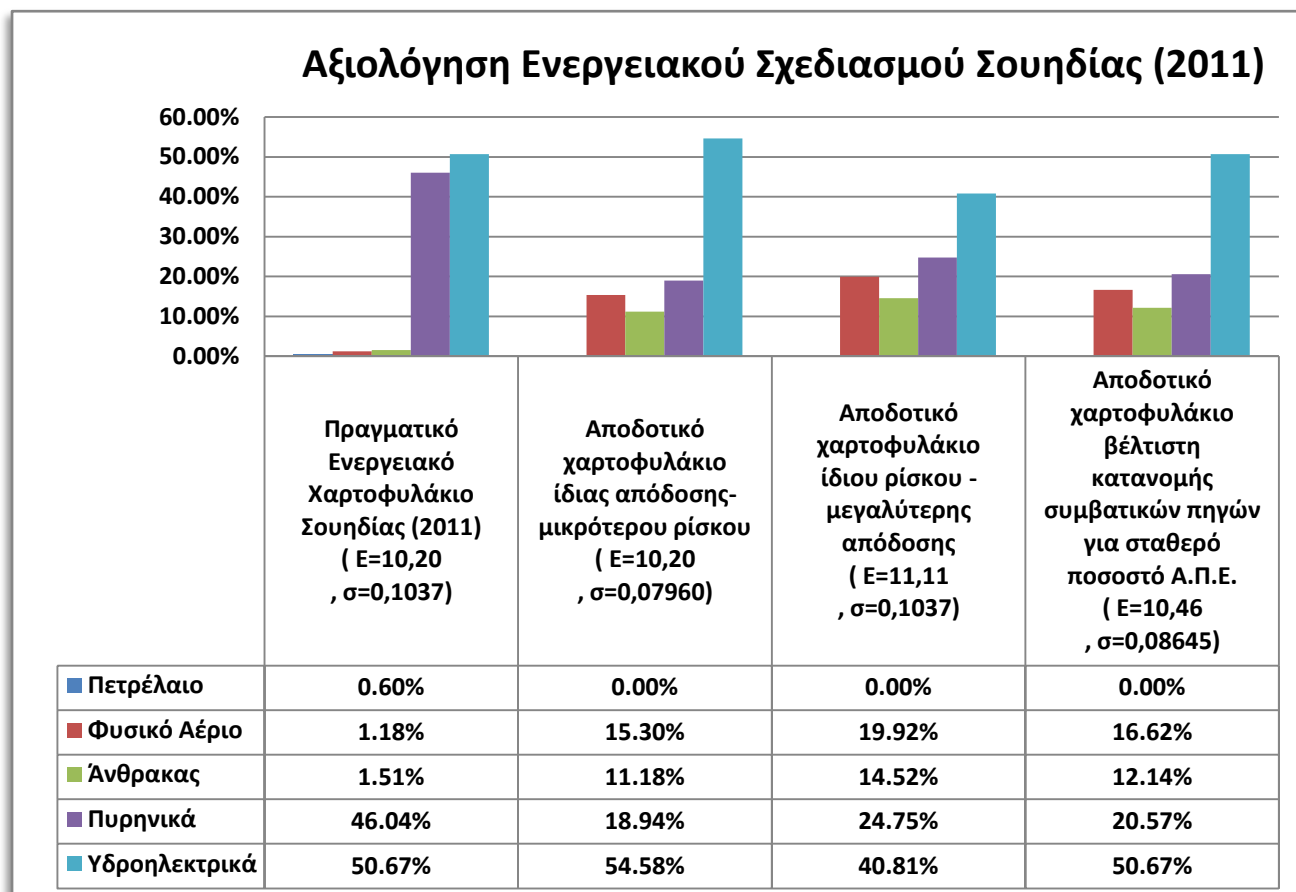
Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Φινλανδίας (2011)



Γράφημα 2.28 : Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Φινλανδίας για το έτος 2011

Ακολούθως, παρουσιάζουμε το γράφημα αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού της Σουηδίας για το έτος 2011 και τις τρεις περιπτώσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων. Στα πλαίσια της αξιολόγησης της συγκεκριμένης χώρας αναμένουμε μεγαλύτερα βελτιωτικά χαρακτηριστικά στα επίπεδα απόδοσης – κινδύνου συγκριτικά με τις προτάσεις για την Φινλανδία και την Σκανδιναβία καθότι το το πραγματικό της χαρτοφυλάκιο απέχει περισσότερο από το αποτελεσματικό μέτωπο σε σχέση με τα άλλα δύο πραγματικά μίγματα. Και στα 3 αποδοτικά χαρτοφυλάκια, παρατηρούμε προτάσεις σημαντικής αύξησης στην συνεισφορά του άνθρακα και του φυσικού αερίου σε σχέση με το πραγματικό της ενεργειακό μίγμα ενώ οι προτάσεις για τα πυρηνικά, αφορούν μείωση της ποσοστιαίας συμμετοχής τους που φτάνει μέχρι και 27,1% σε σχέση με το πραγματικό στην περίπτωση βέλτιστου χαρτοφυλακίου ίδιας

απόδοσης και μικρότερου ρίσκου. Όσον αφορά την συμμετοχή των υδροηλεκτρικών , προτείνεται αύξηση του ποσοστού τους σε 54,58% σε περίπτωση μείωσης του κινδύνου σε ίδιο επίπεδο απόδοσης, και μείωση του σε 40,81% σε περίπτωση αύξησης της απόδοσης σε ίδιο επίπεδο ρίσκου. Τέλος, όλες οι προτάσεις περιλαμβάνουν μηδενική συνεισφορά του πετρελαίου

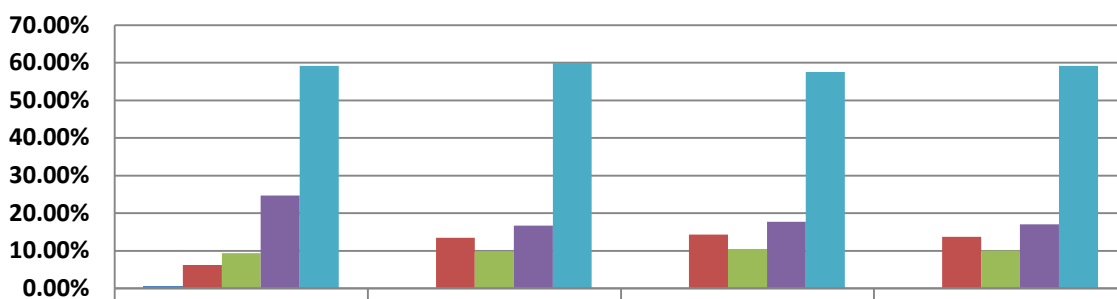


Γράφημα 2.29: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σουηδίας για το έτος 2011

Στην συνέχεια παρατίθεται το γράφημα αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού του Σκανδιναβικού συμπλέγματος για το έτος 2011. Το πραγματικό χαρτοφυλάκιο της Σκανδιναβίας βρίσκεται σχεδόν πάνω στο αποδοτικό σύνορο, οπότε περιμένουμε να αποκομίσουμε ελάχιστα οφέλη για την απόδοση και τον κίνδυνο από τις προτάσεις αποδοτικών συνδυασμών. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την ορθότητα της χάραξης ενεργειακής πολιτικής της Σκανδιναβίας. Αξίζει να σημειώσουμε ότι όλες οι περιπτώσεις περιλαμβάνουν προτάσεις αύξησης της συμμετοχής κυρίως του φυσικού

αερίου (αλλά και του άνθρακα) στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια και μείωση της ποσοστιαίας συνεισφοράς των πυρηνικών. Η συμμετοχή των υδροηλεκτρικών κυμαίνεται πάνω κάτω στα ίδια επίπεδα με περιπτώσεις πολύ μικρής αύξησης ή μείωσης τους που δεν ξεπερνά το 2,33% (σε σχέση με το πραγματικό ενεργειακό μίγμα), ανάλογα με την στάση του επενδυτή απέναντι στον συνδυασμό απόδοσης – ρίσκου. Τέλος, η συμμετοχή του πετρελαίου σε όλες τις περιπτώσεις είναι για ακόμα μια φορά μηδενική.

Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2011)

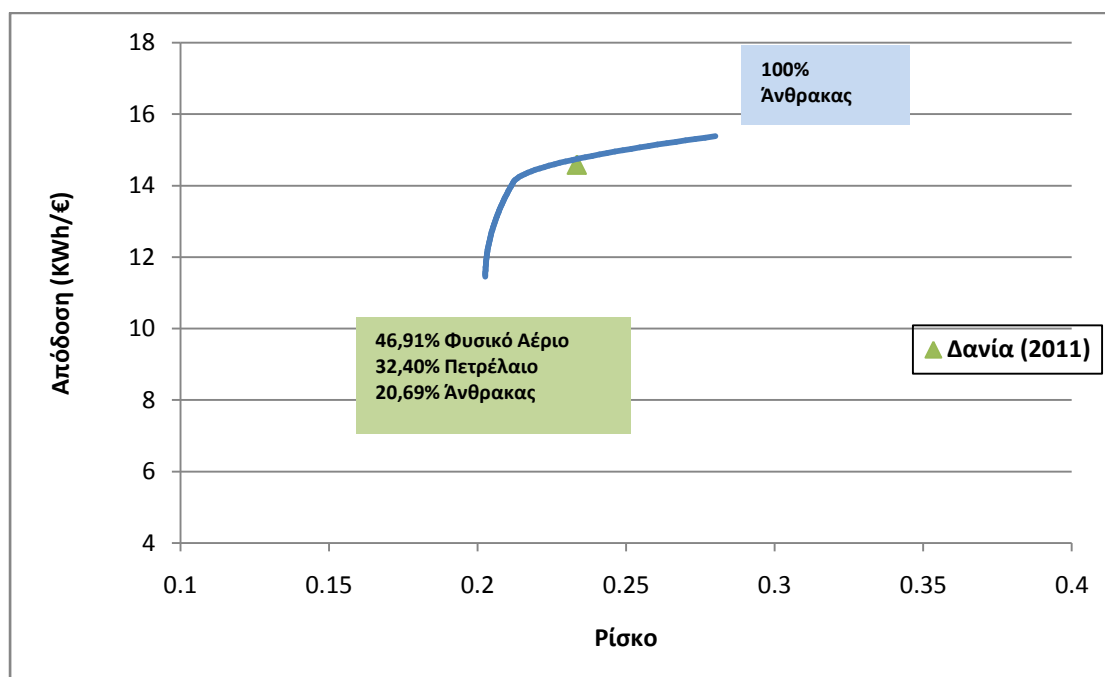


	Πραγματικό Ενεργειακό Χαρτοφυλάκιο Σκανδιναβίας (2011) (E=9,84 , σ=0,07429)	Αποδοτικό χαρτοφυλάκιο ίδιας απόδοσης-μικρότερου ρίσκου (E=9,84 , σ=0,07019)	Αποδοτικό χαρτοφυλάκιο ίδιου ρίσκου - μεγαλύτερης απόδοσης (E=10 , σ=0,07429)	Αποδοτικό χαρτοφυλάκιο βέλτιστη κατανομής συμβατικών πηγών για σταθερό ποσοστό Α.Π.Ε. (E=9,89 , σ=0,07147)
■ Πετρέλαιο	0.50%	0.00%	0.00%	0.00%
■ Φυσικό Αέριο	6.18%	13.50%	14.28%	13.74%
■ Άνθρακας	9.40%	9.86%	10.44%	10.04%
■ Πυρηνικά	24.70%	16.70%	17.67%	17.00%
■ Υδροηλεκτρικά	59.22%	59.94%	57.61%	59.22%

Γράφημα 2.30: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2011

2.5.2.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων χωρίς την πυρηνική τεχνολογία και Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού της Νορβηγίας και της Δανίας για το έτος 2011

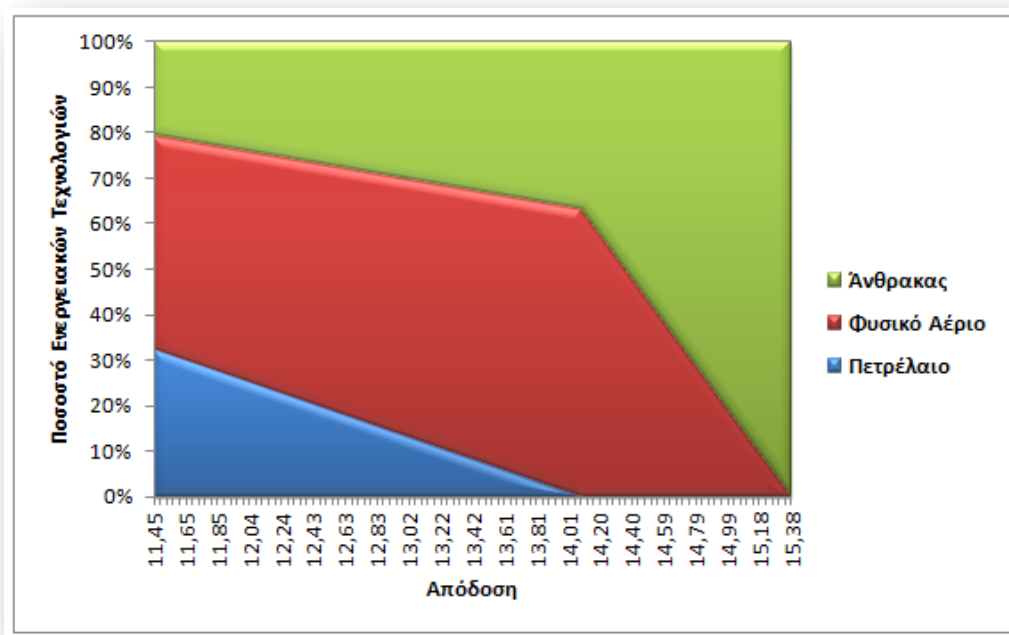
Στην συνέχεια, επισυνάπτουμε το αποτελεσματικό μέτωπο που εμπεριέχει τους αποδοτικούς συνδυασμούς απόδοσης – κινδύνου των συμβατικών ενεργειακών πηγών χωρίς να συμπεριλάβουμε την πυρηνική τεχνολογία.



Γράφημα 2.31: Αποδοτικό Σύνоро για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η πυρηνική τεχνολογία)

Το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου (και μικρότερης απόδοσης) καθορίζει την αρχή του συνόρου και αποτελείται από άνθρακα σε ποσοστό 20,69%, από πετρέλαιο σε ποσοστό 32,40%, από φυσικό αέριο σε ποσοστό 46,91%. Το χαρτοφυλάκιο μέγιστης αναμενόμενης απόδοσης (και άρα μεγαλύτερο ρίσκου) αποτελείται πάλι εξ' ολοκλήρου από άνθρακα (100% άνθρακας) και αποτελεί το άνω άκρο του αποδοτικού συνόρου.

Όπως παρατηρούμε και στο ακόλουθο γράφημα, καθώς κινούμαστε πάνω στο αποδοτικό σύνορο σε χαρτοφυλάκια μεγαλύτερου ρίσκου (και μεγαλύτερης απόδοσης), το ποσοστό του άνθρακα ξεκινάει από 20,69% (χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου) και συνεχώς αυξάνεται μέχρι και το 100% (χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης). Το πετρέλαιο ξεκινάει με ποσοστό 32,40% , το οποίο και μειώνεται συνεχώς μέχρι τον ποσοστιαίο μηδενισμό του. Το φυσικό αέριο ξεκινάει με το ποσοστό που καταλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου (46,91%) και αυξάνεται ποσοστιαία καθώς διασχίζουμε το σύνορο, φτάνοντας σε ποσοστό μέχρι και 63,01% (μέγιστο ποσοστό φυσικού αερίου) στο σημείο όπου μηδενίζεται ποσοστιαία το πετρέλαιο. Από και πέρα φθίνει συνεχώς ώσπου να μηδενιστεί στο χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης.

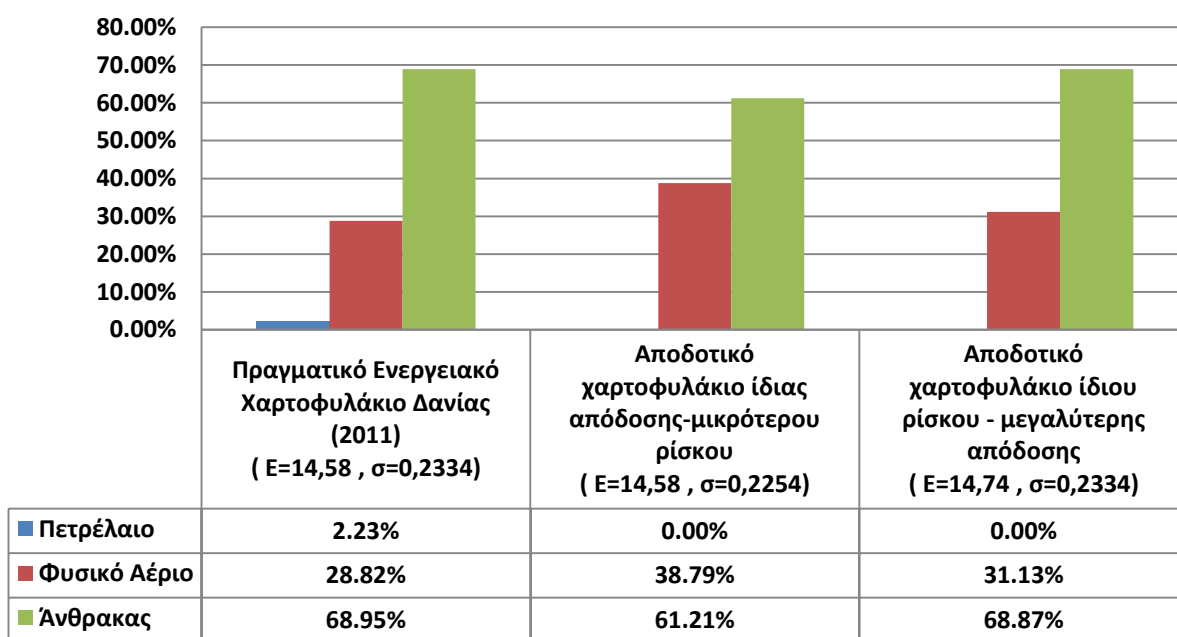


Γράφημα 2.32: Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η πυρηνική τεχνολογία)

Στο γράφημα του αποδοτικού συνόρου των συμβατικών πηγών αναπαριστάται το πραγματικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο της Δανίας που εμπεριέχει μόνο τις συμβατικές πηγές που χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροπαραγωγή της. Θα επιχειρήσουμε να

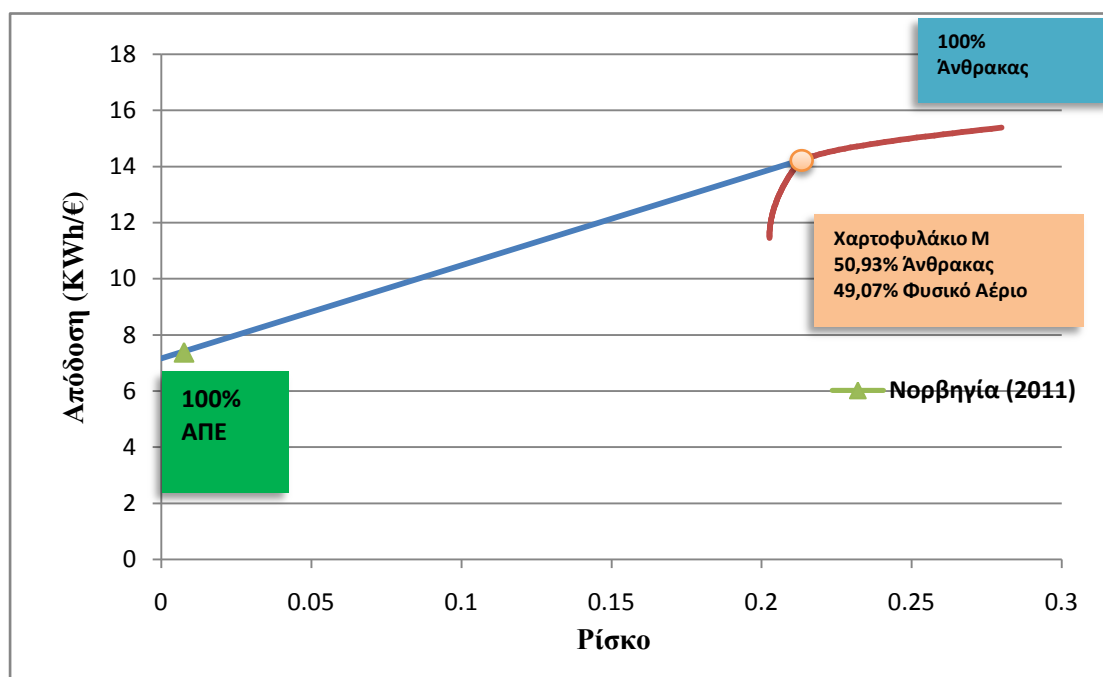
αξιολογήσουμε τον ενεργειακό της σχεδιασμό προτείνοντας μόνο συμβατικούς βέλτιστους συνδυασμούς απόδοσης - κινδύνου καθότι είναι η μόνη χώρα στην Σκανδιναβία που δεν χρησιμοποιεί υδροηλεκτρικά. Καταρχήν, παρατηρούμε ότι το πραγματικό της χαρτοφυλάκιο βρίσκεται πολύ κοντά στο σύνορο χωρίς να ταυτίζεται με αυτό και άρα μπορούμε να προτείνουμε δύο περιπτώσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων. Η πρώτη θα αφορά χαρτοφυλάκιο ίδιου επιπέδου κινδύνου και μεγαλύτερης απόδοσης και η δεύτερη θα αφορά το ίδιο επίπεδο απόδοσης με μικρότερο κίνδυνο. Και στις 2 περιπτώσεις, οι βελτιώσεις των χαρακτηριστικών απόδοσης και ρίσκου είναι πολύ μικρές. Χαρακτηρίζονται από τις προτάσεις μηδενικής συνεισφοράς του πετρελαίου, την ποσοστιαία αύξηση του φυσικού αερίου σε ποσοστό 38,79% στην περίπτωση ίδιας απόδοσης – μικρότερου ρίσκου και 31,13% στην περίπτωση ίδιου ρίσκου και μεγαλύτερης απόδοσης. Τέλος οι προτάσεις αφορούν περίπου ίδια ποσοστά άνθρακα με το πραγματικό μίγμα στην περίπτωση που θέλουμε να πετύχουμε μεγαλύτερη απόδοση κρατώντας σταθερό το επίπεδο ρίσκου και μείωση του ποσοστού άνθρακα σε 61,21% στην περίπτωση επίτευξης μικρότερου ρίσκου.

Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Δανίας (Συμβατικές Πηγές) (2011)



Γράφημα 2.33: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Δανίας (μόνο για τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες) για το έτος 2011

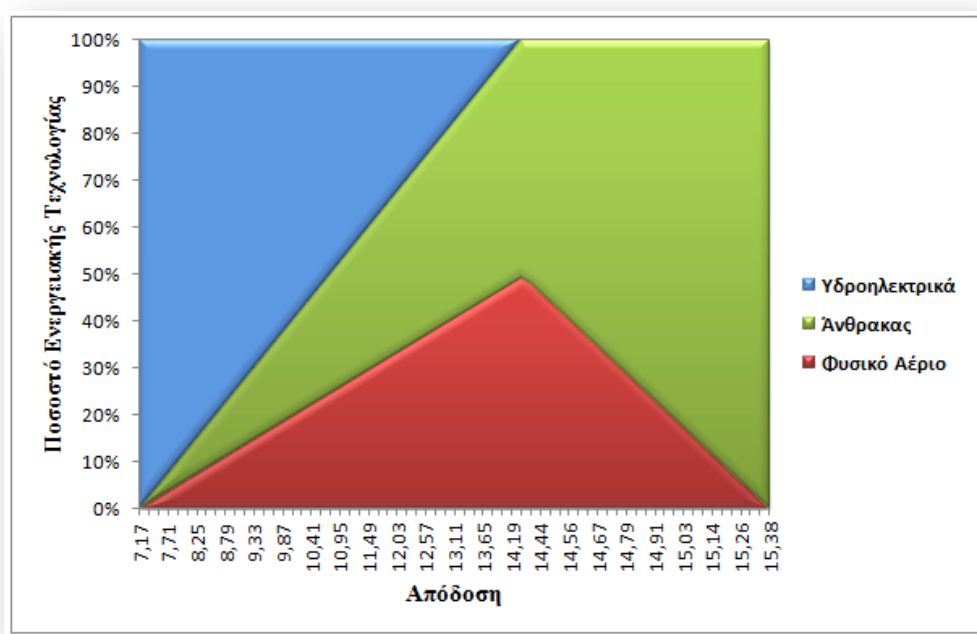
Ακολουθώντας επισυνάπτουμε το γράφημα του αποτελεσματικού μετώπου που εμπεριέχει τους βέλτιστους συνδυασμούς απόδοσης – κινδύνου των τριών συμβατικών πηγών (Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο, Άνθρακας) συμπεριλαμβανομένης της συνεισφοράς των ΑΠ.Ε.. Το αποδοτικό σύνορο αποτελείται από το ευθύγραμμο τμήμα το οποίο ξεκινάει από το χαρτοφυλάκιο μηδενικού ρίσκου που αποτελείται κατά 100% από υδροηλεκτρικά και εφάπτεται στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο των τριών συμβατικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή, το χαρτοφυλάκιο **Μ** αποτελείται κατά 50,93% από άνθρακα και 49,07% από φυσικό αέριο. Η απόδοση του είναι 14,37 kWh/€ και η τυπική απόκλιση του είναι ίση με 0,21734. Από το χαρτοφυλάκιο **Μ** και πέρα, το σύνορο έχει την μορφή που είχε και πριν την εισάγουμε τα υδροηλεκτρικά.



Γράφημα 2.34: Αποδοτικό Σύνορο για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες και ΑΠΕ χωρίς τα πυρηνικά)

Το γράφημα σύνθεσης των αποδοτικών χαρτοφυλακίων της περίπτωσης αυτής δεν συμπεριλαμβάνει καθόλου το πετρέλαιο. Ξεκινάει με το χαρτοφυλάκιο όπου

συμμετέχουν εξολοκλήρου τα υδροηλεκτρικά και κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου με το ποσοστό τους να μειώνεται συνεχώς, ώσπου εξαλείφεται στο χαρτοφυλάκιο **M**. Η συμμετοχή του φυσικού αερίου, στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια, αυξάνεται κατά μήκος του συνόρου μέχρι και το **M** όπου φτάνει στο μέγιστο ποσοστό του και έπειτα φθίνει συνεχώς κατά μήκος του τμήματος του συνόρου συμβατικών πηγών μέχρι και τον μηδενισμό του. Τέλος, το ποσοστό του άνθρακα αυξάνει συνεχώς σε όλο το μήκος του συνόρου μέχρι και το χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης (100% άνθρακα).

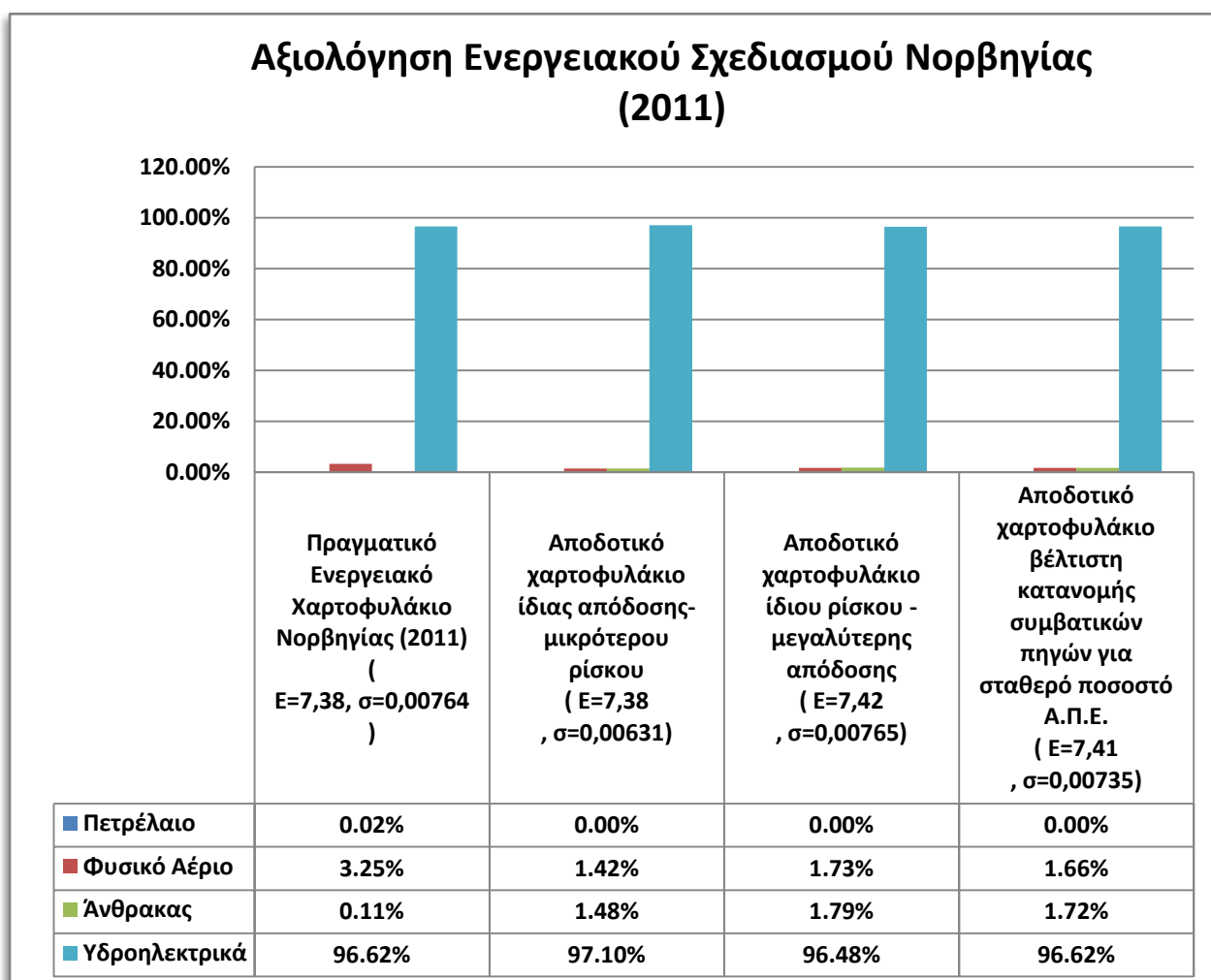


Γράφημα 2.35: Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2011 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες και ΑΠΕ χωρίς τα πυρηνικά)

Στο γράφημα του αποτελεσματικού μετώπου των συμβατικών πηγών συμπεριλαμβανομένων των υδροηλεκτρικών, αναπαρίσταται το πραγματικό ενεργειακό μίγμα της Νορβηγίας το οποίο βρίσκεται σχεδόν πάνω στο σύνορο. Τέλος, θα παρουσιάσουμε το γράφημα αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού της Νορβηγίας για το έτος 2011 με τις τρεις περιπτώσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων που

θα επιβεβαιώσουν την ορθότητα της ενεργειακής πολιτικής για την ηλεκτροπαραγωγή που ακολουθεί η εν λόγω χώρα.

Και στα 3 αποδοτικά χαρτοφυλάκια, παρατηρούμε προτάσεις πολύ μικρής αύξησης στην συνεισφορά του άνθρακα σε σχέση με το πραγματικό της ενεργειακό μίγμα ενώ οι προτάσεις για το φυσικό αέριο, αφορούν την μείωση της ποσοστιαίας συμμετοχής του σε ποσοστά 1,42% , 1,73% και 1,66% στις περιπτώσεις βέλτιστων χαρτοφυλακίων αντιστοίχως. Όσον αφορά στην συμμετοχή των υδροηλεκτρικών , προτείνεται αύξηση του ποσοστού τους σε 97,10% σε περίπτωση μείωσης του κινδύνου σε ίδιο επίπεδο απόδοσης, και οριακή μείωση του σε 96,48% σε περίπτωση αύξησης της απόδοσης σε ίδιο επίπεδο ρίσκου. Τέλος, σε όλες τις προτάσεις η συνεισφορά του πετρελαίου είναι μηδενική.



Γράφημα 2.36: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Νορβηγίας για το έτος 2011

2.5.3 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2020

2.5.3.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της μελέτης μας για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού για το έτος 2020, συμπεριλάβαμε συνολικά τα ακόλουθα 4 σενάρια.

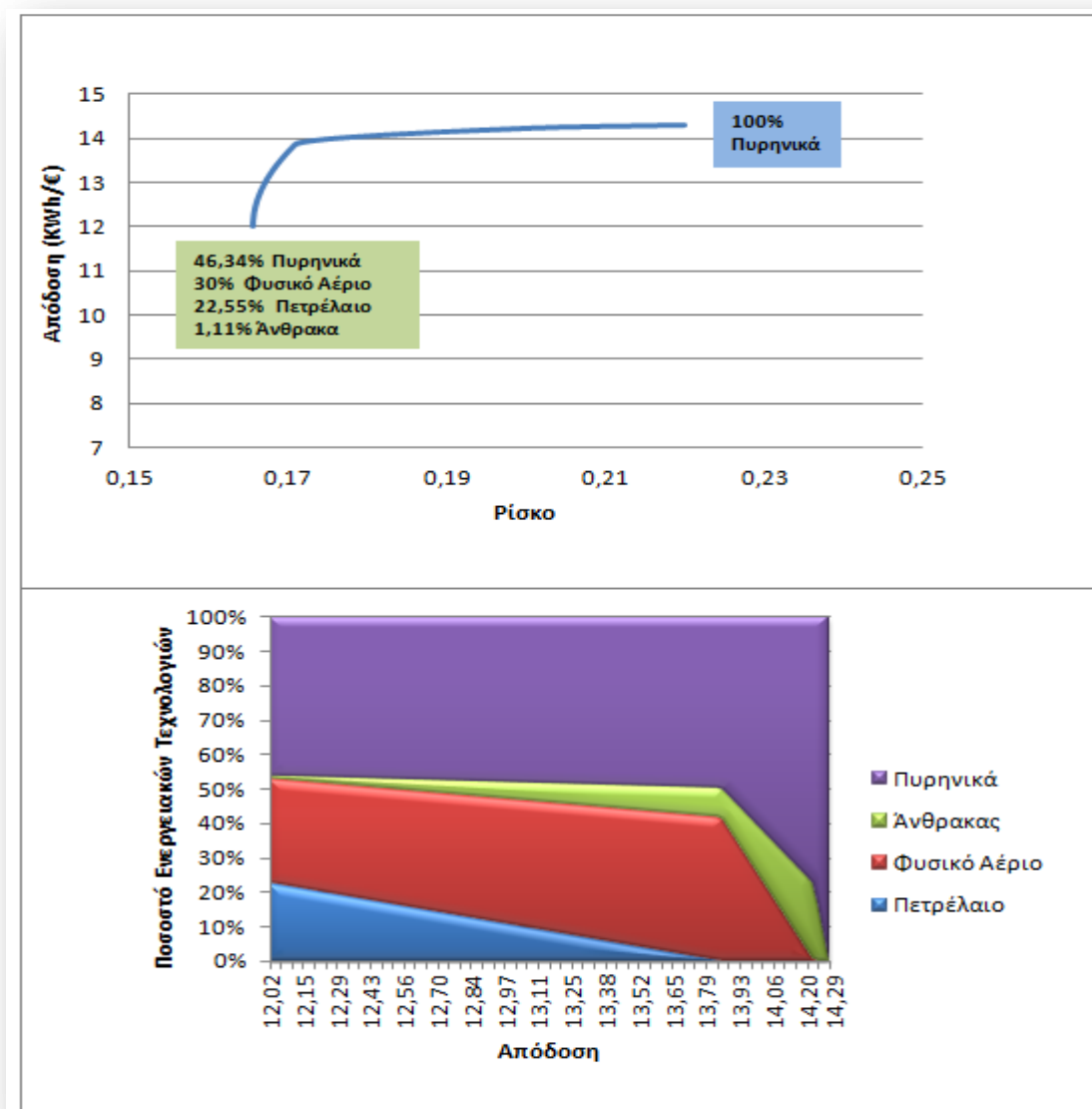
- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂
- ✓ Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Τα δύο πιθανά σενάρια τιμών καυσίμων υπήρχαν στην υπολογιστική πλατφόρμα του SETIS – Energy Cost Calculator ως προεπιλογή και βασίζονται σε αντίστοιχες μελέτες για τις μελλοντικές τάσεις στα κόστη καυσίμων από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όσον αφορά στα δύο πιθανά σενάρια τιμών εκπομπών CO₂, οι τιμές τους επιλέχτηκαν σύμφωνα με 2 πιθανά σενάρια τιμών εκπομπών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες του Σκανδιναβικού ερευνητικού οργανισμού Nordic Energy Research. Η επιρροή που έχει το κάθε σενάριο στο κόστος ηλεκτροπαραγωγής (και άρα στην απόδοση) των ενεργειακών τεχνολογιών (και άρα των ενεργειακών πηγών) έχει προσδιοριστεί και αναλυθεί διεξοδικά σε προηγούμενη ενότητα της μελέτης μας.

Επιπροσθέτως, για κάθε αποδοτικό σύνορο που προσδιορίζουμε μετά την εισαγωγή των υδροηλεκτρικών, αντιπαραθέτουμε τις τρεις περιπτώσεις βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων με τα χαρτοφυλάκια της Σκανδιναβίας έτσι όπως αυτά προβλέπονται για το έτος 2020 στην μελέτη ‘Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future’ για την Σκανδιναβία από τον οργανισμό Nordic Energy Research. Η πρόβλεψη των συγκεκριμένων μελλοντικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για την Σκανδιναβία, πραγματοποιείται στα πλαίσια της διαμόρφωσης μιας στρατηγικής προσέγγισης για την αντιστάθμιση των εκπομπών CO₂(CO₂ offset) και την επίτευξη ουδέτερου ισοζυγίου του άνθρακα (Carbon Neutrality). Τέλος, θεωρούμε ότι οι Α.Π.Ε. αντιπροσωπεύονται στο σύνολο τους από τα υδροηλεκτρικά.

2.5.3.2. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Αρχικά επισυνάπτουμε σε κοινό γράφημα το νέο αποδοτικό σύνορο για το έτος 2020 που αφορά τις 4 συμβατικές ενεργειακές πηγές και την σύνθεση των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων κατά μήκος αυτού για το συγκεκριμένο σενάριο.



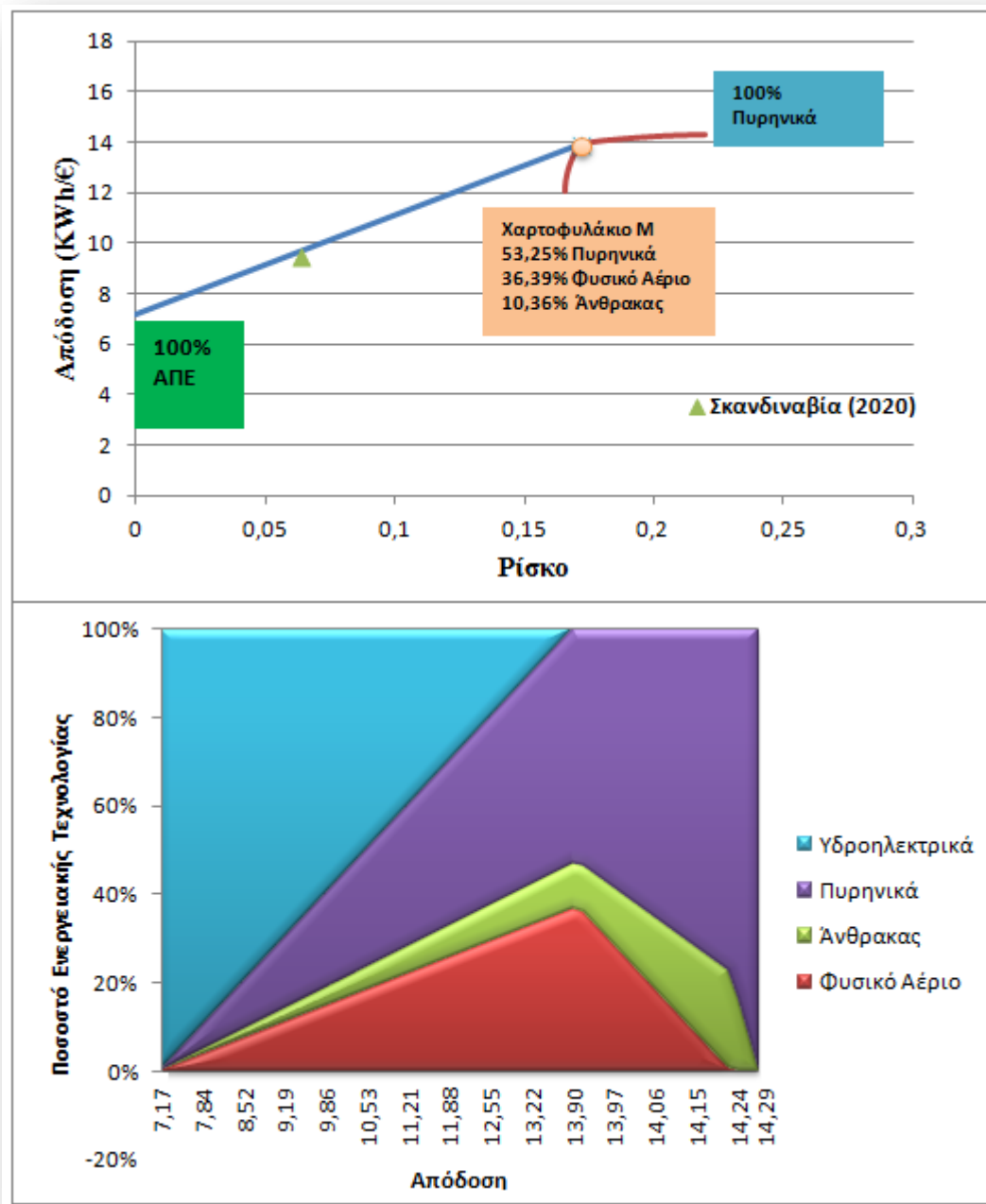
Γράφημα 2.37: Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω γράφημα, το ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου και άρα μικρότερης απόδοσης ($E = 12,02 \text{ kWh/€}$ και $\sigma = 0,165504$) έχει ακριβώς την ίδια σύνθεση όπως και για το έτος 2011 (Άνθρακας: 1,11%, Πετρέλαιο : 22,55%, Φυσικό Αέριο : 30% και Πυρηνικά :46,34%) Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο καθότι, όπως αναφέραμε και πριν, το χαρτοφυλάκιο εξαρτάται μόνο από τις τιμές των τυπικών αποκλίσεων και των συντελεστών συσχέτισης και τα ποσοστά συμμετοχής των ενεργειακών πηγών είναι ανεξάρτητα των αποδόσεων των πηγών και παραμένουν αμετάβλητα. Βέβαια, η απόδοση του έχει διαφοροποιηθεί συγκριτικά με το 2011 καθότι οι αποδόσεις των συμβατικών ενεργειακών πηγών άλλαξαν. Το άνω άκρο του συνόρου, δηλαδή το χαρτοφυλάκιο μέγιστης αναμενόμενης απόδοσης (και άρα μεγαλύτερο ρίσκου), πλέον αποτελείται καθ'ολοκληρίαν από πυρηνικά (100% πυρηνικά), καθότι τα πυρηνικά αποτελούν πλέον την πιο αποδοτική ενεργειακή τεχνολογία.

Η μελλοντική αύξηση της απόδοσης των πυρηνικών σηματοδοτεί σημαντικές αλλαγές και στην σύνθεση των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Όπως διακρίνουμε στο γράφημα, καθώς κινούμαστε πάνω στο αποδοτικό σύνορο σε χαρτοφυλάκια μεγαλύτερου κινδύνου (και άρα μεγαλύτερης απόδοσης), το ποσοστό των πυρηνικών ξεκινάει από 46,34% (χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου) και συνεχώς αυξάνεται μέχρι και το 100% (χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης). Το πετρέλαιο ξεκινάει με ποσοστό 22,55% , το οποίο και μειώνεται συνεχώς καθώς προχωράμε προς αποδοτικά χαρτοφυλάκια μεγαλύτερης απόδοσης ώσπου να μηδενιστεί εντελώς. Το φυσικό αέριο ξεκινάει με το ποσοστό που καταλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο με το μικρότερο ρίσκο (30%) και αυξάνεται ποσοστιαία κατά μήκος του συνόρου, φτάνοντας σε ποσοστό μέχρι και 41,22% (μέγιστο ποσοστό φυσικού αερίου) στο σημείο όπου μηδενίζεται ποσοστιαία το πετρέλαιο. Από κει και πέρα ακολουθεί φθίνουσα πορεία ώσπου να μηδενιστεί. Τέλος, η ποσοστιαία συμμετοχή του άνθρακα στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια έχει μειωθεί εξαιτίας του ότι δεν αποτελεί πλέον την αποδοτικότερη ενεργειακή πηγή. Ξεκινάει με ποσοστό 1,11% το οποίο αυξάνεται αγγίζοντας ποσοστιαία μέχρι και το 22,01%. Από εκεί και έπειτα, φθίνει ποσοστιαία μέχρι και τον μηδενισμό του στο χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης των πυρηνικών.

Με την προσθήκη του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου κατασκευάζουμε το νέο αποδοτικό σύνορο. Σε αυτή την περίπτωση το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο συμβατικών πηγών **M** αποτελείται από 53,25% πυρηνικά, 36,39% φυσικό αέριο και 10,36%

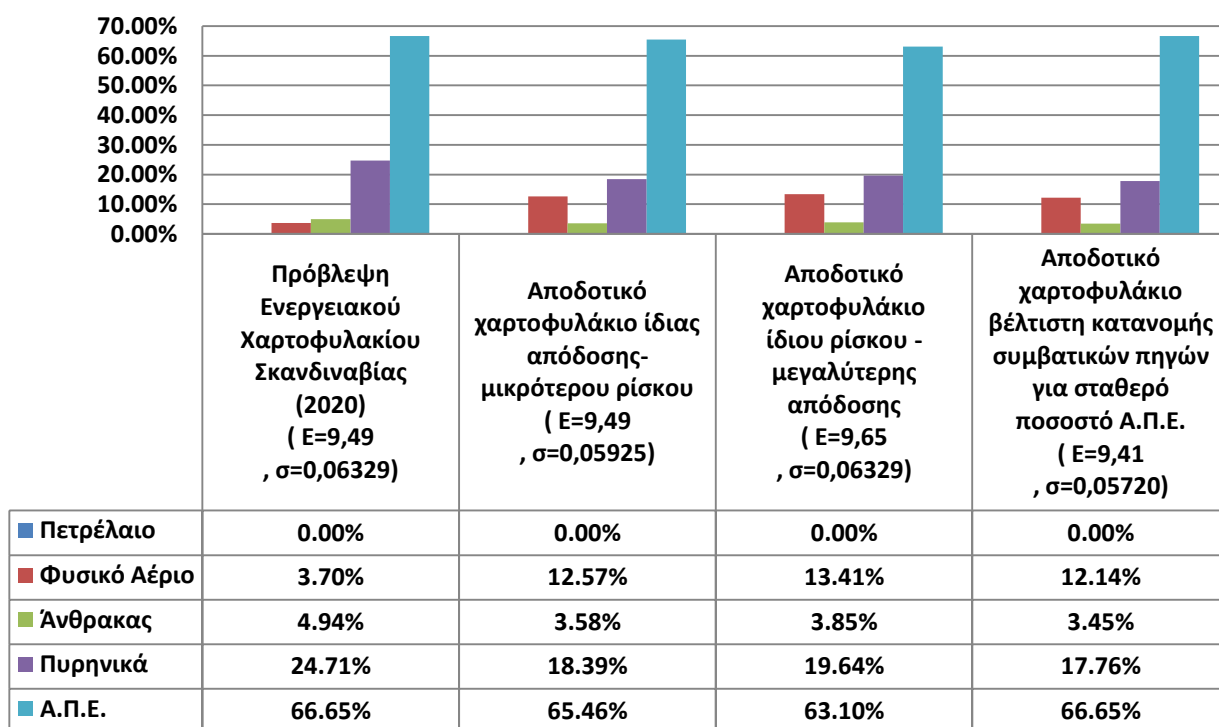
άνθρακα. Είναι εμφανής η ποσοστιαία αύξηση της συμμετοχής των πυρηνικών στο χαρτοφυλάκιο Μ συγκριτικά με το 2011 , η οποία συνοδεύεται με παράλληλη μείωση της συμμετοχής του άνθρακα , γεγονός που αποτυπώνεται και στην σύνθεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων.



Γράφημα: 2.38 Αποδοτικό Σύνολο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Εν συνεχεία, θα αντιπαραθέσουμε το προβλεπόμενο ενεργειακό μίγμα της Σκανδιναβίας για το 2020 (σύμφωνα με τον ερευνητικό οργανισμό Nordic Energy Research) με τρεις προτάσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Δεν περιμένουμε σημαντικές βελτιωτικές αλλαγές στο συνδυασμό απόδοσης – κινδύνου καθότι η σημειακή απεικόνιση του προβλεπόμενος ενεργειακού μίγματος για το 2020 στο γράφημα του αποδοτικού συνόρου μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. βρίσκεται πάρα πολύ κοντά στο σύνορο. Στις τρεις περιπτώσεις βέλτιστων χαρτοφυλακίων διακρίνουμε προτάσεις αισθητής ποσοστιαίας αύξησης του φυσικού αερίου, οριακής μείωσης του ποσοστού του άνθρακα κατά 1,49% το πολύ, και μικρής ποσοστιαίας μείωσης των πυρηνικών. Η συνεισφορά των Α.Π.Ε. κινείται περίπου στα ίδια ποσοστά με εκείνα του προβλεπόμενου μίγματος.

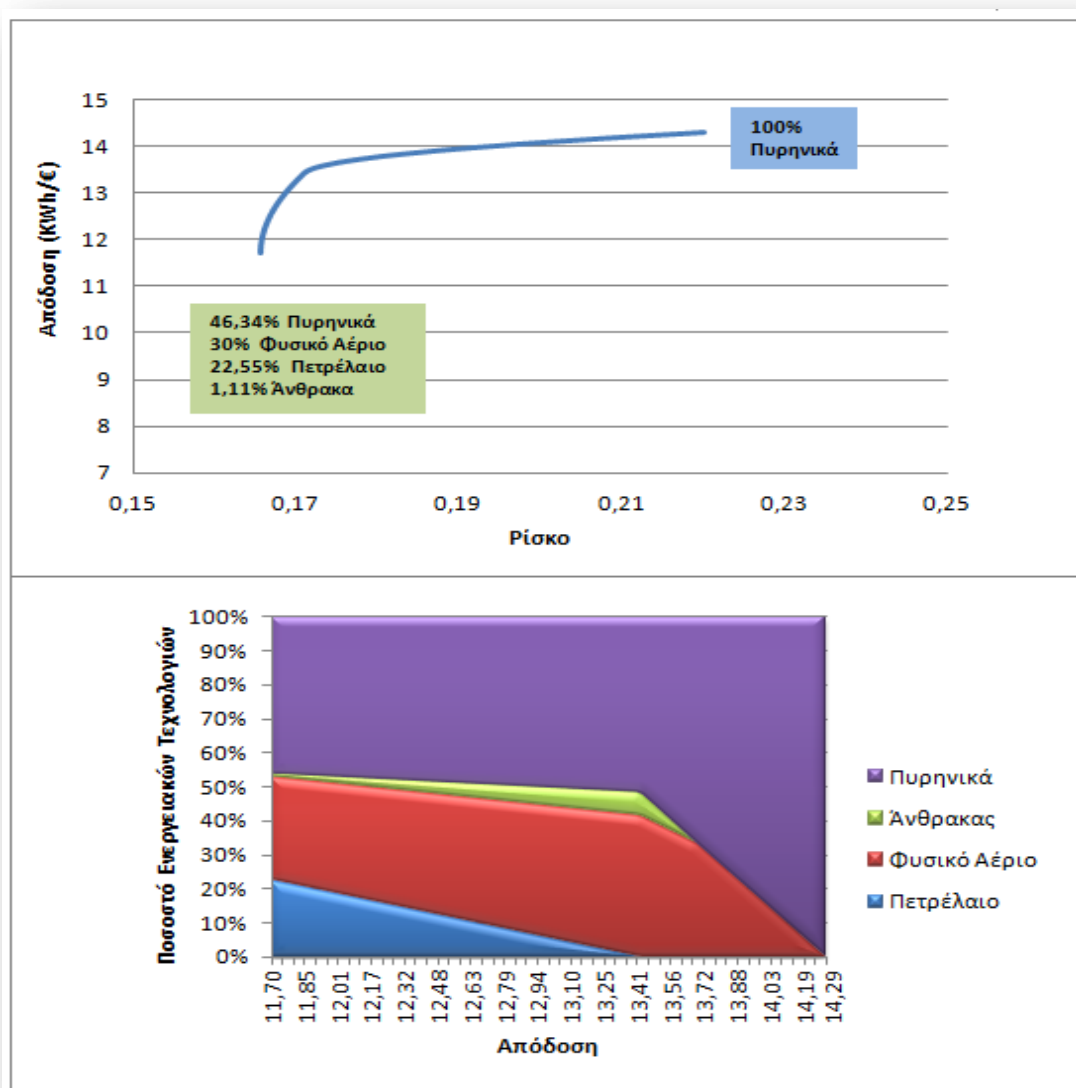
Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2020) Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂



Γράφημα 2.39: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

2.5.3.3. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Το νέο αποδοτικό σύνορο για το έτος 2020 που αφορά τις 4 συμβατικές ενεργειακές πηγές και την σύνθεση των αποδοτικών ενεργειακών στο συγκεκριμένο σενάριο, φαίνονται στο ακόλουθο γράφημα:



Γράφημα 2.40: Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

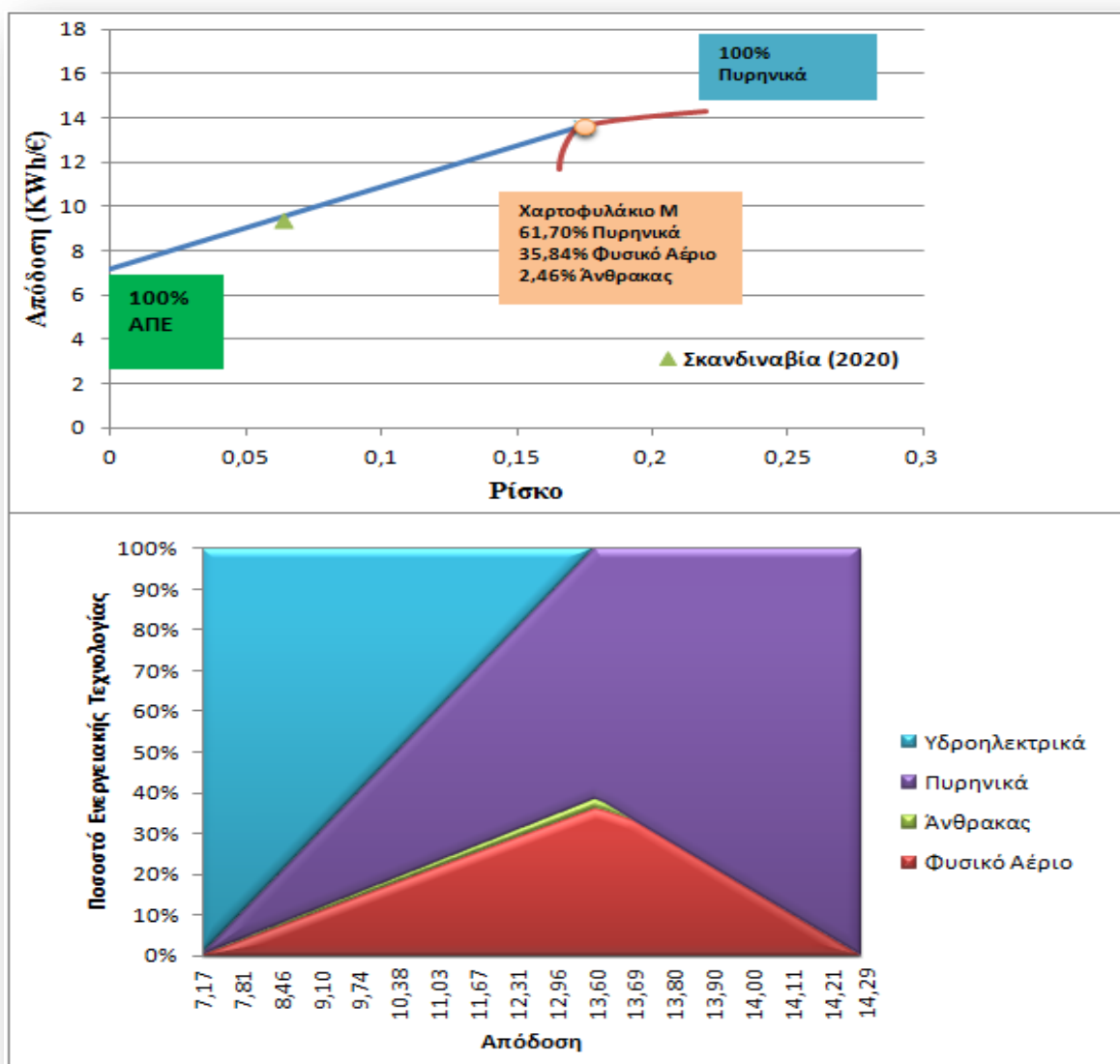
Οι μειωμένες αποδόσεις των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών που χρησιμοποιούν κυρίως άνθρακα, φυσικό αέριο αλλά και πετρέλαιο και το γεγονός του ότι το κόστος ηλεκτροπαραγωγής για τα πυρηνικά δεν επηρεάζεται από την αύξηση των τιμών εκπομπών είναι οι κύριοι λόγοι για :

- ✓ την δημιουργία αποδοτικών χαρτοφυλακίων μικρότερων αποδόσεων σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο
- ✓ την ποσοστιαία αύξηση της συνεισφοράς της πυρηνικής τεχνολογίας στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου που δεν πέφτει σε ποσοστό μικρότερο από εκείνο που καταλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο ελαχίστου ρίσκου

Συγχρόνως, παρατηρούμε μείωση της συμμετοχής κυρίως του άνθρακα που φτάνει σε μέγιστο ποσοστό του 6,92%. και οριακή μείωση της συνεισφοράς του φυσικού αερίου (μέγιστο ποσοστό 41,08%) συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο. Το πετρέλαιο παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το προηγούμενο σενάριο συμμετέχοντας σε αποδοτικά χαρτοφυλάκια με ελάχιστα μικρότερο επίπεδο απόδοσης. Αυτό δικαιολογείται κυρίως από το γεγονός του ότι η απόδοση των ενεργειακών τεχνολογιών που χρησιμοποιούν πετρέλαιο υφίσταται ελάχιστη μείωση συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο λόγω της αύξησης των τιμών εκπομπών.

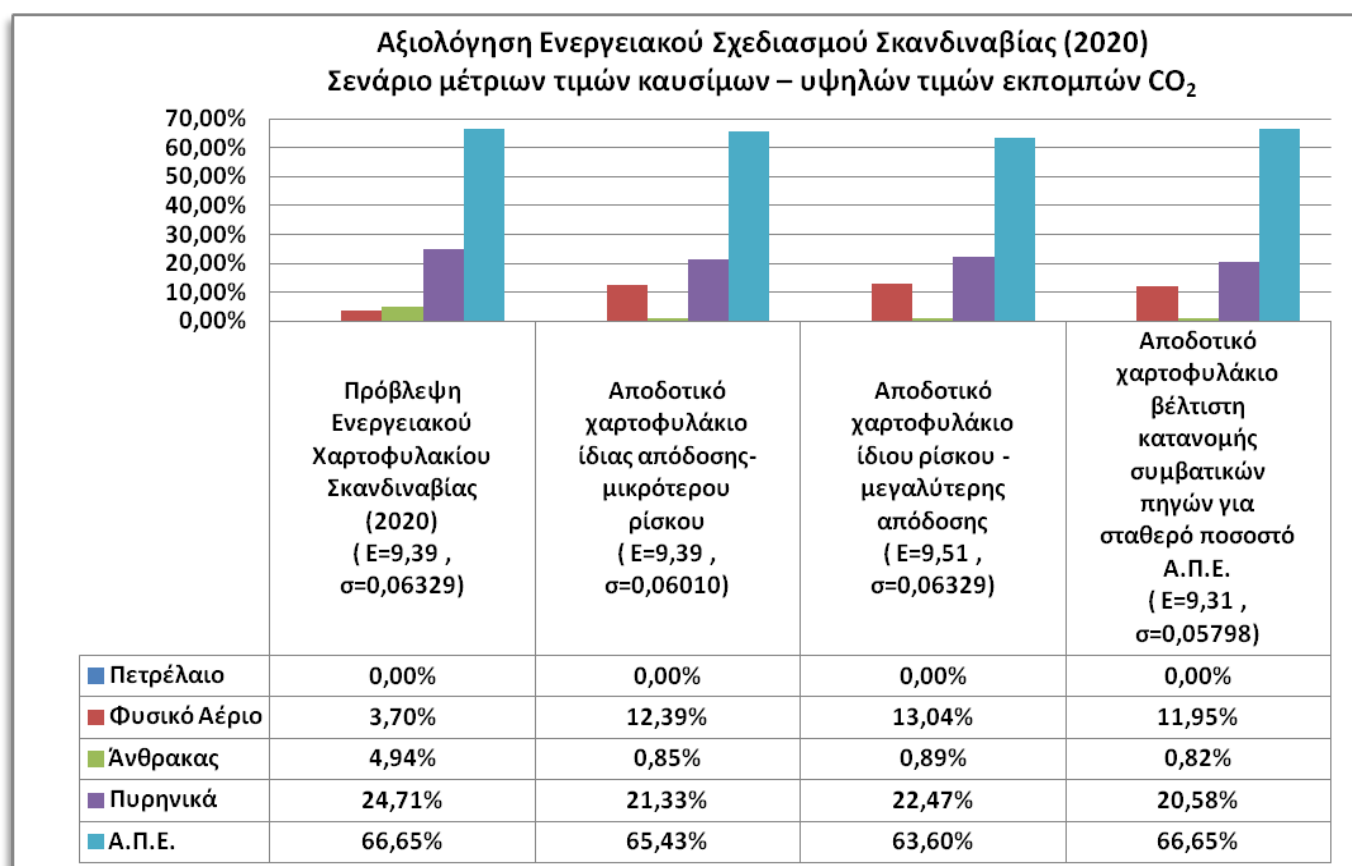
Μετά την εισαγωγή του ακίνδυνου ενεργειακού αξιόγραφου που διατηρεί την ίδια απόδοση σε όλα τα προς μελέτη σενάρια όλων των ετών, το χαρτοφυλάκιο Μ αποκτά διαφορετική σύνθεση σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Συγκεκριμένα, η ποσοστιαία συνεισφορά των πυρηνικών σε αυτό αυξάνεται στο 61,70% η συμμετοχή του άνθρακα περιορίζεται στο 2,46% , ενώ παρατηρούμε μια οριακή μείωση της συμμετοχής του φυσικού αερίου στο 35,84%. Η απόδοση του χαρτοφυλακίου Μ μειώνεται αποκτώντας τιμή 13,60 kWh/€ συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο όπου η απόδοση του κυμαινόταν στη τιμή 13,90 kWh/€ ενώ η τυπική του απόκλιση λαμβάνει αυξάνεται λίγο στην τιμή 0,173855 . Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνθεση των βέλτιστων χαρτοφυλακίων κατά μήκος του αποδοτικού συνόρου που συμπεριλαμβάνει και τις Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε περαιτέρω μείωση της συνεισφοράς του άνθρακα συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο που φτάνει σε μέγιστο ποσοστό ποσοστιαίας συμμετοχής στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια ίσο με

2,46%. Η συμμετοχή της πυρηνικής τεχνολογίας είναι εμφανώς αυξημένη συγκριτικά με το προηγούμενο σενάριο ενώ η συμμετοχή του φυσικού αερίου κυμαίνεται σε περίπου ίδια επίπεδα με οριακή ποσοστιαία μείωση του μέγιστου ποσοστού του στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια.



Γράφημα 2.41: Αποδοτικό Σύνоро και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Ακολουθώντας, θα συγκρίνουμε το προβλεπόμενο ενεργειακό χαρτοφυλάκιο ηλεκτροπαραγωγής της Σκανδιναβίας για το 2020 με τις τρεις προτάσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Ομοίως με το προηγούμενο σενάριο, δεν αναμένουμε σημαντικές βελτιωτικές αλλαγές στο συνδυασμό απόδοσης – ρίσκου. Ομοίως με πριν, παρατηρούμε προτάσεις παρόμοιας ποσοστιαίας αύξησης του φυσικού αερίου αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με το προηγούμενο σενάρια εξαιτίας της οριακά μειωμένης απόδοσης των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Οι προτάσεις για την συμβατική πηγή του άνθρακα αφορούν αισθητή πλέον μείωση του σε ποσοστά κάτω του 1% , όπως και αναμέναμε εξαιτίας της πτώσης της απόδοσης του λόγω των τιμών εκπομπής. Οι προτάσεις για την πυρηνική τεχνολογία κυμαίνονται πλέον σε ποσοστά πιο κοντά στη πρόβλεψη του Nordic Energy Research για το 2020 εξαιτίας του ότι η απόδοση της δεν αλλάζει σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο. Τέλος, η συμμετοχή των Α.Π.Ε. κινείται περίπου στα ίδια ποσοστά με εκείνα του προβλεπόμενου μίγματος.

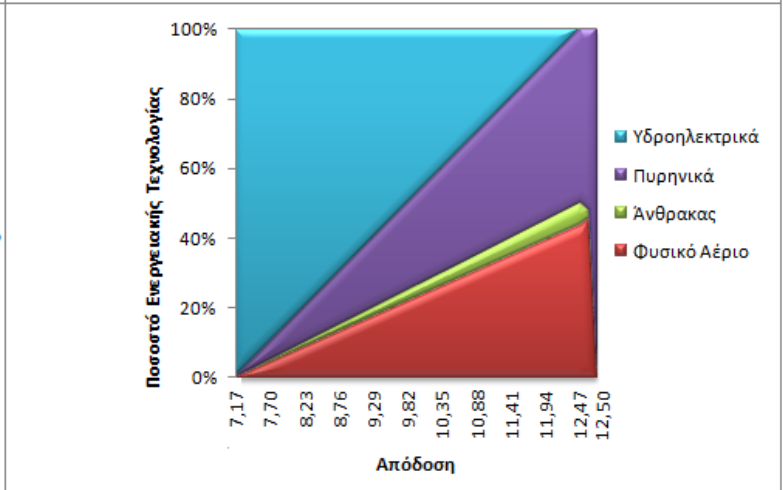
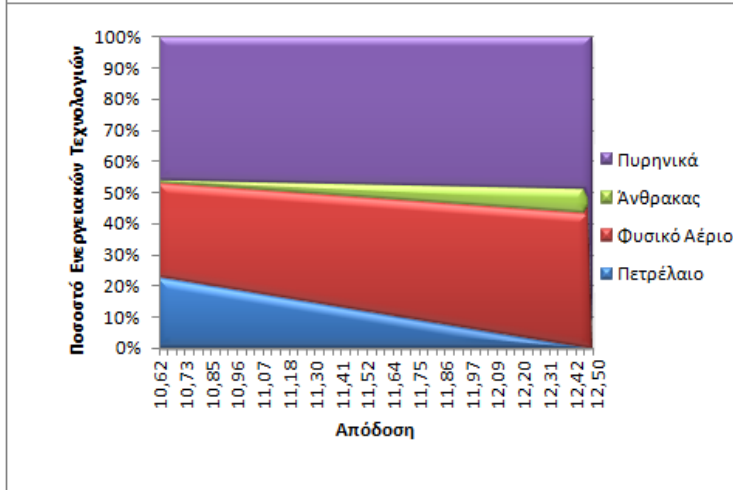
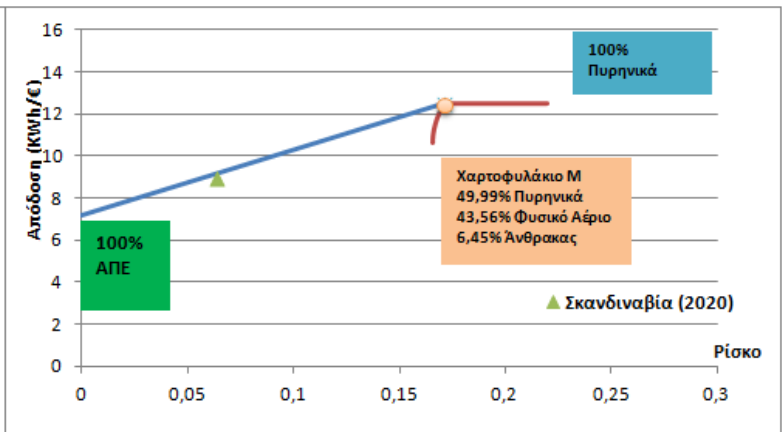
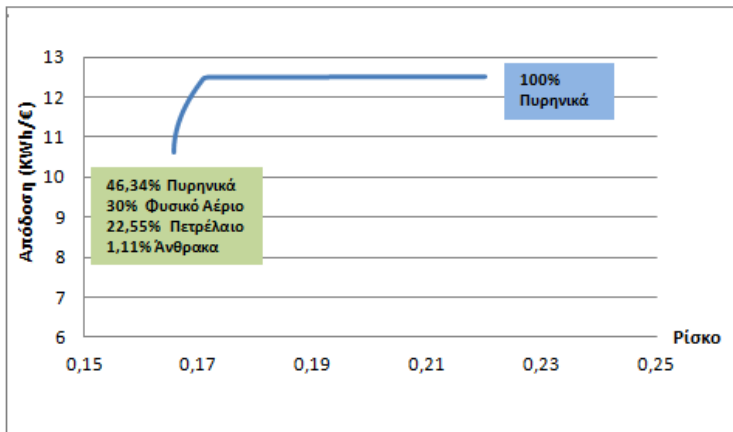


Γράφημα 2.42: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

2.5.3.4. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Το συγκεκριμένο σενάριο χαρακτηρίζεται από τις υψηλές τιμές καυσίμων για το έτος 2020. Όπως αναφέραμε και στην ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης για τα κόστη ηλεκτροπαραγωγής και των αποδόσεων στην αντίστοιχη ενότητα, οι ενεργειακές τεχνολογίες άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου παρουσιάζουν περαιτέρω μείωση συγκριτικά με το 1^ο σενάριο ενώ παράλληλα και η απόδοση της ενεργειακής τεχνολογίας των πυρηνικών δεν παραμένει ανεπηρέαστη από την αύξηση των τιμών των καυσίμων.

Το νέο αποδοτικό σύνορο για τις συμβατικές πηγές στο συγκεκριμένο σενάριο, περιλαμβάνει βέλτιστα χαρτοφυλάκια με περαιτέρω μειωμένες αποδόσεις συγκριτικά με τα δύο προηγούμενα σενάρια οι οποίες ξεκινάνε από 10,62 kWh/€ (απόδοση χαρτοφυλακίου ελαχίστου ρίσκου) και φτάνουν μέχρι και 12,5 kWh/€ (μέγιστη απόδοση χαρτοφυλακίου που αποτελείται εξολοκλήρου από πυρηνικά). Στην σύνθεση των συμβατικών αποδοτικών χαρτοφυλακίων συνεχίζει και ηγείται ποσοστιαία η πυρηνική τεχνολογία αλλά γίνεται κάτι περισσότερο από εμφανής η επιρροή των αυξήσεων των τιμών καυσίμων στην απόδοση της. Το χαρτοφυλάκιο **M** του βέλτιστου συνδυασμού των συμβατικών πηγών στο νέο αποδοτικό σύνορο μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. παρουσιάζει μικρότερη τιμή απόδοσης συγκριτικά με τα άλλα δύο σενάρια (12,47 kWh/€) και η τυπική του απόκλιση ισούται με 0,170844. Αποτελείται από 49,99% από πυρηνικά, 43,56% από φυσικό αέριο και 6,45% από άνθρακα. Ακολούθως επισυνάπτεται σχετικό γράφημα με τα αποδοτικά σύνορα και τις συνθέσεις των βέλτιστων χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 στο εν λόγω σενάριο.



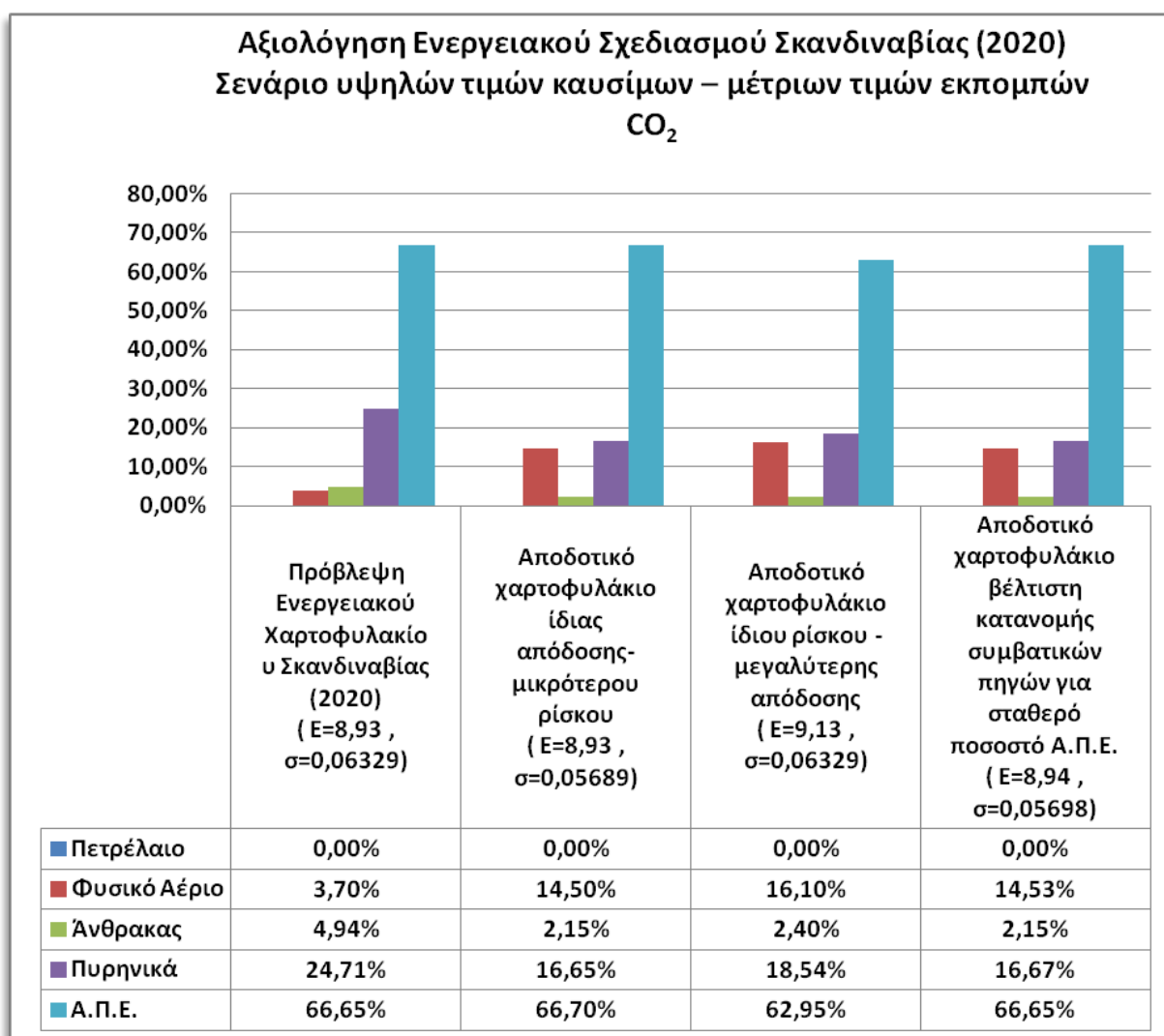
Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες)

Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.)

Γράφημα: 2.43 Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Οι τρεις προτάσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων που αντιπαρατίθενται με την προβλεπόμενο μίγμα της Σκανδιναβίας για το 2020 δεν αποφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στην αναμενόμενη απόδοση και στον κίνδυνο χαρτοφυλακίου όπως και αναμέναμε εξαιτίας της πολύ κοντινής σημειακής απεικόνισης του Σκανδιναβικού μίγματος στο αποδοτικό σύνορο. Εξάγουμε λοιπόν προτάσεις παρόμοιας και λίγο μεγαλύτερης ποσοστιαίας αύξησης του φυσικού αερίου συγκριτικά με τα άλλα δύο σενάρια. Αν και μοιάζει παράδοξο το γεγονός προτάσεων αύξησης της συμμετοχής του φυσικού αερίου, δεν θα πρέπει να ξεχνάμε τα αποτελέσματα για τα επίπεδα των αποδόσεων των ενεργειακών πηγών για το έτος 2020 στο σενάριο αυτό. Τα πυρηνικά υπολογίστηκαν ως η αποδοτικότερη πηγή με 12,5 kWh/€ ενώ στην δεύτερη θέση βρίσκεται το φυσικό αέριο με ελάχιστη διαφορά (12,47 kWh/€). Επιπροσθέτως, οι

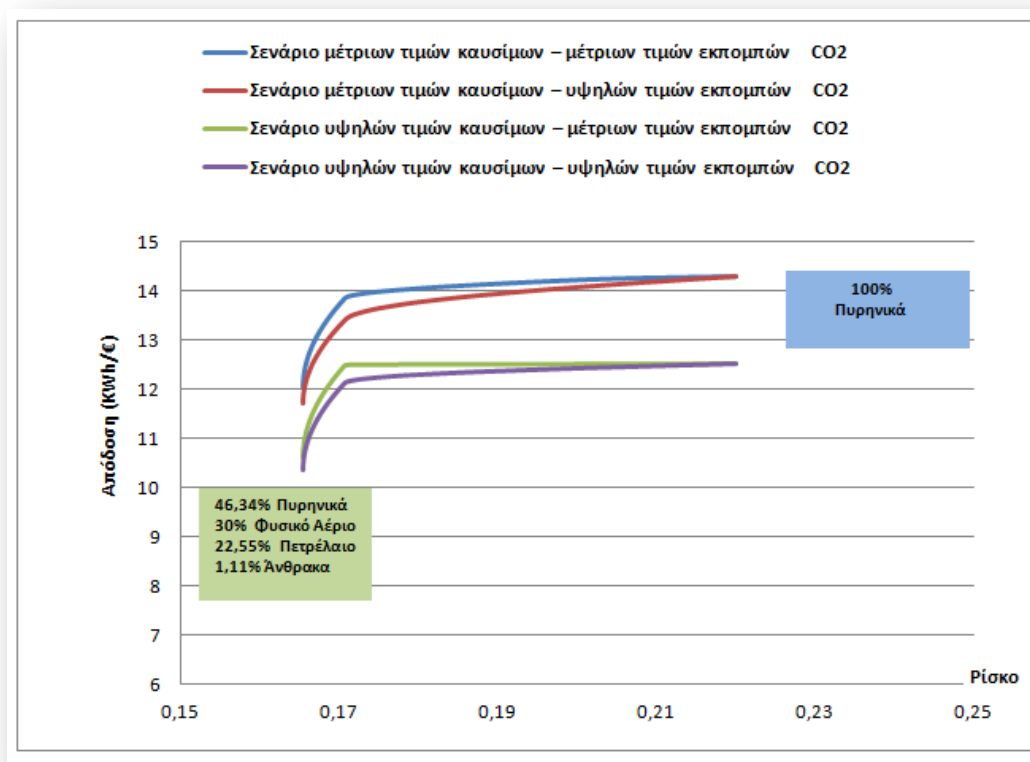
τυπικές αποκλίσεις των δύο αυτών συμβατικών ενεργειακών πηγών υπολογίστηκε ότι έχουν μικρή διαφορά. Οι περιπτώσεις για τον άνθρακα αφορούν μείωση του σε ποσοστά από 2,15% έως και 2,40% , όπως και αναμέναμε. Οι βελτιωτικές προτάσεις για την πυρηνική τεχνολογία εμπεριέχουν πτωτικές ποσοστιαίες τάσεις και αναπαριστούν ποσοστά από 16,65% έως και 18,54%. Τέλος, η συμμετοχή των Α.Π.Ε. αντικατοπτρίζεται στα ίδια περίπου ποσοστά με εκείνα του προβλεπόμενου μίγματος με μικρές αποκλίσεις αναλόγως την πρόταση.



Γράφημα 2.44: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

2.5.3.5. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Το σενάριο αυτό εμπεριέχει ταυτόχρονα υψηλές τιμές καυσίμων και υψηλές τιμές εκπομπών για το έτος 2020. Οι υψηλές τιμές καυσίμων επηρεάζουν την απόδοση και των τεσσάρων συμβατικών ενεργειακών πηγών ενώ οι υψηλές τιμές εκπομπών επηρεάζουν μόνο το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον άνθρακα. Οι αποδόσεις για τις Α.Π.Ε. δεν επηρεάζονται σε κανένα από τα προς μελέτη σενάρια. Ακολούθως επισυνάπτεται το συγκεντρωτικό γράφημα με τα συμβατικά αποδοτικά σύνορα για τα τέσσερα προς μελέτη σενάρια του έτους 2020.

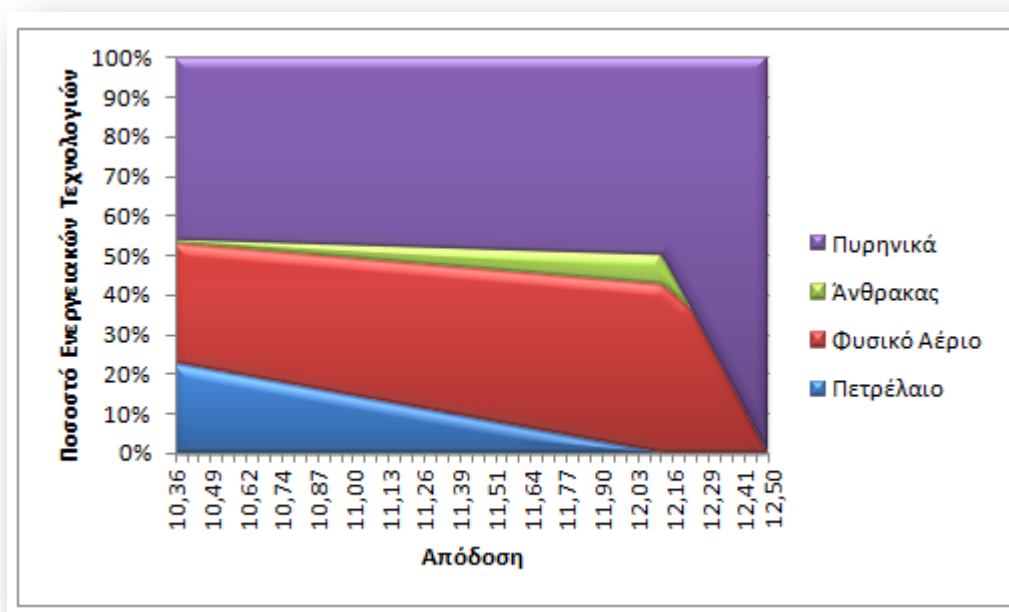


Γράφημα 2.45: Σύγκριση Αποδοτικών Συνόρων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) για όλα τα σενάρια

Στο συγκεκριμένο σενάριο το νέο συμβατικό αποδοτικό σύνορο αποτελείται από χαρτοφυλάκια με ακόμα μικρότερες αποδόσεις συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια που μελετήθηκαν με το χαρτοφυλάκιο ελαχίστου κινδύνου να εμφανίζει απόδοση 10,36 kWh/€ και το χαρτοφυλάκιο μέγιστης αναμενόμενης απόδοσης (100%

πυρηνικά) να έχει απόδοση 12,5 kWh/€. Η σύνθεση του χαρτοφυλακίου ελαχίστου ρίσκου παραμένει ίδιο σε όλα τα σενάρια καθώς εξαρτάται μόνο από τις τυπικές αποκλίσεις των συμβατικών πηγών. Επιπροσθέτως, το χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης συγκροτείται σε όλες τις περιπτώσεις εξ' ολοκλήρου από πυρηνικά καθότι σε όλα τα προς μελέτη σενάρια του 2020 η αποδοτικότερη ενεργειακή πηγή είναι τα πυρηνικά.

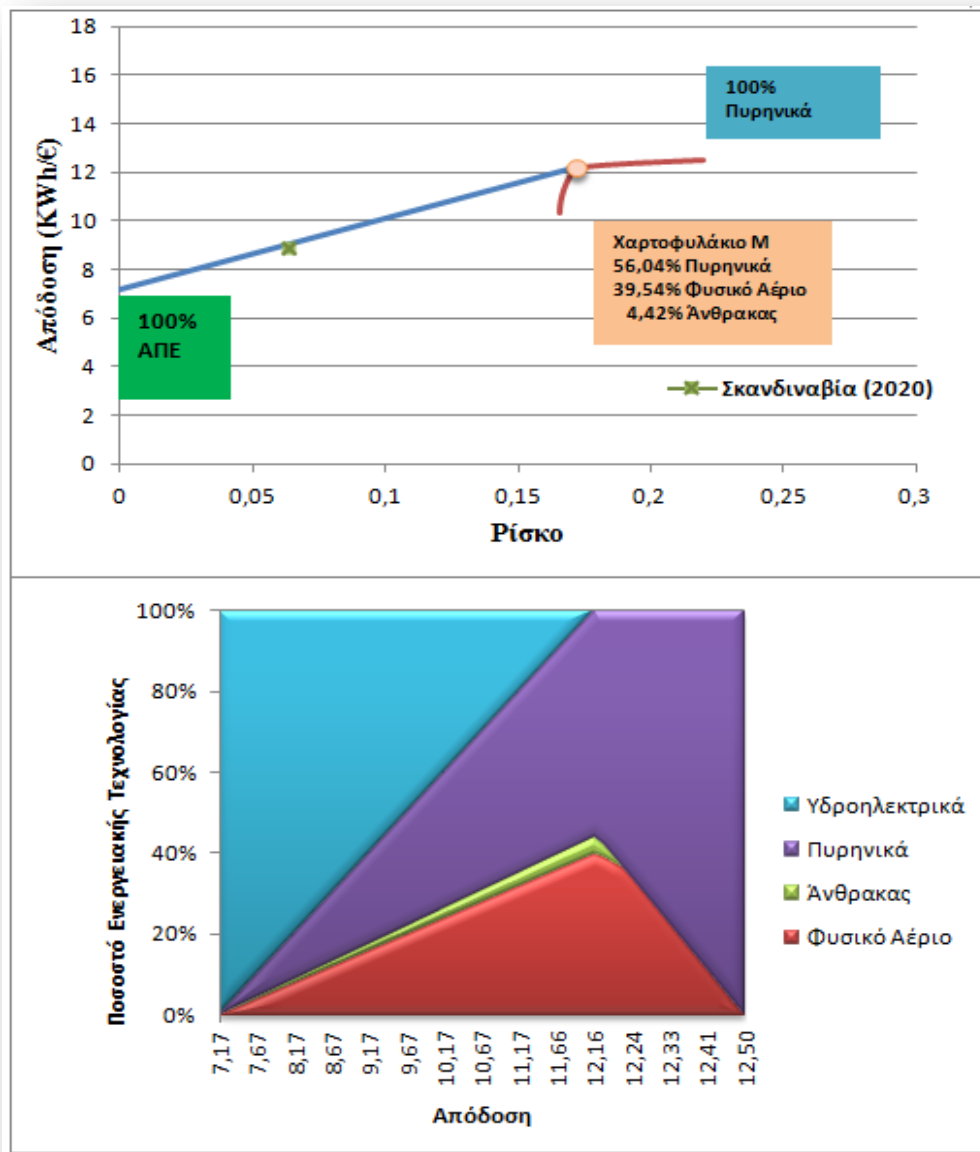
Καθώς κινούμαστε πάνω στο αποδοτικό σύνορο του συγκεκριμένου σεναρίου προς χαρτοφυλάκια μεγαλύτερου ρίσκου, η πυρηνική τεχνολογία ομοίως με τα προηγούμενα σενάρια του 2020 ξεκινάει με ποσοστό 46,34% μέχρι και ποσοστό 100% στο άνω άκρο του συνόρου. Παράλληλα, το ποσοστό του πετρελαίου συνεχώς φθίνει μέχρι και τον μηδενισμό του στο σημείο μέγιστης ποσοστιαίας τιμής του φυσικού αερίου (ποσοστό: 42,16%). Από το σημείο αυτό και έπειτα παρατηρούμε ποσοστιαία πτώση του φυσικού αερίου όπου και καταλήγει στον μηδενισμό του πριν το χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης του συνόρου.



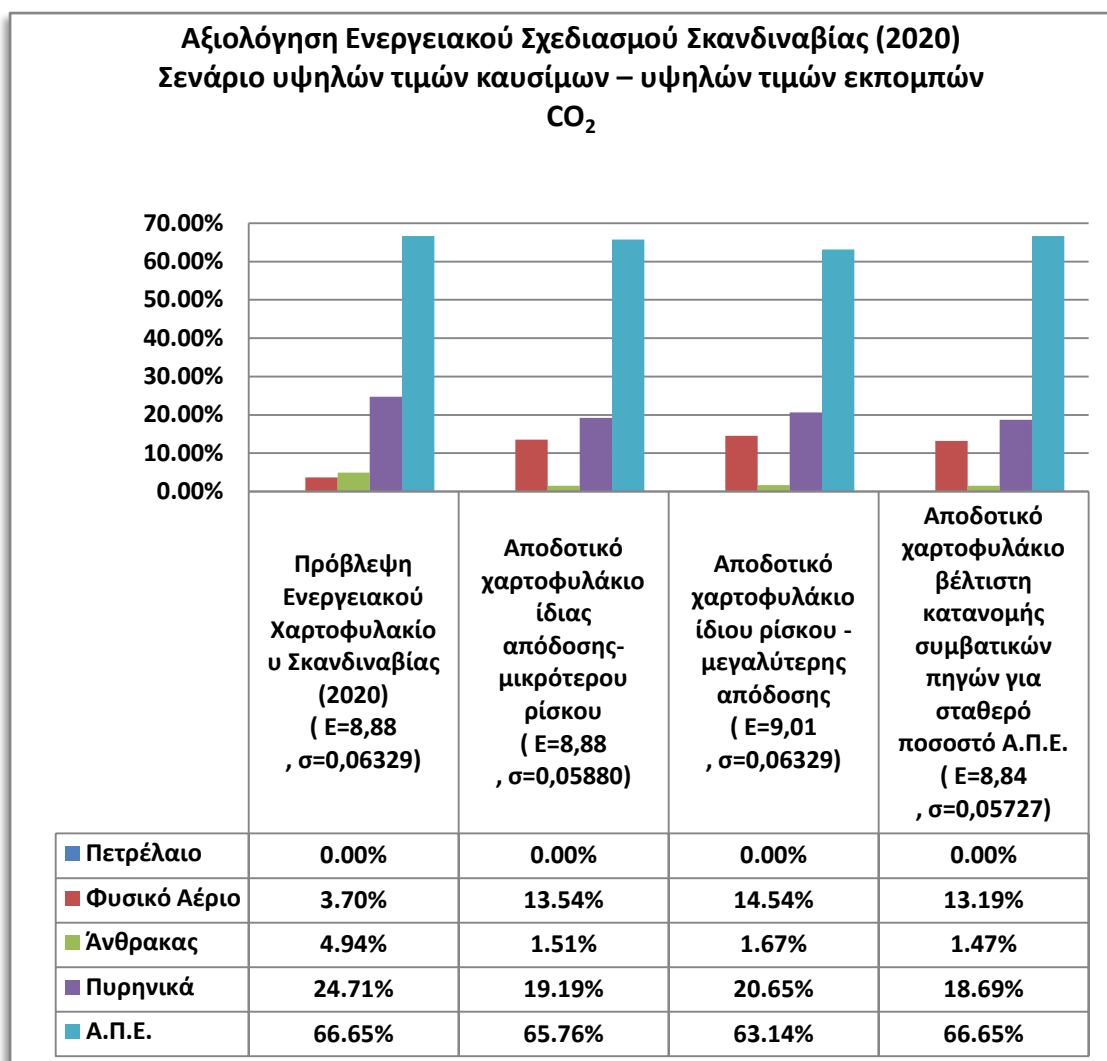
Γράφημα 2.46: Σύνθεση αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂)

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. όπως επίσης και η αντιπαράθεση του προβλεπόμενου μίγματος της Σκανδιναβίας με τις τρεις αποδοτικές

προτάσεις για το έτος 2020 στα πλαίσια του συγκεκριμένου σεναρίου , απεικονίζονται στα δύο γραφήματα που επισυνάπτονται ακολούθως.



Γράφημα 2.47: Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2020 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂



Γράφημα 2.48: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2020 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

2.5.4 Αποτελέσματα και Αξιολόγηση του Ενεργειακού Σχεδιασμού για το έτος 2030

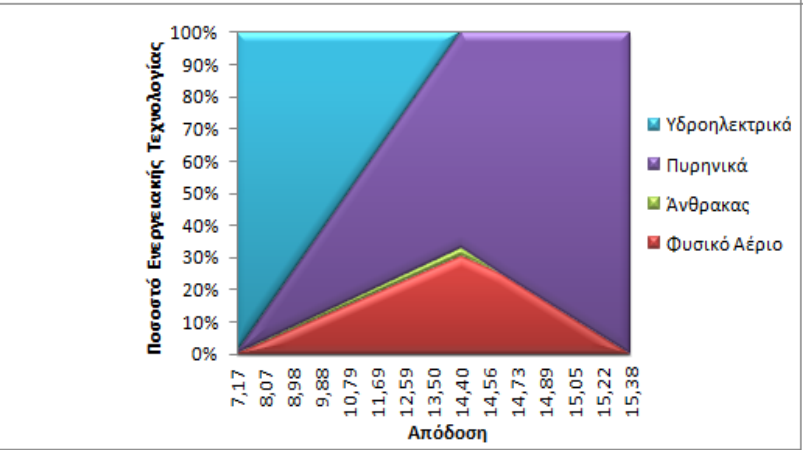
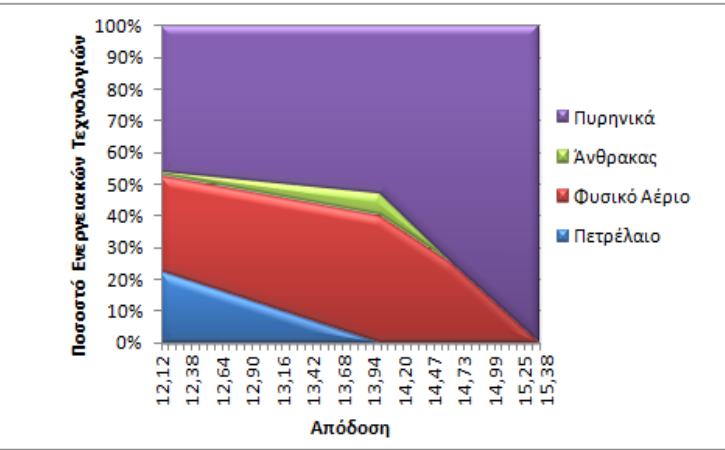
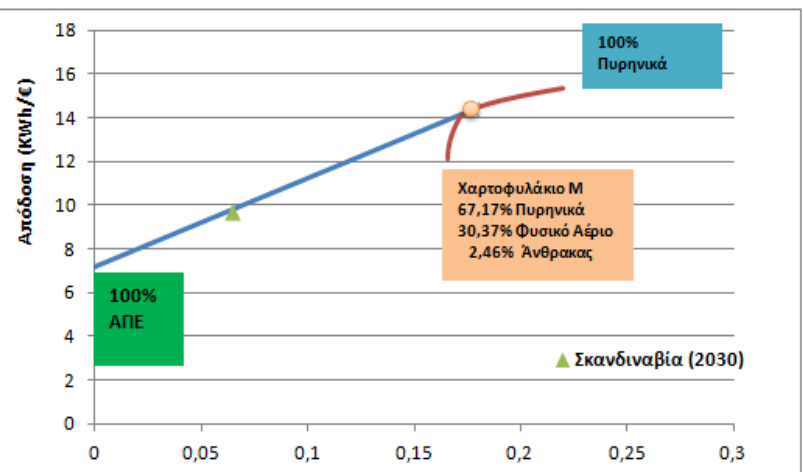
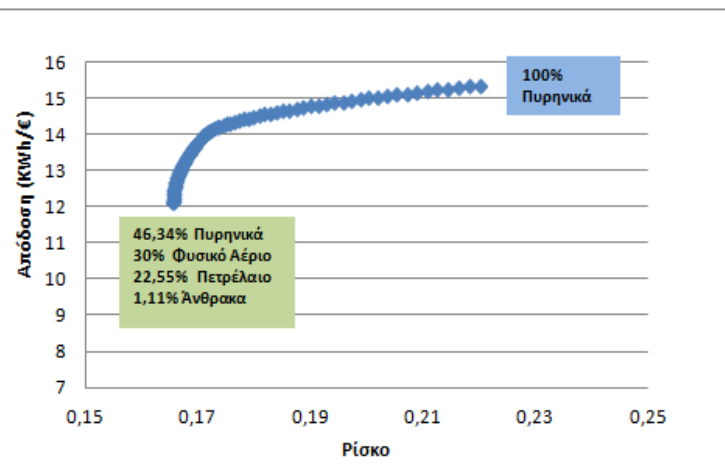
2.5.4.1. Εισαγωγή

Τα επίπεδα τιμών των αποδόσεων για τις ενεργειακές πηγές το έτος 2030, μας προϊδεάζουν για την σύνθεση των αποδοτικών χαρτοφυλακίων και αποδοτικών συνόρων. Η πυρηνική τεχνολογία είναι πλέον, με μεγαλύτερη διαφορά, η αποδοτικότερη όλων και άρα θα κυριαρχεί ποσοστιαία στα αποδοτικά ενεργειακά

χαρτοφυλάκια, κυρίως στα σενάρια υψηλών τιμών εκπομπής CO₂. Η συνεισφορά του φυσικού αερίου μειώνεται σημαντικά εξαιτίας της πτώσης της απόδοσης των ενεργειακών τεχνολογιών που το χρησιμοποιούν και τα ποσοστά του άνθρακα μειώνονται ακόμα περισσότερο συγκριτικά με το 2020. Συγκεκριμένα, στα δύο σενάρια που περιλαμβάνουν υψηλές τιμές εκπομπών τα ποσοστά του άνθρακα έχουν μηδενιστεί τελείως σε όλα τα αποδοτικά ενεργειακά χαρτοφυλάκια μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων για το έτος 2030 θα γίνει ομοίως με εκείνη που πραγματοποιήθηκε για το 2020 και θα την συνοδεύσει η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας με τρεις προτάσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων να αντιπαρατίθενται με το προβλεπόμενο ενεργειακό της μίγμα για το 2030.

2.5.4.2. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Τα συνολικά αποτελέσματα και οι προτάσεις μας για το συγκεκριμένο σενάριο του έτους 2030 απεικονίζονται διαγραμματικά στο ακόλουθο γράφημα. Αξίζει να αναφερθούμε στην αισθητή αύξηση της συνεισφοράς των πυρηνικών συγκριτικά με το αντίστοιχο σενάριο στο έτος 2020 τόσο στα τόσο συμβατικά αποδοτικά χαρτοφυλάκια, όσο και στο και σε εκείνα που προκύπτουν μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Το προβλεπόμενο ενεργειακό μίγμα του Σκανδιναβικού συμπλέγματος για το 2030 βρίσκεται για ακόμα μια φορά πολύ κοντά στο αντίστοιχο αποδοτικό σύνορο και άρα περιμένουμε ελάχιστα οφέλη από τις προτάσεις αποδοτικών χαρτοφυλακίων στην αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού. Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν κρίνεται αναγκαία εξαιτίας της ομοιότητας των αποτελεσμάτων με προηγούμενη ανάλυση.

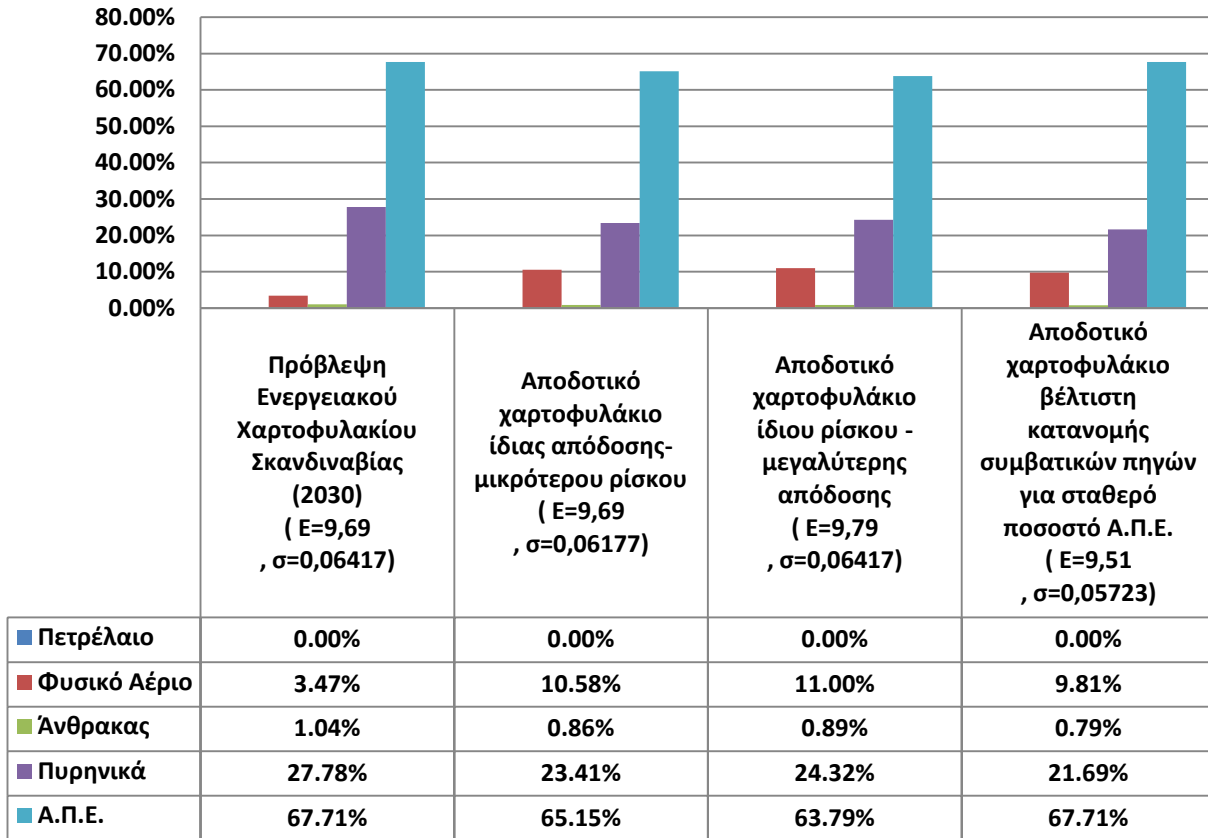


Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες)

Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.)

Γράφημα 2.49: Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

**Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2030)
Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών
CO₂**

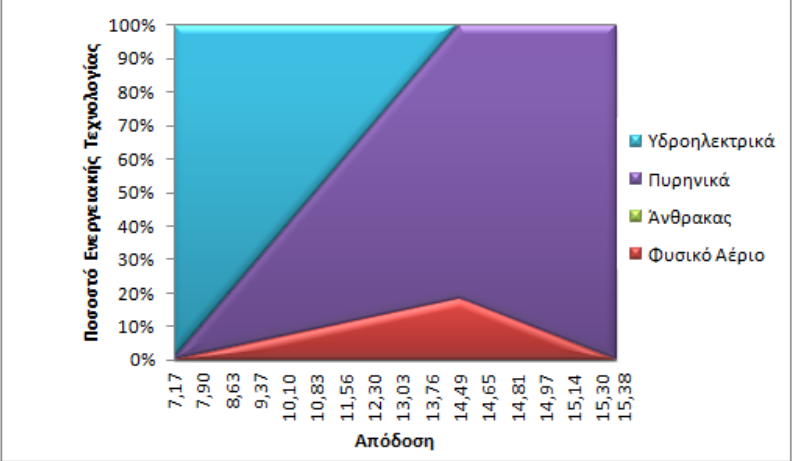
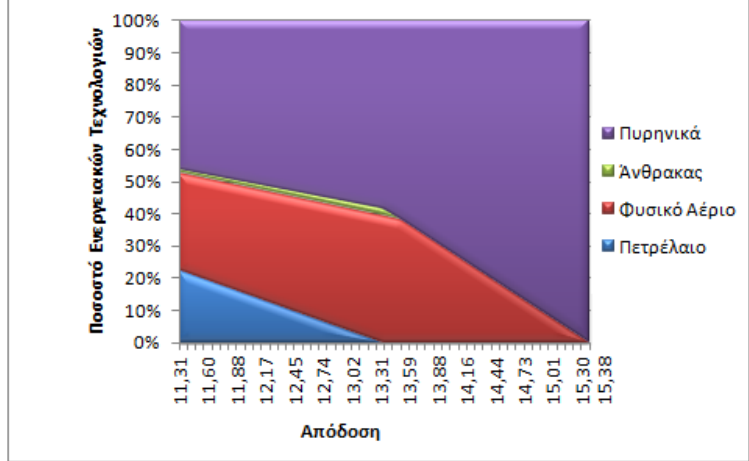
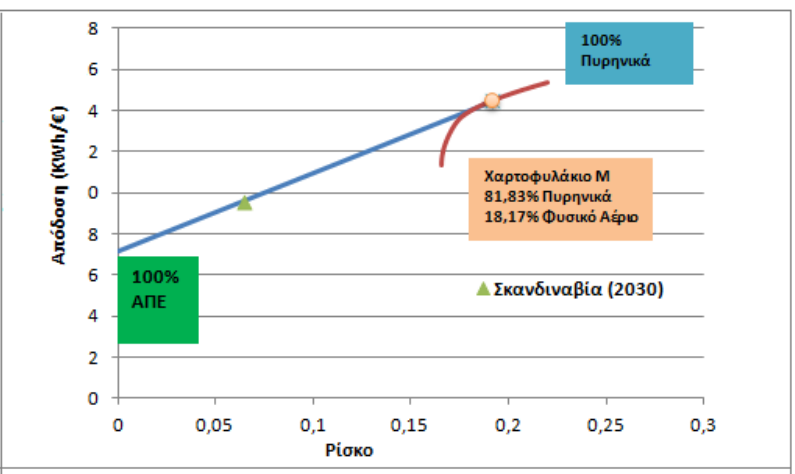
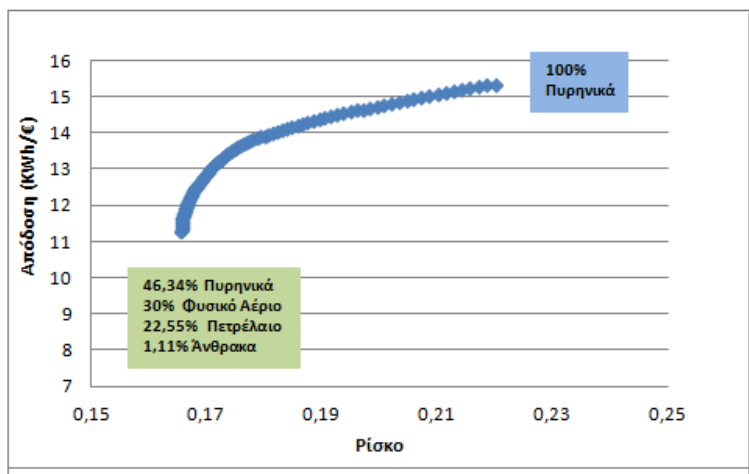


Γράφημα 2.50: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

2.5.4.3. Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Στο συγκεκριμένο σενάριο, η διαφορά των αποδόσεων των πυρηνικών με τις υπόλοιπες ενεργειακές πηγές είναι η μεγαλύτερη που καταγράφηκε κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για όλα τα προς μελέτη σενάρια. Αναμένουμε λοιπόν την ποσοστιαία κυριαρχία των πυρηνικών τόσο στα συμβατικά αποδοτικά χαρτοφυλάκια όσο και σε εκείνα που προκύπτουν μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Για του λόγου το

αληθές, το χαρτοφυλάκιο **M** αποτελείται πλέον κατά 81,83% από πυρηνικά και 18,17% από φυσικό αέριο. Ο άνθρακας όπως και το πετρέλαιο δεν συμμετέχουν στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Όλες οι προτάσεις μας για το Σκανδιναβικό ενεργειακό μίγμα θα περιλαμβάνουν μηδενικά ποσοστά πετρελαίου και άνθρακα. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε για ακόμα μια φορά την ορθότητα της ενεργειακής πολιτικής που σκοπεύει να εφαρμόσει το Σκανδιναβικό σύμπλεγμα σε ορίζοντα 15ετίας για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών CO₂. Τα προτεινόμενα ποσοστά τόσο για τα πυρηνικά και το φυσικό αέριο όσο και για τις Α.Π.Ε. είναι πάρα πολύ κοντά στα προβλεπόμενα για το 2030. Τα προτεινόμενο αποδοτικό ενεργειακό χαρτοφυλάκιο μεγαλύτερης απόδοσης, μας προσφέρει απόδοση 9,62 kWh/€. έναντι 9,59 kWh/€. του ενεργειακού μίγματος ενώ τα οφέλη μας όσον αφορά το ρίσκο είναι επίσης ελάχιστα (η τυπικές αποκλίσεις διαφέρουν από το τρίτο δεκαδικό και έπειτα σε σχέση με το προβλεπόμενο μίγμα). Τέλος η προτεινόμενη συμμετοχή των Α.Π.Ε. που στην πρόβλεψη αγγίζει το 67,71%, δεν αφορά περαιτέρω αύξηση τους. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός του ότι η απόδοση των υδροηλεκτρικών παραμένει αμετάβλητη και ίση με το επίπεδο του 2011. Βέβαια, πλέον η διαφορά συγκριτικά με τις αποδόσεις του φυσικού αερίου και του άνθρακα είναι πολύ μικρή. Ακολούθως, επισυνάπτουμε τα σχετικά αποτελέσματα και τις αποδοτικές προτάσεις χαρτοφυλακίων.

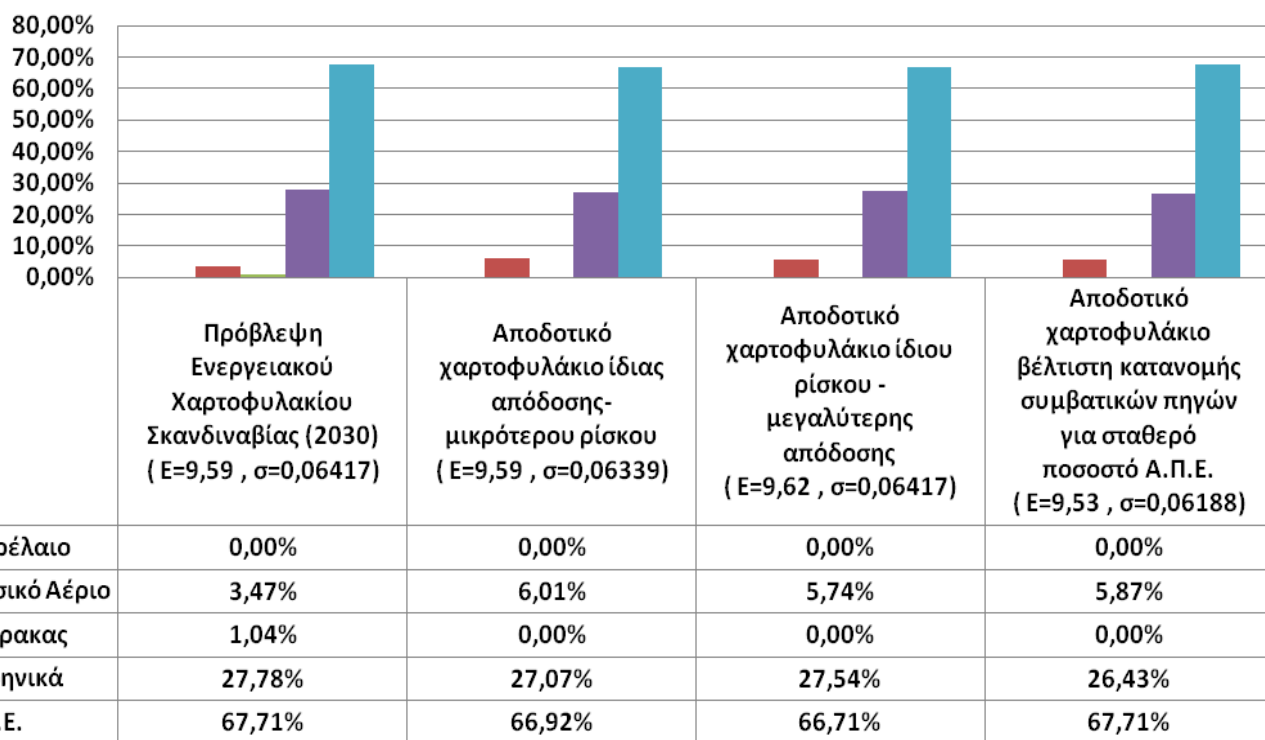


Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες)

Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.)

Γράφημα 2.51: Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

**Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2030)
Σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂**

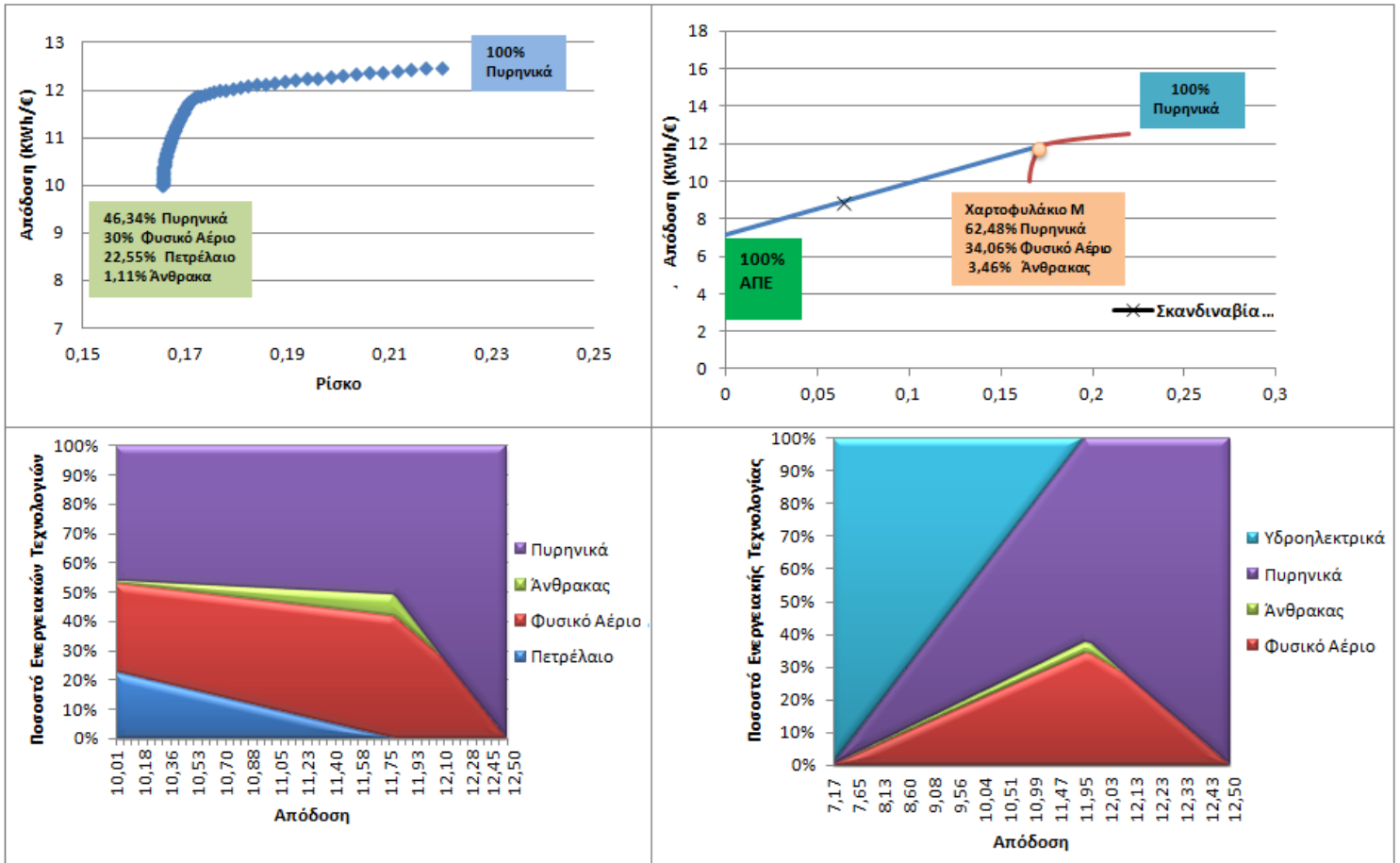


Γράφημα 2.52: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

2.5.4.4. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

Το σενάριο αυτό , όπως αναφέραμε και στην ανάλυση για το 2020, περιλαμβάνει και τις υψηλές τιμές καυσίμων και δεν αφήνει ανεπηρέαστη την πυρηνική τεχνολογία που διατηρεί σταθερή την απόδοση της συγκριτικά με το 2020. Ωστόσο η απόδοση της παρουσιάζει σαφώς μεγαλύτερη διαφορά με τις αποδόσεις του άνθρακα και του φυσικού αερίου σε σχέση με το ίδιο σενάριο του 2020. Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζεται τόσο στα αποτελέσματα των βέλτιστων συνδυασμών απόδοσης – κινδύνου πριν και μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. όσο και στις προτάσεις αξιολόγησης του προβλεπόμενου ενεργειακού σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται διαγραμματικά ακολούθως ενώ περαιτέρω περιγραφή των

αποτελεσμάτων δεν θεωρείται αναγκαία εξαιτίας παρόμοιας ανάλυσης που προηγήθηκε.

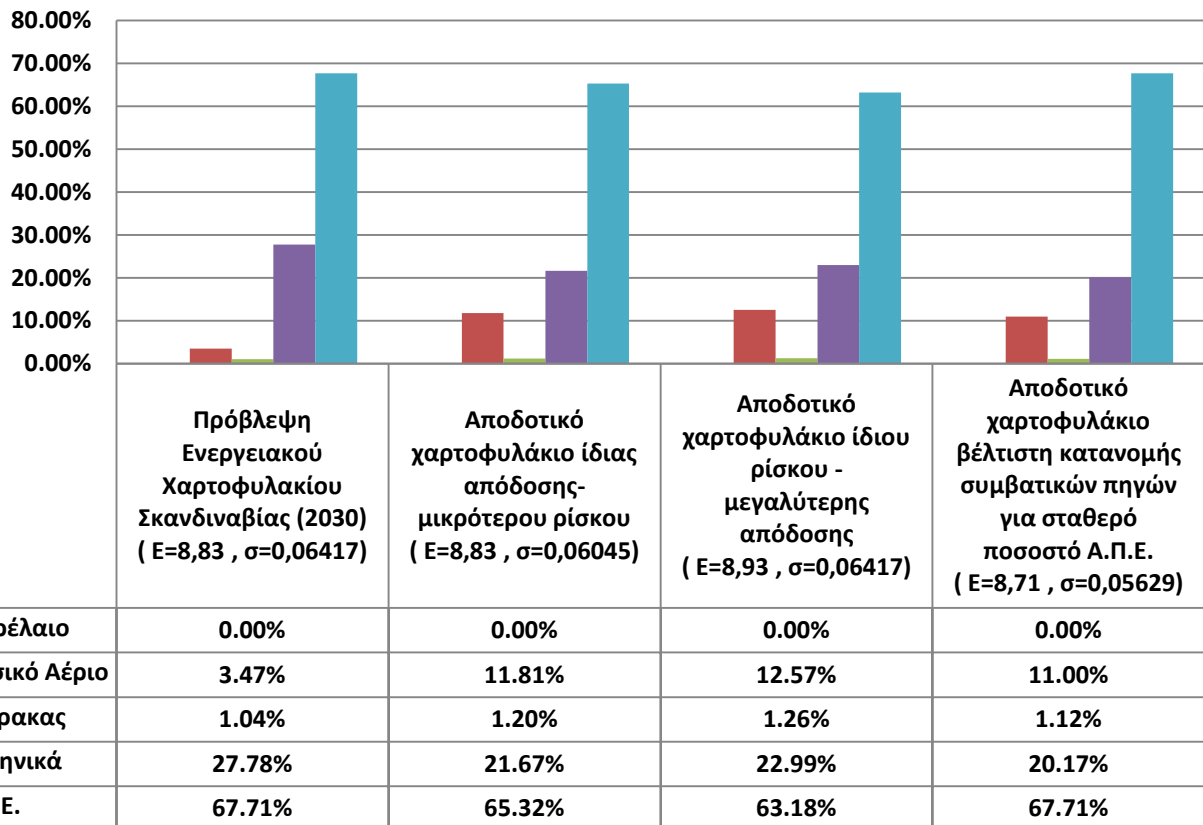


Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες)

Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.)

Γράφημα 2.53: Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

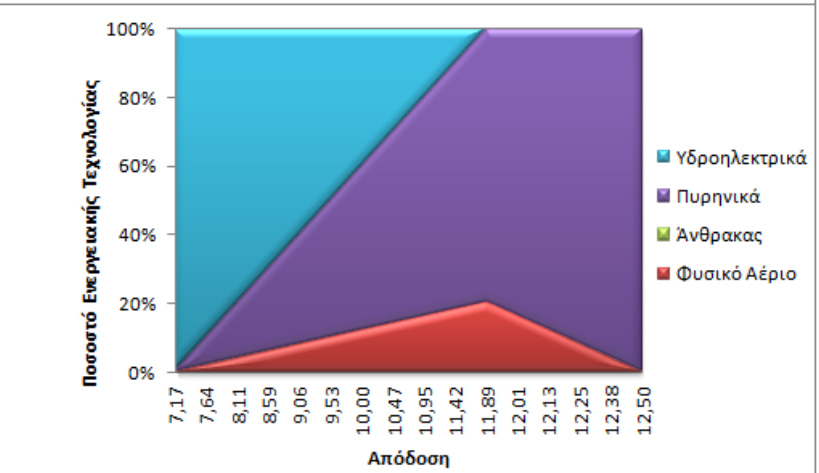
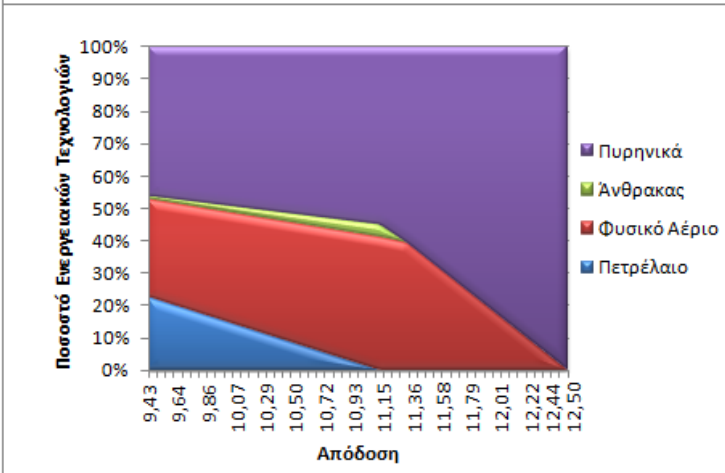
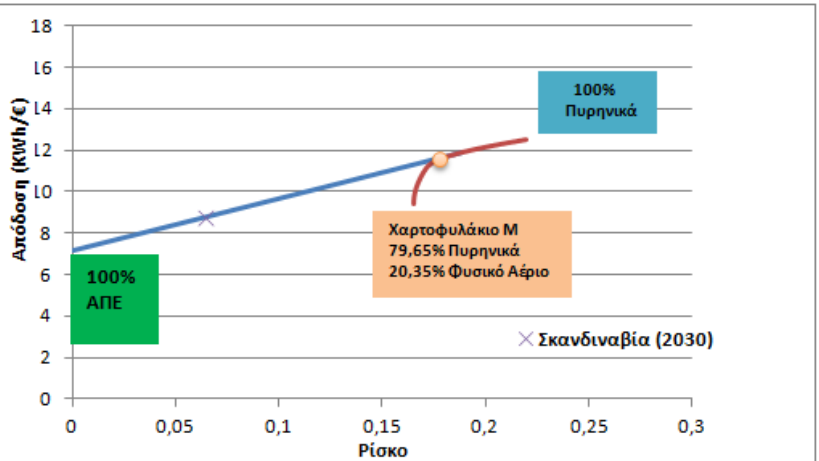
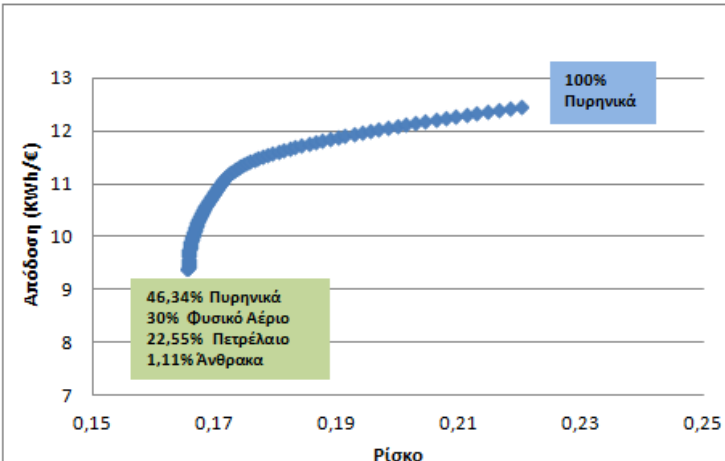
Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2030)
Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂



Γράφημα 2.54: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂

2.5.4.5. Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Η παράλληλη αύξηση των τιμών καυσίμων και των τιμών εκπομπών επηρεάζει το επίπεδο τιμών των αποδόσεων όλων των συμβατικών ενεργειακών πηγών. Ωστόσο, η σύγκριση των ετών 2020 και 2030 για το συγκεκριμένο σενάριο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και παρουσιάζει ομοιότητες με την αντίστοιχη σύγκριση που έγινε για τα έτη 2020 και 2030 στο σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών. Κύρια ομοιότητα τους είναι η παραπλήσια σύνθεση του χαρτοφυλακίου **M** το γεγονός του ότι ο άνθρακας όπως και το πετρέλαιο δεν συμμετέχουν στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Τα αποτελέσματα και οι προτάσεις βέλτιστων χαρτοφυλακίων επισυνάπτονται παρακάτω.

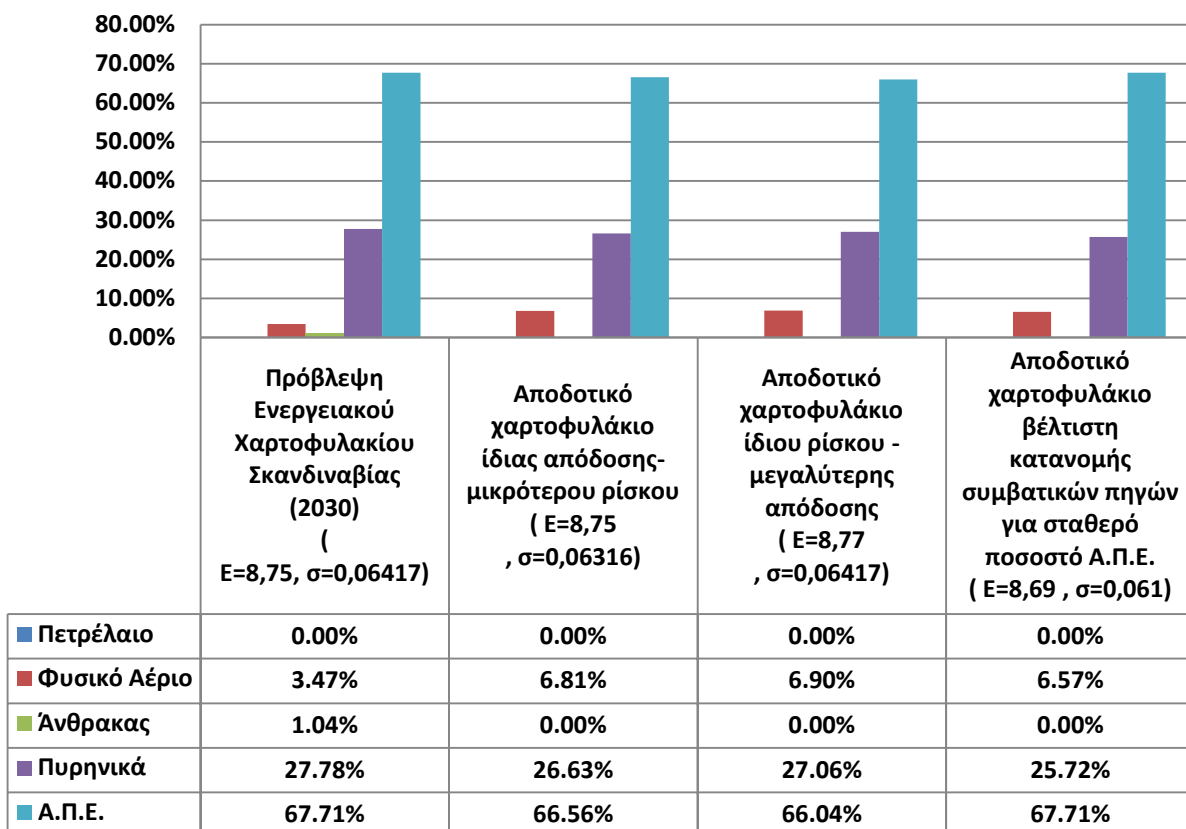


Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες)

Αποδοτικό Σύνορο και σύνθεση ενεργειακών χαρτοφυλακίων (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.)

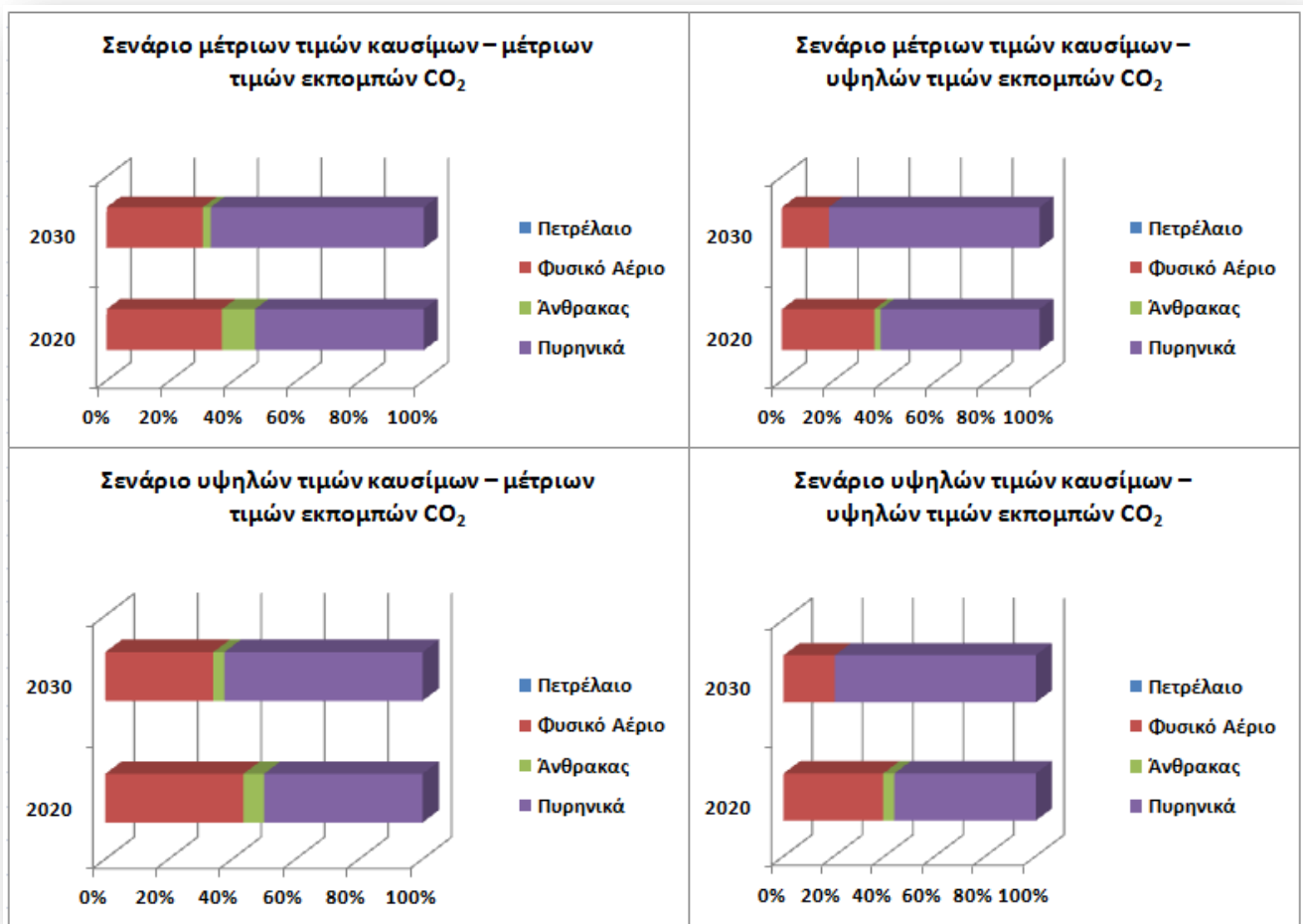
Γράφημα 2.55: Αποδοτικά Σύνορα και συνθέσεις αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων για το έτος 2030 (Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες - Συμβατικές Ενεργειακές Τεχνολογίες με Α.Π.Ε.) στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Αξιολόγηση Ενεργειακού Σχεδιασμού Σκανδιναβίας (2030)
Σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂



Γράφημα 2.56: Αξιολόγηση Ενεργειακού σχεδιασμού της Σκανδιναβίας για το έτος 2030 στο σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂

Τέλος, επισυνάπτουμε σε κοινό γράφημα την διαμόρφωση της σύνθεσης του χαρτοφυλακίου M για κάθε σενάριο που μελετήσαμε για τα έτη 2020 και 2030 καθότι η επιρροή του κάθε σεναρίου στην διαμόρφωση των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων αντικατοπτρίζεται αντιπροσωπευτικά στην σύνθεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου συμβατικών ενεργειακών πηγών. Η διαγραμματική σύγκριση τους επιβεβαιώνει όλη την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Γράφημα 2.57: Σύνθεση συμβατικού ενεργειακού χαρτοφυλακίου M για τα έτη 2020 – 2030 ανά σενάριο τιμών καυσίμου και τιμών εκπομπών

3. Επίλογος

3.1. Συμπεράσματα Μελέτης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήσαμε την εφαρμογή της θεωρίας μέσου-διακύμανσης και επιχειρήσαμε την αξιολόγηση και τη διαμόρφωση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής των τεσσάρων Σκανδιναβικών χωρών : Σουηδία , Φινλανδία , Νορβηγία και Δανία και του Σκανδιναβικού συμπλέγματος εν τω συνόλω του. Τα αποτελέσματα των βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων που αφορούν το έτος 2011 αποτυπώνουν, στην ουσία, την ενεργειακή πολιτική στην ηλεκτροπαραγωγή που θα μπορούσε να έχει ακολουθήσει η κάθε Σκανδιναβική χώρα αλλά και η Σκανδιναβία στο σύνολο της ώστε να είχαν πετύχει

- ✓ μεγαλύτερες αποδόσεις με δεδομένο το πραγματικό επίπεδο κινδύνου των ενεργειακών χαρτοφυλακίων τους
- ✓ μικρότερο ρίσκο με δεδομένο το πραγματικό επίπεδο των αποδόσεων τους
- ✓ βέλτιστη κατανομή των συμβατικών ενεργειακών πηγών τους με δεδομένη την πραγματική ποσοστιαία συνεισφορά των Α.Π.Ε.

Για τα έτη 2020 και 2030, εφαρμόσαμε το μοντέλο αποτίμησης χαρτοφυλακίου για την εξαγωγή ομοίων προτάσεων για την Σκανδιναβία έχοντας αναφορά το προβλεπόμενο ενεργειακό της μίγμα για τα δύο αυτά έτη. Παράλληλα εξετάσαμε τέσσερα σενάρια που αφορούν τα κόστη καυσίμων και το κόστος εκπομπών CO₂ και βγάλαμε χρήσιμα συμπεράσματα για την ενεργειακή ‘οχύρωση’ της Σκανδιναβίας σε περίπτωση που κάποιο από αυτά τα σενάρια επαληθευτεί.

Για το έτος 2011, οι προτάσεις αξιολόγησης του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής ποικίλουν από χώρα σε χώρα. Η αποδοτικότερη ενεργειακή πηγή για το συγκεκριμένο έτος είναι ο άνθρακας και αμέσως μετά ισοβαθμούν στην 2^η θέση τα πυρηνικά με το φυσικό αέριο. Με γνώμονα λοιπόν την κατάταξη της απόδοσης των ενεργειακών πηγών και των τυπικών αποκλίσεων συμπεράναμε :

- ✓ **Φινλανδία:** Την ορθότητα του ενεργειακού σχεδιασμού για την ηλεκτροπαραγωγή της Φινλανδίας για το έτος 2011. Οι αποδοτικές προτάσεις

εμπεριέχουν ποσοστά άνθρακα και πυρηνικών πολύ κοντά (και ελάχιστα μειωμένα) στο πραγματικό της ενεργειακό μίγμα ενώ θα μπορούσε με την ποσοστιαία αύξηση της συνεισφοράς του φυσικού αερίου να πετύχει ελάχιστα μεγαλύτερες αποδόσεις και μικρότερο κίνδυνο. Τέλος, τα προτεινόμενα μηδενικά ποσοστά πετρελαίου επιβεβαιώνουν την ήδη υπάρχουσα πολιτική της για απεξάρτηση από την πιο δαπανηρή ενεργειακή πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- ✓ **Σουηδία** : Η συμβατική ενεργειακή πηγή που κυριαρχεί στο πραγματικό ενεργειακό μίγμα της Σουηδίας το 2011 είναι τα πυρηνικά ενώ οι υπόλοιπες συμβατικές πηγές καταλαμβάνουν ποσοστά περί του 1%. Το ενεργειακό της μίγμα λοιπόν θα μπορούσε να αποτελεί μελλοντική ενεργειακή οχύρωση για την ηλεκτροπαραγωγή της καθότι η πυρηνική τεχνολογία κατατάσσεται στην πιο αποδοτική (και την λιγότερο ρινοκίνδυνη) ενεργειακή τεχνολογία αλλά σε μεσο-μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Ωστόσο, οι προτάσεις μας για το πως θα μπορούσε να είχε διαμορφωθεί το ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα της Σουηδίας το 2011, αφορούν αισθητή αύξηση των ποσοστών άνθρακα και φυσικού αερίου και μείωση των πυρηνικών. Τέλος, επιβεβαιώνεται ο ενεργειακός της σχεδιασμός όσον αφορά την συνεισφορά του πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✓ **Δανία** : Επιβεβαιώνεται η ορθότητα της υπάρχουσας ενεργειακής πολιτικής της Δανίας όσον αφορά την κατανομή των συμβατικών ενεργειακών τεχνολογιών που χρησιμοποιεί στην ηλεκτροπαραγωγή και την πολύ μικρή συνεισφορά του πετρελαίου σε αυτή.
- ✓ **Νορβηγία** : Η ήδη υπάρχουσα ενεργειακή στρατηγική της Νορβηγίας, που αποτελεί μια ιδιαίτερου τύπου χώρα καθότι παράγει σχεδόν το 97% της ηλεκτρικής της ενέργειας από υδροηλεκτρικά, επιβεβαιώνεται από μοντέλο αποτίμησης χαρτοφυλακίων για το 2011.
- ✓ **Σκανδιναβία** : Το σκανδιναβικό σύμπλεγμα στο σύνολο του, παρουσιάζει ένα πραγματικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής για το 2011 πολύ κοντά στους βέλτιστους συνδυασμούς απόδοσης – ρίσκου που προσδιορίσαμε από

εφαρμογή του μοντέλου μας. Η αύξηση του φυσικού αερίου (περί του 7%) , η οριακή αύξηση του ποσοστού του άνθρακα αλλά και μια μικρή ποσοστιαία μείωση των πυρηνικών θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποδοτικό ενεργειακό μίγμα. Τέλος, η ορθότητα της ενεργειακής ανεξάρτησης από το πετρέλαιο επιβεβαιώνεται και από το συνολικό πραγματικό μίγμα της Σκανδιναβίας.

Όσον αφορά την εφαρμογή του μοντέλου μέσου – διακύμανσης για τον ενεργειακό σχεδιασμό για τα έτη 2020 και 2030 προέκυψαν τα εξής βασικά συμπεράσματα :

- ✓ Το πετρέλαιο χάνει ακόμα περισσότερο την ανταγωνιστικότητά του ως ενεργειακή πηγή ηλεκτροπαραγωγής καθότι συνεχίσει να είναι η πιο πολυδάπανη πηγή σε μεσομακροπρόθεσμο ορίζοντα
- ✓ Οι ενεργειακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν άνθρακα παύουν πλέον να είναι οι αποδοτικότερες χάνοντας την ανταγωνιστική τους υπεροχή και η συνεισφορά τους στα ενεργειακά μίγματα του 2020 και 2030 μειώνεται δραματικά. Ειδικότερα στα σενάρια που ενσωματώνουν υψηλές τιμές εκπομπών CO₂ αποτελούν την τρίτη κατά σειρά απόδοσης ενεργειακή πηγή μετά τα πυρηνικά και το φυσικό αέριο καθότι αυξάνεται κατά πολύ το κόστος ηλεκτροπαραγωγής τους. Το 2030, σε όλα τα σενάρια υψηλών εκπομπών, μηδενίζεται η συμμετοχή του άνθρακα στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. Οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που παρουσιάζουν οι εν λόγω ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες μπορούν να περιοριστούν με την ενσωμάτωση των τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂. Ωστόσο η ενσωμάτωση των συγκεκριμένων τεχνολογιών αυξάνει το ηλεκτροπαραγωγικό κόστος καθότι βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και θα περάσει μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να καταστούν ανταγωνιστικές. Το σκανδιναβικό σύμπλεγμα χωρών , στο σύνολο του, σκοπεύει να ακολουθήσει στρατηγική περαιτέρω ανεξάρτησης από την συγκεκριμένη συμβατική ενεργειακή πηγή μέχρι και το 2030 και να παγιώσει την ενεργειακή του οχύρωση.
- ✓ Οι ενεργειακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο χάνουν στην ποσοστιαία συνεισφορά τους στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια των ετών 2020 και

2030 συγκριτικά με το 2011 κυρίως στα σενάρια υψηλών τιμών CO₂ που συνδυάζονται με μέτριες αλλά και με υψηλές τιμές καυσίμων. Ωστόσο οι περισσότερες προτάσεις μας αφορούν ποσοστιαία αύξηση του φυσικού αερίου καθότι η συνεισφορά του τα προβλεπόμενα πραγματικά ενεργειακά μίγματα της Σκανδιναβίας για τα έτη 2020 και 2030 είναι πάρα πολύ μικρή και θέλουμε να πετύχουμε κυρίως αποδοτικούς συνδυασμούς Α.Π.Ε. ,πυρηνικών και φυσικού αερίου. Βέβαια λαμβάνουμε υπόψη ότι οι προμηθευτές φυσικού αερίου για τις Σκανδιναβικές χώρες είναι ελάχιστοι. Συγκεκριμένα , μέχρι και το 2010, η Φινλανδία εξαρτούσε τις εισαγωγές φυσικού αερίου μόνο από την Ρωσία και η Σουηδία μόνο από την Δανία. Σημειώνουμε όμως ότι οι προτάσεις αύξησης του φυσικού αερίου κυμαίνονται σε ποσοστά που δεν μπορούν να καταστήσουν την Σκανδιναβία έρμαιο των ολιγοπωλιακών προμηθευτών φυσικού αερίου..

- ✓ Η πυρηνική τεχνολογία αποκτά σαφή ανταγωνιστική υπεροχή σε ορίζοντα 15-ετίας καθότι θα αποτελέσει τον λιγότερο δαπανηρό και τον λιγότερο ριψοκίνδυνο τρόπο ηλεκτροπαραγωγής για τα έτη 2020 και 2030. Ωστόσο, όπως φάνηκε και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, δεν παραμένει ανεπηρέαστη από την αύξηση του κόστους καυσίμου στα αντίστοιχα σενάρια. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε επίσης και την αύξηση της τιμής που παρουσιάζει το ουράνιο, ιδιαιτέρως τα τελευταία χρόνια. Τα πυρηνικά θα κυριαρχήσουν στην σύνθεση των αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων με μεγάλη διαφορά κυρίως στα σενάρια που περιλαμβάνουν υψηλά κόστη εκπομπών CO₂. Το Σκανδιναβικό σύμπλεγμα έχει ήδη προνοήσει και εξαρτά το ¼ της ηλεκτροπαραγωγής του από πυρηνικά , κάτι το οποίο σκοπεύει να διατηρήσει στο σύνολο του και μελλοντικά. Οι περισσότερες προτάσεις βέλτιστων μιγμάτων για τα έτη 2020 και 2030 επαληθεύουν την συγκεκριμένη επιλογή της Σκανδιναβίας και προτείνουν οριακές μειώσεις ώστε να επιτευχθεί ένας αποδοτικός συνδυασμός μεταξύ Α.Π.Ε. πυρηνικών και φυσικού αερίου που συνθέτουν καθ'ολοκληρίαν τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια του μέλλοντος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης μας.
- ✓ Οι Α.Π.Ε., που στην μελέτη μας αντιπροσωπεύονται από τα υδροηλεκτρικά εξαιτίας της ιδιαιτερότητας του Σκανδιναβικού συμπλέγματος, δεν είναι

ρυπογόνες και επιπλέον εισάγουν και την απαραίτητη διαφοροποίηση στα ενεργειακά χαρτοφυλάκια ως ακίνδυνα ενεργειακά αξιόγραφα. Μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. παρατηρούμε ποσοστιαίο μηδενισμό του πετρελαίου και μείωση της συνεισφοράς του φυσικού αερίου στα αποδοτικά χαρτοφυλάκια. Με αυτό τον τρόπο καθίστανται βιώσιμες οι προτάσεις μας για το φυσικό αέριο. Στην μελέτη μας, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. παρέμεινε σταθερό σε χρονικό ορίζοντα μέχρι και το 2030 και είδαμε στην πράξη ότι δεν επηρεάζεται από την αύξηση των τιμών καυσίμου και των τιμών εκπομπών. Περαιτέρω εφαρμογή προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης (R&D) μπορεί να καταστήσει περισσότερο ανταγωνιστικές τις ενεργειακές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν Α.Π.Ε. αυξάνοντας περισσότερο τις αποδόσεις τους.

3.2 Προοπτικές και προτάσεις επέκτασης της μελέτης

Στα πλαίσια εκπόνησης της συγκεκριμένης μελέτης, συλλέχθηκαν ορισμένες ιδέες για την προέκταση της αλλά και ορισμένες γενικές προοπτικές που αφορούν την εφαρμογή της αποτίμησης χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό.

- ✓ **Ενεργειακές Τεχνολογίες και Αποδόσεις :** Οι ενεργειακές τεχνολογίες που επιλέξαμε να συμπεριλάβουμε στην μελέτη μας για κάθε ενεργειακή πηγή συμπεριλαμβάνονταν σε πεπερασμένο πλήθος επιλογών της υπολογιστικής πλατφόρμας του SETIS - Energy Cost Calculator. Ωστόσο η συγκεκριμένη πλατφόρμα αντιμετωπίζει την Ε.Ε σαν μια ενιαία αγορά ενεργείας. Αν και προσπαθήσαμε στην μελέτη μας να ενσωματώσουμε τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη Σκανδιναβία, θα είχε ενδιαφέρον να πραγματοποιηθεί στο μέλλον μια μελέτη που να συμπεριλαμβάνει όλες τις δυνατές επιλογές τεχνολογιών που χρησιμοποιούν αυτές οι χώρες που μελετήσαμε όπως επίσης και να δοθεί περαιτέρω βαρύτητα στην συλλογή πληροφοριών για τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και τα επιμέρους κόστη τους ανά χώρα. Με αυτό τον τρόπο θα οδηγηθούμε σε περισσότερο αντιπροσωπευτικά κόστη ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον στην μελέτη μας, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής ανά ενεργειακή πηγή υπολογίστηκε μέσω του σταθμισμένου μέσου όρου

χρησιμοποιώντας τις παγκόσμιες εγκατεστημένες ισχύς για κάθε ενεργειακή τεχνολογία ως συντελεστή βαρύτητας για την στάθμιση. Στα πλαίσια μιας εναλλακτικής προσέγγισης που θα συμπεριλαμβάνει την χρήση του συγκεκριμένου Energy Cost Calculator, θα μπορούσαμε να συλλέξουμε πληροφορίες και να σταθμίσουμε τα κόστη των επιμέρους ενεργειακών τεχνολογιών μέσω της ακριβούς εγκατεστημένης ισχύς τους ανά χώρα ή ανά σύμπλεγμα χωρών όπως η Σκανδιναβία. Επιπροσθέτως, οι οικονομικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εισόδου στην υπολογιστική πλατφόρμα ήταν οι προεπιλογές που διέθετε. Σε μεταγενέστερη μελέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί κατάλληλη έρευνα για τις συγκεκριμένες παραμέτρους και να εξάγουμε μια καλύτερη εικόνα για το κόστος ηλεκτροπαραγωγής και άρα τις αποδόσεις. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να θεωρηθούν παραπάνω από ένα σενάρια ονομαστικού επιτοκίου και να εξάγουμε τα αποτελέσματα για κάθε ένα από αυτά.

- ✓ **Ρίσκο** : Στην παρούσα μελέτη λάβαμε υπόψη μόνο το κόστος των καυσίμων και τις αυξομειώσεις των τιμών τους ως μόνη παράμετρο του κινδύνου. Ως πρόταση επέκτασης λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί η συμμετοχή επιπρόσθετων παραγόντων που επιδρούν στην διακύμανση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής μέσω τις συλλογής δεδομένων για τα επιμέρους κόστη που συνθέτουν το συνολικό κόστος ηλεκτροπαραγωγής όπως είναι τα κόστη επένδυσης , τα σταθερά κόστη συντήρησης και λειτουργίας , το κόστος εκπομπών CO₂ κ.α. Επιπροσθέτως, στην παρούσα εργασία τα υδροηλεκτρικά δεν φέρουν ρίσκο ως προς το καύσιμό τους και θεωρούνται ακίνδυνα ενεργειακά αξιόγραφα. Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να γίνει κάποια μελέτη για τον προσδιορισμό ενός ρίσκου που αφορά την χρονική διακύμανση της υδραυλικότητας (εποχιακή διαφοροποίηση και πολύχρονοι κύκλοι ξηρασίας).
- ✓ **Εναλλακτικές επενδυτικές οπτικές γωνίες** : Στην παρούσα μελέτη, στρατηγικός μας στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση του κόστους ηλεκτροπαραγωγής και έτσι ορίσαμε το μέγεθος της απόδοσης. Επέκταση της συγκεκριμένης μελέτης αποτελεί και ο ενεργειακός σχεδιασμός θέτοντας διαφορετικούς στόχους για την κατασκευή αποδοτικών ενεργειακών

χαρτοφυλακίων όπως είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους με βασική παράμετρο την κοστολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προς το καταναλωτικό κοινό. Ένας ακόμα εναλλακτικός στόχος θα μπορούσε να θεωρηθεί η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

- ✓ **Ανάπτυξη διαδικτυακής υπολογιστικής πλατφόρμας για την κατασκευή αποδοτικών ενεργειακών χαρτοφυλακίων :** Ενδιαφέρουσα επέκταση της μελέτης μας θα αποτελούσε η κατασκευή μιας υπολογιστικής πλατφόρμας για την εξαγωγή βέλτιστων ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Το συγκεκριμένο υπολογιστικό εργαλείο θα μπορούσε να διαθέτει online βάση δεδομένων τόσο για τα κόστη ηλεκτροπαραγωγής ενεργειακών τεχνολογιών όσο και για τις τυπικές αποκλίσεις των ενεργειακών πηγών. Οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων θα ανανεώνονταν ανά συγκεκριμένα τακτά χρονικά διαστήματα τόσο ως προς τα κόστη παραγωγής όσο και ως προς τις χρονοσειρές των τιμών καυσίμων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Awerbuch Shimon with Martin Berger, ‘*Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-Making*’, Working Paper, IEA/EET, February, 2003
- [2] Awerbuch Shimon, ‘*Portfolio-based electricity generation planning: Implications for renewable and energy security*’, Tyndall Centre Visiting Fellow SPRU–University of Sussex, UK and Instituto de Investigaciones Eléctricas Cuernavaca, México, May 2004
- [3] Awerbuch, Yang, ‘*Efficient electricity generating portfolios for Europe: Maximising energy security and climate change mitigation*’, European Investment bank papers V1. 12 No.2. , 2007
- [4] Bernanke, B., ‘*Irreversibility, Uncertainty and Cyclical Investment*’, Quarterly Journal of Economics, 98, pp.85-106, 1983
- [5] BP, BP Statistical Review of World Energy (workbook), June 2013
- [6] Domingues, Arango, Policarpo, Campinho, and Paulillo, ‘*Applying modern portfolio theory to investment projects in electric energy markets*’, IEEE Power Tech, Porto, 2001
- [7] European Commission, Climate Action, Emissions Trading System
- [8] European Commission, *Energy Sources, Production Costs and Performance of Technologies for Power Generation, Heating and Transport*, Second Strategic Energy Review, An EU Energy Security and Solidarity Action Plan, 2008
- [9] European Commission, Environment, Kyoto Protocol
- [10] European Commission, Strategic Energy Technologies Plan (SET – Plan), Energy Calculator
- [11] Energy Information Administration (IEA) , Annual Energy Review 2011
- [12] Federer, J. Peter. , ‘*Oil Price Volatility and the Macroeconomy*’, Journal of Macroeconomics, 18(1), pp. 1-26, Winter 1996
- [13] Humphreys, H. and McClain K., ‘*Reducing the impacts of energy price volatility through dynamic portfolio selection*’, The Energy Journal 19 (3), pp.107-131, 1998
- [14]IEA, Clean Coal Centre, <http://www.iea-coal.org.uk>
- [15]IEA,<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=DENMARK&product=electricityandheat&year=2011>

- [16]IEA,<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=FINLAND&product=electricityandheat&year=2011>
- [17]IEA,<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=NORWAY&product=electricityandheat&year=2011>
- [18]IEA,<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=SWEDEN&product=electricityandheat&year=2011>
- [19] Kosmadakis G., Karellas S., Kakaras E., *‘Renewable and Conventional Electricity Generation Systems: Technologies and Diversity of Energy Systems’*, Renewable Energy Governance, Lecture Notes in Energy 23, DOI: 10.1007/978-1-4471-5595-9_2, Springer-Verlag, London 2013
- [20] Lintner, John., *‘The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets’*, Review of Economics and Statistics. 47, pp. 13–37, February 1965
- [21] Markowitz Harry M., *‘Foundations of Portfolio Theory’*, The Journal of Finance, Vol. 46, No. 2, pp 469-477, June 1991
- [22] Markowitz Harry M., *‘Portfolio Selection’*, The Journal of Finance, Vol. 7, pp 77-91, March 1952
- [23] Markowitz Harry M., *‘Portfolio selection efficient diversification of investment’*, Wiley, 1959
- [24] Markowitz Harry M., *‘The Early History of Portfolio Theory’*, Financial Analysts Journal, Vol. 55, No.4 pp 5-16, July /August 1999
- [25] Michaud Richard O., *‘The Markowitz Optimization Enigma : Is ‘optimized’ optimal ?’*, Financial Analysts Journal , January /February 1989
- [26] Mossin J., *‘Equilibrium in capital asset market’*, Econometrica, 1966
- [27] Narbel Patrick A., Hansen Jan Petter, Lien Jan R., *‘Energy Technologies and Economics’* Springer International Publishing, Switzerland 2014
- [28] Nordic Energy Research,
<http://www.nordicenergy.org/thenordicway/topic/energy-systems-2/>
- [29] Nordic Energy Research, *‘Nordic Energy Technology Perspectives – Pathways to a Carbon Neutral Energy Future’*, 2013
- [30] Nordic Market report 2011, <http://www.nordicenergyregulators.org/wp-content/uploads/2013/02/nmr2011-final-for-publication.pdf>
- [31] Reilly Frank K. & Brown Keith C. , *‘Investment Analysis and Portfolio Management’*, 7e. South-Western College Pub, 2002

- [32] Reuters, '*NIB finances increased hydropower capacity in Norway*', Sept 2012
<http://www.reuters.com/article/2012/09/21/idUS57220+21-Sep-2012+HUG20120921>
- [33] Ross, S.A., '*The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing*', Journal of Economic Theory, Vol. 13, pp. 341-360, 1976
- [34] Sharpe, William F., '*Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk*', Journal of Finance. 19, pp. 425-42, September 1964
- [35] Stirling A., '*Diversity and ignorance in electricity supply investment – Addressing the solution rather than the problem*', Energy Policy, Vol. 22, 1994
- [36] Tobin James, '*Liquidity Preference as a Behaviour Towards Risk*', Review of Economic Studies, 1958
- [37] Uri Noel D., '*Crude-oil price volatility and agricultural employment in the USA*', vol. 54, issue 4, pp. 355-373, 1996
- [38] Wikipedia, http://el.wikipedia.org/wiki/Πυρηνικός_αντιδραστήρας
- [39] Ευρετήριο Οικονομικών Όρων , <http://www.euretirio.com/2010/06/theoria-anamenomenis-xrisimotitas.html>
- [40] Ζαχαριάδη-Σούρα, '*Μικροοικονομική*', Β' έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, 2003
- [41] Κούκουζας Ν. , Ζιώγου Φ. , '*Τεχνολογικό δυναμικό για την μείωση των εκπομπών CO₂ – Δυνατότητες- Προοπτικές των ελληνικών επιχειρήσεων – Τεχνολογίες δέσμευσης CO₂*', ΙΤΕΣΚ, Ιούλιος 2008
- [42] Μπένου, '*Θεωρία Χρήματος*', Β' έκδοση, Εκδόσεις Μπένου, 1996
- [43] Ξυδώνας Π. , Ψαρράς Ι. , Ζοπουνίδης Κ. , '*Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου*', Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2010
- [44] Παπαδόπουλος Α. , '*Νομισματική θεωρία και πολιτική*', Τμήμα Οικονομικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης
- [45] Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας, <http://www.allaboutenergy.gr/IGCC.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων συμπεριλαμβανομένης πυρηνικής τεχνολογίας για το έτος 2011

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,84%	0,62%	1,04%	97,50%	7,336612	0,004380832
0,00%	1,68%	1,23%	2,08%	95,00%	7,503224	0,008761853
0,00%	2,53%	1,85%	3,13%	92,50%	7,669836	0,013143064
0,00%	3,37%	2,46%	4,17%	90,00%	7,836448	0,017523896
0,00%	4,21%	3,08%	5,21%	87,50%	8,00306	0,021904917
0,00%	5,05%	3,69%	6,25%	85,00%	8,169672	0,026286128
0,00%	5,90%	4,31%	7,30%	82,50%	8,336284	0,03066696
0,00%	6,74%	4,92%	8,34%	80,00%	8,502896	0,035048172
0,00%	7,58%	5,54%	9,38%	77,50%	8,669508	0,039429004
0,00%	8,42%	6,15%	10,42%	75,00%	8,83612	0,043810091
0,00%	9,27%	6,77%	11,47%	72,50%	9,002732	0,048191047
0,00%	10,11%	7,38%	12,51%	70,00%	9,169344	0,052572258
0,00%	10,95%	8,00%	13,55%	67,50%	9,335956	0,05695309
0,00%	11,79%	8,61%	14,59%	65,00%	9,502568	0,061334112
0,00%	12,64%	9,23%	15,64%	62,50%	9,66918	0,065715322
0,00%	13,48%	9,84%	16,68%	60,00%	9,835792	0,070096155
0,00%	14,32%	10,46%	17,72%	57,50%	10,0024	0,074477316
0,00%	15,16%	11,07%	18,76%	55,00%	10,16902	0,078858198
0,00%	16,01%	11,69%	19,81%	52,50%	10,33563	0,083239408
0,00%	16,85%	12,30%	20,85%	50,00%	10,50224	0,08762043
0,00%	17,69%	12,92%	21,89%	47,50%	10,66885	0,092001263
0,00%	18,53%	13,53%	22,93%	45,00%	10,83546	0,096382473
0,00%	19,37%	14,15%	23,97%	42,50%	11,00208	0,100763306
0,00%	20,22%	14,77%	25,02%	40,00%	11,16869	0,105144328
0,00%	21,06%	15,38%	26,06%	37,50%	11,3353	0,109525538
0,00%	21,90%	16,00%	27,10%	35,00%	11,50191	0,113906371
0,00%	22,74%	16,61%	28,14%	32,50%	11,66852	0,118287581
0,00%	23,59%	17,23%	29,19%	30,00%	11,83514	0,122668414
0,00%	24,43%	17,84%	30,23%	27,50%	12,00175	0,127049454
0,00%	25,27%	18,45%	31,27%	25,00%	12,16836	0,131430458
0,00%	26,11%	19,07%	32,31%	22,50%	12,33497	0,135811667
0,00%	26,96%	19,69%	33,36%	20,00%	12,50158	0,140192689
0,00%	27,80%	20,30%	34,40%	17,50%	12,6682	0,144573711
0,00%	28,64%	20,92%	35,44%	15,00%	12,83481	0,14895468
0,00%	29,48%	21,53%	36,48%	12,50%	13,00142	0,153335636
0,00%	30,33%	22,15%	37,53%	10,00%	13,16803	0,157716775
0,00%	31,17%	22,76%	38,57%	7,50%	13,33464	0,162097797
0,00%	32,01%	23,38%	39,61%	5,00%	13,50126	0,166478818
0,00%	32,85%	23,99%	40,65%	2,50%	13,66787	0,17085984
0,00%	33,70%	24,61%	41,69%	0,00%	13,83449	0,175241125
0,00%	33,11%	25,67%	41,22%	0,00%	13,85624	0,175830548
0,00%	32,13%	27,44%	40,43%	0,00%	13,89251	0,176891282

0,00%	31,15%	29,21%	39,64%	0,00%	13,92879	0,178047772
0,00%	30,17%	30,98%	38,85%	0,00%	13,96507	0,179297876
0,00%	29,19%	32,75%	38,06%	0,00%	14,00136	0,180639712
0,00%	28,21%	34,52%	37,27%	0,00%	14,03762	0,182071004
0,00%	27,23%	36,29%	36,48%	0,00%	14,07391	0,1835902
0,00%	26,25%	38,06%	35,69%	0,00%	14,11019	0,185195278
0,00%	25,27%	39,83%	34,91%	0,00%	14,14647	0,186883236
0,00%	24,29%	41,60%	34,12%	0,00%	14,18275	0,188652115
0,00%	23,31%	43,37%	33,33%	0,00%	14,21903	0,190499752
0,00%	22,33%	45,14%	32,54%	0,00%	14,25531	0,192423988
0,00%	21,35%	46,91%	31,75%	0,00%	14,29159	0,194422335
0,00%	20,37%	48,68%	30,96%	0,00%	14,32786	0,196492615
0,00%	19,39%	50,45%	30,17%	0,00%	14,36414	0,198632625
0,00%	18,41%	52,22%	29,38%	0,00%	14,40043	0,200840371
0,00%	17,43%	53,99%	28,59%	0,00%	14,43671	0,203113262
0,00%	16,45%	55,76%	27,80%	0,00%	14,47299	0,20544927
0,00%	15,47%	57,53%	27,01%	0,00%	14,50927	0,207846128
0,00%	14,49%	59,30%	26,22%	0,00%	14,54556	0,210302149
0,00%	13,51%	61,06%	25,43%	0,00%	14,58182	0,212814511
0,00%	12,53%	62,83%	24,64%	0,00%	14,61811	0,215382264
0,00%	11,55%	64,60%	23,85%	0,00%	14,65439	0,218002676
0,00%	10,57%	66,37%	23,06%	0,00%	14,69067	0,220674283
0,00%	9,59%	68,14%	22,27%	0,00%	14,72695	0,223395108
0,00%	8,60%	69,91%	21,48%	0,00%	14,76323	0,226163216
0,00%	7,62%	71,68%	20,69%	0,00%	14,79951	0,228977038
0,00%	6,64%	73,45%	19,90%	0,00%	14,83579	0,231835075
0,00%	5,66%	75,22%	19,11%	0,00%	14,87207	0,234735392
0,00%	4,68%	76,99%	18,32%	0,00%	14,90835	0,237676764
0,00%	3,70%	78,76%	17,53%	0,00%	14,94463	0,24065753
0,00%	2,72%	80,53%	16,74%	0,00%	14,98091	0,243676071
0,00%	1,74%	82,30%	15,95%	0,00%	15,01719	0,246731337
0,00%	0,76%	84,07%	15,16%	0,00%	15,05347	0,249821641
0,00%	0,00%	85,84%	14,16%	0,00%	15,08975	0,252946818
0,00%	0,00%	87,61%	12,39%	0,00%	15,12603	0,25612662
0,00%	0,00%	89,38%	10,62%	0,00%	15,16231	0,259368315
0,00%	0,00%	91,15%	8,85%	0,00%	15,19859	0,262669783
0,00%	0,00%	92,92%	7,08%	0,00%	15,23487	0,266028989
0,00%	0,00%	94,69%	5,31%	0,00%	15,27115	0,269443596
0,00%	0,00%	96,46%	3,54%	0,00%	15,30743	0,272911327
0,00%	0,00%	98,23%	1,77%	0,00%	15,34371	0,276430568
0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	15,38	0,28

Πίνακας Π.2 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων χωρίς την πυρηνική τεχνολογία για το έτος 2011

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)				Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Άνθρακας	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	1,23%	1,27%	97,50%	7,3501	0,005433
0,00%	2,45%	2,55%	95,00%	7,5302	0,010867
0,00%	3,68%	3,82%	92,50%	7,7103	0,0163
0,00%	4,91%	5,09%	90,00%	7,8904	0,021734
0,00%	6,13%	6,37%	87,50%	8,0705	0,027167
0,00%	7,36%	7,64%	85,00%	8,2506	0,032601
0,00%	8,59%	8,91%	82,50%	8,4307	0,038034
0,00%	9,81%	10,19%	80,00%	8,6108	0,043467
0,00%	11,04%	11,46%	77,50%	8,7909	0,048901
0,00%	12,27%	12,73%	75,00%	8,971	0,054334
0,00%	13,50%	14,00%	72,50%	9,1511	0,059768
0,00%	14,72%	15,28%	70,00%	9,3312	0,065201
0,00%	15,95%	16,55%	67,50%	9,5113	0,070635
0,00%	17,18%	17,82%	65,00%	9,6914	0,076068
0,00%	18,40%	19,10%	62,50%	9,8715	0,081502
0,00%	19,63%	20,37%	60,00%	10,0516	0,086935
0,00%	20,86%	21,64%	57,50%	10,2317	0,092369
0,00%	22,08%	22,92%	55,00%	10,4118	0,097802
0,00%	23,31%	24,19%	52,50%	10,5919	0,103235
0,00%	24,54%	25,46%	50,00%	10,772	0,108669
0,00%	25,76%	26,74%	47,50%	10,9521	0,114102
0,00%	26,99%	28,01%	45,00%	11,1322	0,119536
0,00%	28,22%	29,28%	42,50%	11,3123	0,124969
0,00%	29,44%	30,56%	40,00%	11,4924	0,130403
0,00%	30,67%	31,83%	37,50%	11,6725	0,135836
0,00%	31,90%	33,10%	35,00%	11,8526	0,14127
0,00%	33,12%	34,38%	32,50%	12,0327	0,146703
0,00%	34,35%	35,65%	30,00%	12,2128	0,152137
0,00%	35,58%	36,92%	27,50%	12,3929	0,15757
0,00%	36,80%	38,20%	25,00%	12,573	0,163003
0,00%	38,03%	39,47%	22,50%	12,7531	0,168437
0,00%	39,26%	40,74%	20,00%	12,9332	0,17387
0,00%	40,49%	42,01%	17,50%	13,1133	0,179304
0,00%	41,71%	43,29%	15,00%	13,2934	0,184737
0,00%	42,94%	44,56%	12,50%	13,4735	0,190171
0,00%	44,17%	45,83%	10,00%	13,6536	0,195604
0,00%	45,39%	47,11%	7,50%	13,8337	0,201038
0,00%	46,62%	48,38%	5,00%	14,0138	0,206471
0,00%	47,85%	49,65%	2,50%	14,1939	0,211904
0,00%	49,07%	50,93%	0,00%	14,37401	0,217338
0,00%	47,89%	52,11%	0,00%	14,39833	0,218095
0,00%	45,97%	54,03%	0,00%	14,43759	0,219412
0,00%	44,06%	55,94%	0,00%	14,47686	0,220845
0,00%	42,14%	57,86%	0,00%	14,51613	0,222392
0,00%	40,22%	59,78%	0,00%	14,55539	0,224051
0,00%	38,31%	61,69%	0,00%	14,59466	0,225819

0,00%	36,39%	63,61%	0,00%	14,63393	0,227693
0,00%	34,48%	65,52%	0,00%	14,67319	0,229671
0,00%	32,56%	67,44%	0,00%	14,71246	0,231751
0,00%	30,65%	69,35%	0,00%	14,75173	0,233929
0,00%	28,73%	71,27%	0,00%	14,79099	0,236203
0,00%	26,82%	73,18%	0,00%	14,83026	0,23857
0,00%	24,90%	75,10%	0,00%	14,86953	0,241028
0,00%	22,99%	77,01%	0,00%	14,9088	0,243573
0,00%	21,07%	78,93%	0,00%	14,94807	0,246203
0,00%	19,15%	80,85%	0,00%	14,98733	0,248916
0,00%	17,24%	82,76%	0,00%	15,0266	0,251708
0,00%	15,32%	84,68%	0,00%	15,06586	0,254576
0,00%	13,41%	86,59%	0,00%	15,10513	0,25752
0,00%	11,49%	88,51%	0,00%	15,1444	0,260535
0,00%	9,58%	90,42%	0,00%	15,18367	0,263619
0,00%	7,66%	92,34%	0,00%	15,22293	0,26677
0,00%	5,75%	94,25%	0,00%	15,2622	0,269987
0,00%	3,83%	96,17%	0,00%	15,30147	0,273265
0,00%	1,92%	98,08%	0,00%	15,34073	0,276604
0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	15,38	0,28

Πίνακας Π.3 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2020

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,91%	0,26%	1,33%	97,50%	7,338178	0,00428807
0,00%	1,82%	0,52%	2,66%	95,00%	7,506356	0,008576143
0,00%	2,73%	0,78%	3,99%	92,50%	7,674534	0,012864213
0,00%	3,64%	1,04%	5,33%	90,00%	7,842712	0,017152285
0,00%	4,55%	1,29%	6,66%	87,50%	8,01089	0,021440174
0,00%	5,46%	1,55%	7,99%	85,00%	8,179068	0,025728428
0,00%	6,37%	1,81%	9,32%	82,50%	8,347246	0,030016317
0,00%	7,28%	2,07%	10,65%	80,00%	8,515424	0,034304415
0,00%	8,19%	2,33%	11,98%	77,50%	8,683602	0,038592643
0,00%	9,10%	2,59%	13,32%	75,00%	8,85178	0,042880715
0,00%	10,01%	2,85%	14,64%	72,50%	9,019958	0,047168604
0,00%	10,92%	3,11%	15,98%	70,00%	9,188136	0,051456858
0,00%	11,83%	3,37%	17,31%	67,50%	9,356315	0,055744771
0,00%	12,74%	3,63%	18,64%	65,00%	9,524492	0,060033001
0,00%	13,65%	3,88%	19,97%	62,50%	9,69267	0,06432089
0,00%	14,55%	4,14%	21,30%	60,00%	9,860848	0,068609144
0,00%	15,46%	4,40%	22,63%	57,50%	10,02903	0,072897216
0,00%	16,37%	4,65%	23,98%	55,00%	10,1972	0,077185303
0,00%	17,28%	4,92%	25,30%	52,50%	10,36538	0,08147336
0,00%	18,19%	5,18%	26,63%	50,00%	10,53356	0,085761431

0,00%	19,10%	5,44%	27,96%	47,50%	10,70174	0,090049502
0,00%	20,01%	5,70%	29,29%	45,00%	10,86992	0,094337574
0,00%	20,92%	5,96%	30,62%	42,50%	11,03809	0,098625646
0,00%	21,83%	6,22%	31,95%	40,00%	11,20627	0,102913535
0,00%	22,74%	6,47%	33,28%	37,50%	11,37445	0,107201606
0,00%	23,65%	6,73%	34,61%	35,00%	11,54263	0,111489861
0,00%	24,56%	6,99%	35,95%	32,50%	11,71081	0,115777932
0,00%	25,47%	7,25%	37,28%	30,00%	11,87898	0,120065925
0,00%	26,38%	7,51%	38,61%	27,50%	12,04716	0,124354075
0,00%	27,29%	7,77%	39,94%	25,00%	12,21534	0,128642147
0,00%	28,20%	8,03%	41,27%	22,50%	12,38352	0,132930219
0,00%	29,11%	8,29%	42,60%	20,00%	12,5517	0,13721829
0,00%	30,02%	8,55%	43,93%	17,50%	12,71987	0,141506362
0,00%	30,93%	8,81%	45,27%	15,00%	12,88805	0,145794434
0,00%	31,84%	9,06%	46,60%	12,50%	13,05623	0,150082345
0,00%	32,75%	9,32%	47,93%	10,00%	13,22441	0,154370417
0,00%	33,66%	9,58%	49,26%	7,50%	13,39259	0,158658488
0,00%	34,57%	9,84%	50,59%	5,00%	13,56076	0,16294656
0,00%	35,48%	10,10%	51,92%	2,50%	13,72894	0,167234632
0,00%	36,39%	10,36%	53,25%	0,00%	13,89713	0,171522958
0,00%	35,64%	10,60%	53,76%	0,00%	13,90389	0,171705566
0,00%	33,14%	11,42%	55,44%	0,00%	13,92661	0,172464221
0,00%	30,64%	12,23%	57,13%	0,00%	13,94931	0,173445128
0,00%	28,14%	13,05%	58,81%	0,00%	13,97203	0,174645023
0,00%	25,64%	13,86%	60,49%	0,00%	13,99473	0,176058776
0,00%	23,14%	14,68%	62,18%	0,00%	14,01746	0,177681926
0,00%	20,65%	15,49%	63,86%	0,00%	14,04019	0,179508451
0,00%	18,15%	16,31%	65,55%	0,00%	14,06289	0,181531943
0,00%	15,65%	17,12%	67,23%	0,00%	14,08562	0,183746492
0,00%	13,15%	17,94%	68,92%	0,00%	14,10832	0,186144672
0,00%	10,65%	18,75%	70,60%	0,00%	14,13103	0,188719874
0,00%	8,15%	19,56%	72,29%	0,00%	14,15375	0,191464979
0,00%	5,65%	20,38%	73,97%	0,00%	14,17646	0,194372553
0,00%	3,15%	21,19%	75,66%	0,00%	14,19917	0,197435668
0,00%	0,65%	22,01%	77,34%	0,00%	14,22189	0,200646938
0,00%	0,00%	16,21%	83,79%	0,00%	14,2446	0,20468618
0,00%	0,00%	8,10%	91,90%	0,00%	14,26732	0,211188312
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	14,29	0,22

Πίνακας Π.4 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2020

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,90%	0,06%	1,54%	97,50%	7,330723	0,004346188
0,00%	1,79%	0,12%	3,08%	95,00%	7,491446	0,008692576
0,00%	2,69%	0,18%	4,63%	92,50%	7,652169	0,013039154
0,00%	3,58%	0,25%	6,17%	90,00%	7,812892	0,017385351

0,00%	4,48%	0,31%	7,71%	87,50%	7,973615	0,021731738
0,00%	5,38%	0,37%	9,25%	85,00%	8,134338	0,026078321
0,00%	6,27%	0,43%	10,80%	82,50%	8,295061	0,030424711
0,00%	7,17%	0,49%	12,34%	80,00%	8,455784	0,034771096
0,00%	8,06%	0,55%	13,88%	77,50%	8,616507	0,039117483
0,00%	8,96%	0,62%	15,42%	75,00%	8,77723	0,04346387
0,00%	9,86%	0,68%	16,97%	72,50%	8,937953	0,047810258
0,00%	10,75%	0,74%	18,51%	70,00%	9,098676	0,052156452
0,00%	11,65%	0,80%	20,05%	67,50%	9,259399	0,056503033
0,00%	12,54%	0,86%	21,59%	65,00%	9,420122	0,060849424
0,00%	13,44%	0,92%	23,14%	62,50%	9,580845	0,065195809
0,00%	14,34%	0,98%	24,68%	60,00%	9,741568	0,069542002
0,00%	15,23%	1,05%	26,22%	57,50%	9,902291	0,073888389
0,00%	16,13%	1,11%	27,76%	55,00%	10,06301	0,078234972
0,00%	17,02%	1,17%	29,31%	52,50%	10,22374	0,082581165
0,00%	17,92%	1,23%	30,85%	50,00%	10,38446	0,086927552
0,00%	18,82%	1,29%	32,39%	47,50%	10,54518	0,091274133
0,00%	19,71%	1,35%	33,93%	45,00%	10,70591	0,095620327
0,00%	20,61%	1,42%	35,48%	42,50%	10,86663	0,099966909
0,00%	21,51%	1,48%	37,02%	40,00%	11,02735	0,104313297
0,00%	22,40%	1,54%	38,56%	37,50%	11,18808	0,108659506
0,00%	23,30%	1,60%	40,10%	35,00%	11,3488	0,113006071
0,00%	24,19%	1,66%	41,64%	32,50%	11,50952	0,117352459
0,00%	25,09%	1,72%	43,19%	30,00%	11,67024	0,121698846
0,00%	25,99%	1,79%	44,73%	27,50%	11,83097	0,126045261
0,00%	26,88%	1,85%	46,27%	25,00%	11,99169	0,130391622
0,00%	27,78%	1,91%	47,81%	22,50%	12,15241	0,134738036
0,00%	28,67%	1,97%	49,36%	20,00%	12,31314	0,139084396
0,00%	29,57%	2,03%	50,90%	17,50%	12,47386	0,143430811
0,00%	30,47%	2,09%	52,44%	15,00%	12,63458	0,147777198
0,00%	31,36%	2,15%	53,98%	12,50%	12,79531	0,152123586
0,00%	32,26%	2,22%	55,53%	10,00%	12,95603	0,156469973
0,00%	33,15%	2,28%	57,07%	7,50%	13,11675	0,16081636
0,00%	34,05%	2,34%	58,61%	5,00%	13,27747	0,165162722
0,00%	34,95%	2,40%	60,15%	2,50%	13,4382	0,16950911
0,00%	35,84%	2,46%	61,70%	0,00%	13,59891	0,173855228
0,00%	35,31%	2,01%	62,68%	0,00%	13,61624	0,174341318
0,00%	34,52%	1,34%	64,14%	0,00%	13,64216	0,175132536
0,00%	33,72%	0,67%	65,61%	0,00%	13,66807	0,175999797
0,00%	32,93%	0,00%	67,07%	0,00%	13,69398	0,176942076
0,00%	31,50%	0,00%	68,50%	0,00%	13,7199	0,177967275
0,00%	30,07%	0,00%	69,93%	0,00%	13,74581	0,17908287
0,00%	28,63%	0,00%	71,37%	0,00%	13,77172	0,180287183
0,00%	27,20%	0,00%	72,80%	0,00%	13,79763	0,181578448
0,00%	25,77%	0,00%	74,23%	0,00%	13,82354	0,182954923
0,00%	24,34%	0,00%	75,66%	0,00%	13,84946	0,184414511
0,00%	22,91%	0,00%	77,09%	0,00%	13,87537	0,185955346
0,00%	21,48%	0,00%	78,52%	0,00%	13,90128	0,187575424
0,00%	20,04%	0,00%	79,96%	0,00%	13,92719	0,189272712
0,00%	18,61%	0,00%	81,39%	0,00%	13,9531	0,191045152
0,00%	17,18%	0,00%	82,82%	0,00%	13,97902	0,192890671
0,00%	15,75%	0,00%	84,25%	0,00%	14,00493	0,194807193
0,00%	14,32%	0,00%	85,68%	0,00%	14,03084	0,196792644

0,00%	12,89%	0,00%	87,11%	0,00%	14,05675	0,198844959
0,00%	11,46%	0,00%	88,55%	0,00%	14,08266	0,200962088
0,00%	10,02%	0,00%	89,98%	0,00%	14,10858	0,203142007
0,00%	8,59%	0,00%	91,41%	0,00%	14,13449	0,205382714
0,00%	7,16%	0,00%	92,84%	0,00%	14,1604	0,207682244
0,00%	5,73%	0,00%	94,27%	0,00%	14,18631	0,210038664
0,00%	4,30%	0,00%	95,70%	0,00%	14,21222	0,21245008
0,00%	2,87%	0,00%	97,13%	0,00%	14,23814	0,214914642
0,00%	1,43%	0,00%	98,57%	0,00%	14,26405	0,217430543
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	14,29	0,22

Πίνακας Π.5 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2020

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	1,09%	0,16%	1,25%	97,50%	7,302585	0,004270892
0,00%	2,18%	0,32%	2,50%	95,00%	7,43517	0,008542247
0,00%	3,27%	0,48%	3,75%	92,50%	7,567755	0,012813139
0,00%	4,36%	0,65%	5,00%	90,00%	7,70034	0,017084494
0,00%	5,44%	0,81%	6,25%	87,50%	7,832925	0,021355617
0,00%	6,53%	0,97%	7,50%	85,00%	7,96551	0,02562674
0,00%	7,62%	1,13%	8,75%	82,50%	8,098095	0,029897864
0,00%	8,71%	1,29%	10,00%	80,00%	8,23068	0,034168988
0,00%	9,80%	1,45%	11,25%	77,50%	8,363265	0,03843988
0,00%	10,89%	1,61%	12,50%	75,00%	8,49585	0,042711235
0,00%	11,98%	1,77%	13,75%	72,50%	8,628435	0,046982358
0,00%	13,07%	1,94%	15,00%	70,00%	8,76102	0,051253481
0,00%	14,16%	2,10%	16,25%	67,50%	8,893605	0,055524374
0,00%	15,24%	2,26%	17,50%	65,00%	9,02619	0,059795728
0,00%	16,33%	2,42%	18,75%	62,50%	9,158775	0,064066621
0,00%	17,42%	2,58%	20,00%	60,00%	9,29136	0,068337976
0,00%	18,51%	2,74%	21,25%	57,50%	9,423945	0,072609099
0,00%	19,60%	2,90%	22,50%	55,00%	9,55653	0,076880223
0,00%	20,69%	3,06%	23,75%	52,50%	9,689115	0,081151346
0,00%	21,78%	3,23%	25,00%	50,00%	9,821701	0,085422271
0,00%	22,87%	3,39%	26,25%	47,50%	9,954285	0,089693593
0,00%	23,96%	3,55%	27,50%	45,00%	10,08687	0,093964717
0,00%	25,04%	3,71%	28,75%	42,50%	10,21946	0,098235641
0,00%	26,13%	3,87%	30,00%	40,00%	10,35204	0,102506964
0,00%	27,22%	4,03%	31,25%	37,50%	10,48463	0,106777888
0,00%	28,31%	4,19%	32,50%	35,00%	10,61721	0,11104898
0,00%	29,40%	4,36%	33,75%	32,50%	10,7498	0,115320266
0,00%	30,49%	4,52%	35,00%	30,00%	10,88238	0,119591458
0,00%	31,58%	4,68%	36,25%	27,50%	11,01496	0,123862581
0,00%	32,67%	4,84%	37,49%	25,00%	11,14755	0,128133506
0,00%	33,76%	5,00%	38,74%	22,50%	11,28014	0,13240463
0,00%	34,84%	5,16%	39,99%	20,00%	11,41272	0,136675952
0,00%	35,93%	5,32%	41,24%	17,50%	11,5453	0,140947075

0,00%	37,02%	5,48%	42,49%	15,00%	11,67789	0,145218199
0,00%	38,11%	5,65%	43,74%	12,50%	11,81047	0,149489323
0,00%	39,20%	5,81%	44,99%	10,00%	11,94306	0,153760446
0,00%	40,29%	5,97%	46,24%	7,50%	12,07564	0,15803157
0,00%	41,38%	6,13%	47,49%	5,00%	12,20823	0,162302693
0,00%	42,47%	6,29%	48,74%	2,50%	12,34081	0,166573817
0,00%	43,56%	6,45%	49,99%	0,00%	12,47338	0,170844299
0,00%	45,32%	2,49%	52,18%	0,00%	12,48117	0,171364264
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	12,5	0,22

Πίνακας Π.6 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2020

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,99%	0,11%	1,40%	97,50%	7,294853	0,00429345
0,00%	1,98%	0,22%	2,80%	95,00%	7,419706	0,008586902
0,00%	2,97%	0,33%	4,20%	92,50%	7,544559	0,012880104
0,00%	3,95%	0,44%	5,60%	90,00%	7,669412	0,017173557
0,00%	4,94%	0,55%	7,00%	87,50%	7,794265	0,021467009
0,00%	5,93%	0,66%	8,41%	85,00%	7,919118	0,025760707
0,00%	6,92%	0,77%	9,81%	82,50%	8,043971	0,030053912
0,00%	7,91%	0,88%	11,21%	80,00%	8,168824	0,034347612
0,00%	8,90%	1,00%	12,61%	77,50%	8,293677	0,038641062
0,00%	9,88%	1,11%	14,01%	75,00%	8,41853	0,042934515
0,00%	10,87%	1,22%	15,41%	72,50%	8,543383	0,047227967
0,00%	11,86%	1,33%	16,81%	70,00%	8,668236	0,051521416
0,00%	12,85%	1,44%	18,21%	67,50%	8,793089	0,055814868
0,00%	13,84%	1,55%	19,61%	65,00%	8,917942	0,060108321
0,00%	14,83%	1,66%	21,01%	62,50%	9,042796	0,064401558
0,00%	15,82%	1,77%	22,42%	60,00%	9,167648	0,068695224
0,00%	16,80%	1,88%	23,82%	57,50%	9,292502	0,072988461
0,00%	17,79%	1,99%	25,22%	55,00%	9,417354	0,077282125
0,00%	18,78%	2,10%	26,62%	52,50%	9,542207	0,081575577
0,00%	19,77%	2,21%	28,02%	50,00%	9,667061	0,085868816
0,00%	20,76%	2,32%	29,42%	47,50%	9,791914	0,090162267
0,00%	21,75%	2,43%	30,82%	45,00%	9,916767	0,094455719
0,00%	22,73%	2,54%	32,22%	42,50%	10,04162	0,098749171
0,00%	23,72%	2,65%	33,62%	40,00%	10,16647	0,103042622
0,00%	24,71%	2,76%	35,02%	37,50%	10,29132	0,107336039
0,00%	25,70%	2,87%	36,43%	35,00%	10,41618	0,111629739
0,00%	26,69%	2,99%	37,83%	32,50%	10,54103	0,115923189
0,00%	27,68%	3,10%	39,23%	30,00%	10,66588	0,120216641
0,00%	28,66%	3,21%	40,63%	27,50%	10,79074	0,124510092
0,00%	29,65%	3,32%	42,03%	25,00%	10,91559	0,128803544
0,00%	30,64%	3,43%	43,43%	22,50%	11,04044	0,133096995
0,00%	31,63%	3,54%	44,83%	20,00%	11,1653	0,137390446
0,00%	32,62%	3,65%	46,23%	17,50%	11,29015	0,141683932
0,00%	33,61%	3,76%	47,63%	15,00%	11,415	0,145977384

0,00%	34,60%	3,87%	49,03%	12,50%	11,53985	0,150270801
0,00%	35,58%	3,98%	50,44%	10,00%	11,66471	0,154564286
0,00%	36,57%	4,09%	51,84%	7,50%	11,78956	0,158857738
0,00%	37,56%	4,20%	53,24%	5,00%	11,91441	0,163151189
0,00%	38,55%	4,31%	54,64%	2,50%	12,03927	0,167444642
0,00%	39,54%	4,42%	56,04%	0,00%	12,16413	0,171738413
0,00%	38,69%	3,40%	57,91%	0,00%	12,17871	0,172305309
0,00%	37,45%	1,90%	60,64%	0,00%	12,20014	0,173372684
0,00%	36,22%	0,40%	63,38%	0,00%	12,22156	0,174714446
0,00%	33,82%	0,00%	66,18%	0,00%	12,24298	0,176351447
0,00%	31,00%	0,00%	69,00%	0,00%	12,2644	0,178344794
0,00%	28,18%	0,00%	71,82%	0,00%	12,28582	0,180686191
0,00%	25,36%	0,00%	74,64%	0,00%	12,30724	0,183362305
0,00%	22,54%	0,00%	77,46%	0,00%	12,32866	0,186358829
0,00%	19,73%	0,00%	80,27%	0,00%	12,35008	0,18966037
0,00%	16,91%	0,00%	83,09%	0,00%	12,3715	0,19325139
0,00%	14,09%	0,00%	85,91%	0,00%	12,39292	0,19711607
0,00%	11,27%	0,00%	88,73%	0,00%	12,41434	0,201238643
0,00%	8,45%	0,00%	91,55%	0,00%	12,43576	0,205603756
0,00%	5,63%	0,00%	94,37%	0,00%	12,45718	0,210196
0,00%	2,82%	0,00%	97,18%	0,00%	12,4786	0,215001135
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	12,5	0,22

Πίνακας Π.7 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο μέτριων τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2030

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,76%	0,06%	1,68%	97,50%	7,350818	0,004430758
0,00%	1,52%	0,12%	3,36%	95,00%	7,531636	0,008861344
0,00%	2,28%	0,18%	5,04%	92,50%	7,712454	0,013292105
0,00%	3,04%	0,25%	6,72%	90,00%	7,893272	0,01772295
0,00%	3,80%	0,31%	8,40%	87,50%	8,07409	0,022153627
0,00%	4,56%	0,37%	10,08%	85,00%	8,254908	0,026584562
0,00%	5,31%	0,43%	11,76%	82,50%	8,435726	0,031015324
0,00%	6,07%	0,49%	13,43%	80,00%	8,616544	0,035445909
0,00%	6,83%	0,55%	15,11%	77,50%	8,797362	0,03987667
0,00%	7,59%	0,61%	16,79%	75,00%	8,97818	0,044307431
0,00%	8,35%	0,68%	18,47%	72,50%	9,158998	0,048738367
0,00%	9,11%	0,74%	20,15%	70,00%	9,339816	0,053169129
0,00%	9,87%	0,80%	21,83%	67,50%	9,520634	0,057599714
0,00%	10,63%	0,86%	23,51%	65,00%	9,701452	0,062030651
0,00%	11,39%	0,92%	25,19%	62,50%	9,88227	0,066461236
0,00%	12,15%	0,98%	26,87%	60,00%	10,06309	0,070892172
0,00%	12,91%	1,04%	28,55%	57,50%	10,24391	0,075322757
0,00%	13,65%	1,12%	30,23%	55,00%	10,42472	0,079753705
0,00%	14,42%	1,17%	31,91%	52,50%	10,60554	0,084184279

0,00%	15,18%	1,23%	33,59%	50,00%	10,78636	0,08861504
0,00%	15,94%	1,29%	35,27%	47,50%	10,96718	0,093045801
0,00%	16,70%	1,35%	36,95%	45,00%	11,148	0,097476737
0,00%	17,46%	1,41%	38,63%	42,50%	11,32881	0,101907498
0,00%	18,22%	1,47%	40,30%	40,00%	11,50963	0,106338259
0,00%	18,98%	1,54%	41,98%	37,50%	11,69045	0,110768987
0,00%	19,74%	1,60%	43,66%	35,00%	11,87127	0,115199781
0,00%	20,50%	1,66%	45,34%	32,50%	12,05209	0,119630542
0,00%	21,26%	1,72%	47,02%	30,00%	12,2329	0,124061303
0,00%	22,02%	1,78%	48,70%	27,50%	12,41372	0,128492064
0,00%	22,78%	1,84%	50,38%	25,00%	12,59454	0,132922741
0,00%	23,54%	1,90%	52,06%	22,50%	12,77536	0,137353585
0,00%	24,29%	1,97%	53,74%	20,00%	12,95618	0,141784346
0,00%	25,05%	2,03%	55,42%	17,50%	13,13699	0,146215107
0,00%	25,81%	2,09%	57,10%	15,00%	13,31781	0,150645867
0,00%	26,57%	2,15%	58,78%	12,50%	13,49863	0,155076628
0,00%	27,33%	2,21%	60,46%	10,00%	13,67945	0,159507389
0,00%	28,09%	2,27%	62,14%	7,50%	13,86027	0,163938151
0,00%	28,85%	2,33%	63,82%	5,00%	14,04108	0,168368912
0,00%	29,61%	2,40%	65,50%	2,50%	14,2219	0,172799673
0,00%	30,37%	2,46%	67,18%	0,00%	14,4027	0,177229945
0,00%	29,63%	2,11%	68,25%	0,00%	14,43329	0,177999945
0,00%	28,85%	1,74%	69,40%	0,00%	14,46594	0,178866853
0,00%	28,07%	1,37%	70,55%	0,00%	14,49857	0,179779104
0,00%	27,29%	1,01%	71,70%	0,00%	14,53122	0,180736554
0,00%	26,51%	0,64%	72,86%	0,00%	14,56385	0,181738081
0,00%	25,73%	0,27%	74,01%	0,00%	14,59651	0,1827835
0,00%	24,86%	0,00%	75,14%	0,00%	14,62916	0,183871763
0,00%	23,78%	0,00%	76,22%	0,00%	14,6618	0,185005428
0,00%	22,70%	0,00%	77,30%	0,00%	14,69444	0,186185079
0,00%	21,62%	0,00%	78,38%	0,00%	14,72709	0,187409747
0,00%	20,54%	0,00%	79,46%	0,00%	14,75973	0,188678435
0,00%	19,46%	0,00%	80,54%	0,00%	14,79238	0,189990495
0,00%	18,38%	0,00%	81,62%	0,00%	14,82502	0,191344793
0,00%	17,30%	0,00%	82,70%	0,00%	14,85767	0,192740688
0,00%	16,21%	0,00%	83,79%	0,00%	14,89032	0,194177161
0,00%	15,13%	0,00%	84,87%	0,00%	14,92296	0,195653181
0,00%	14,05%	0,00%	85,95%	0,00%	14,95561	0,197168129
0,00%	12,97%	0,00%	87,03%	0,00%	14,98825	0,198720838
0,00%	11,89%	0,00%	88,11%	0,00%	15,02089	0,200310714
0,00%	10,81%	0,00%	89,19%	0,00%	15,05354	0,20193674
0,00%	9,73%	0,00%	90,27%	0,00%	15,08618	0,203597895
0,00%	8,65%	0,00%	91,35%	0,00%	15,11883	0,205293629
0,00%	7,57%	0,00%	92,43%	0,00%	15,15147	0,207022784
0,00%	6,49%	0,00%	93,51%	0,00%	15,18412	0,208784845
0,00%	5,41%	0,00%	94,59%	0,00%	15,21677	0,210578831
0,00%	4,32%	0,00%	95,68%	0,00%	15,24941	0,212403763
0,00%	3,24%	0,00%	96,76%	0,00%	15,28206	0,214259183
0,00%	2,16%	0,00%	97,84%	0,00%	15,3147	0,216143969
0,00%	1,08%	0,00%	98,92%	0,00%	15,34734	0,218057701
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	15,38	0,22

**Πίνακας Π.8 : Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο μέτριων τιμών
καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2030**

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,45%	0,00%	2,05%	97,50%	7,353043	0,004790362
0,00%	0,91%	0,00%	4,09%	95,00%	7,536086	0,00958073
0,00%	1,36%	0,00%	6,14%	92,50%	7,719129	0,014371092
0,00%	1,82%	0,00%	8,18%	90,00%	7,902172	0,019161457
0,00%	2,27%	0,00%	10,23%	87,50%	8,085215	0,023951825
0,00%	2,72%	0,00%	12,28%	85,00%	8,268258	0,028742002
0,00%	3,18%	0,00%	14,32%	82,50%	8,451301	0,033532367
0,00%	3,63%	0,00%	16,37%	80,00%	8,634344	0,038322925
0,00%	4,09%	0,00%	18,41%	77,50%	8,817387	0,043113099
0,00%	4,54%	0,00%	20,46%	75,00%	9,00043	0,047903653
0,00%	5,00%	0,00%	22,50%	72,50%	9,183473	0,052694021
0,00%	5,45%	0,00%	24,55%	70,00%	9,366516	0,057484383
0,00%	5,90%	0,00%	26,60%	67,50%	9,549559	0,062274748
0,00%	6,36%	0,00%	28,64%	65,00%	9,732602	0,067065118
0,00%	6,81%	0,00%	30,69%	62,50%	9,915645	0,071855292
0,00%	7,27%	0,00%	32,73%	60,00%	10,09869	0,076645663
0,00%	7,72%	0,00%	34,78%	57,50%	10,28173	0,081436211
0,00%	8,17%	0,00%	36,83%	55,00%	10,46477	0,086226406
0,00%	8,63%	0,00%	38,87%	52,50%	10,64782	0,091016778
0,00%	9,08%	0,00%	40,92%	50,00%	10,83086	0,095807146
0,00%	9,54%	0,00%	42,96%	47,50%	11,0139	0,100597512
0,00%	9,99%	0,00%	45,01%	45,00%	11,19695	0,105387877
0,00%	10,44%	0,00%	47,05%	42,50%	11,37999	0,110178242
0,00%	10,90%	0,00%	49,10%	40,00%	11,56303	0,114968796
0,00%	11,35%	0,00%	51,15%	37,50%	11,74608	0,119759161
0,00%	11,81%	0,00%	53,19%	35,00%	11,92912	0,124549527
0,00%	12,26%	0,00%	55,24%	32,50%	12,11216	0,129339893
0,00%	12,72%	0,00%	57,28%	30,00%	12,2952	0,134130258
0,00%	13,17%	0,00%	59,33%	27,50%	12,47825	0,138920624
0,00%	13,62%	0,00%	61,38%	25,00%	12,66129	0,14371099
0,00%	14,08%	0,00%	63,42%	22,50%	12,84433	0,148501356
0,00%	14,53%	0,00%	65,47%	20,00%	13,02738	0,153291721
0,00%	14,99%	0,00%	67,51%	17,50%	13,21042	0,158082087
0,00%	15,44%	0,00%	69,56%	15,00%	13,39346	0,162872453
0,00%	15,89%	0,00%	71,61%	12,50%	13,57651	0,167662819
0,00%	16,35%	0,00%	73,65%	10,00%	13,75955	0,172453185
0,00%	16,80%	0,00%	75,70%	7,50%	13,94259	0,177243551
0,00%	17,26%	0,00%	77,74%	5,00%	14,12563	0,182033916
0,00%	17,71%	0,00%	79,79%	2,50%	14,30868	0,186824282
0,00%	18,17%	0,00%	81,83%	0,00%	14,49173	0,191614906
0,00%	17,46%	0,00%	82,54%	0,00%	14,52603	0,192521064
0,00%	16,63%	0,00%	83,37%	0,00%	14,56669	0,193617752
0,00%	15,80%	0,00%	84,20%	0,00%	14,60736	0,19473813
0,00%	14,97%	0,00%	85,03%	0,00%	14,64803	0,195881931
0,00%	14,14%	0,00%	85,86%	0,00%	14,68869	0,197048472
0,00%	13,31%	0,00%	86,69%	0,00%	14,72936	0,198237633

0,00%	12,47%	0,00%	87,53%	0,00%	14,77003	0,199448723
0,00%	11,64%	0,00%	88,36%	0,00%	14,81069	0,200681485
0,00%	10,81%	0,00%	89,19%	0,00%	14,85136	0,201935675
0,00%	9,98%	0,00%	90,02%	0,00%	14,89203	0,203210597
0,00%	9,15%	0,00%	90,85%	0,00%	14,93269	0,20450601
0,00%	8,32%	0,00%	91,68%	0,00%	14,97336	0,205821686
0,00%	7,48%	0,00%	92,52%	0,00%	15,01403	0,207156927
0,00%	6,65%	0,00%	93,35%	0,00%	15,05469	0,208511509
0,00%	5,82%	0,00%	94,18%	0,00%	15,09536	0,209885225
0,00%	4,99%	0,00%	95,01%	0,00%	15,13603	0,211277375
0,00%	4,16%	0,00%	95,84%	0,00%	15,1767	0,212687928
0,00%	3,33%	0,00%	96,67%	0,00%	15,21736	0,214116184
0,00%	2,49%	0,00%	97,51%	0,00%	15,25803	0,215561958
0,00%	1,66%	0,00%	98,34%	0,00%	15,2987	0,217025075
0,00%	0,83%	0,00%	99,17%	0,00%	15,33936	0,218504839
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	15,38	0,22

Πίνακας Π.9 Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – μέτριων τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2030

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,85%	0,09%	1,56%	97,50%	7,28938	0,004357669
0,00%	1,70%	0,17%	3,12%	95,00%	7,40876	0,008715868
0,00%	2,55%	0,26%	4,69%	92,50%	7,52814	0,013073604
0,00%	3,41%	0,35%	6,25%	90,00%	7,64752	0,017431472
0,00%	4,26%	0,43%	7,81%	87,50%	7,7669	0,021789407
0,00%	5,11%	0,52%	9,37%	85,00%	7,88628	0,026147342
0,00%	5,96%	0,61%	10,93%	82,50%	8,00566	0,030505543
0,00%	6,81%	0,69%	12,50%	80,00%	8,12504	0,034863212
0,00%	7,66%	0,78%	14,06%	77,50%	8,24442	0,039221408
0,00%	8,51%	0,87%	15,62%	75,00%	8,3638	0,043579081
0,00%	9,37%	0,95%	17,18%	72,50%	8,48318	0,047937016
0,00%	10,22%	1,04%	18,74%	70,00%	8,60256	0,052294951
0,00%	11,07%	1,13%	20,31%	67,50%	8,72194	0,056652886
0,00%	11,92%	1,21%	21,87%	65,00%	8,84132	0,061011087
0,00%	12,77%	1,30%	23,43%	62,50%	8,9607	0,065368755
0,00%	13,62%	1,38%	24,99%	60,00%	9,08008	0,06972669
0,00%	14,47%	1,47%	26,55%	57,50%	9,19946	0,074084625
0,00%	15,32%	1,56%	28,12%	55,00%	9,31884	0,078442827
0,00%	16,18%	1,64%	29,68%	52,50%	9,43822	0,082800758
0,00%	17,03%	1,73%	31,24%	50,00%	9,5576	0,087158694
0,00%	17,88%	1,82%	32,80%	47,50%	9,67698	0,091516366
0,00%	18,73%	1,90%	34,36%	45,00%	9,79636	0,095874309
0,00%	19,58%	1,99%	35,93%	42,50%	9,91574	0,100232234
0,00%	20,43%	2,08%	37,49%	40,00%	10,03512	0,104590196
0,00%	21,29%	2,16%	39,05%	37,50%	10,1545	0,10894837

0,00%	22,14%	2,25%	40,61%	35,00%	10,27388	0,1133063
0,00%	22,99%	2,34%	42,17%	32,50%	10,39326	0,117664235
0,00%	23,84%	2,42%	43,74%	30,00%	10,51264	0,12202217
0,00%	24,69%	2,51%	45,30%	27,50%	10,63202	0,12637988
0,00%	25,54%	2,60%	46,86%	25,00%	10,7514	0,13073804
0,00%	26,39%	2,68%	48,42%	22,50%	10,87078	0,135096011
0,00%	27,25%	2,77%	49,99%	20,00%	10,99016	0,139453946
0,00%	28,10%	2,86%	51,55%	17,50%	11,10954	0,143811881
0,00%	28,95%	2,94%	53,11%	15,00%	11,22892	0,148169815
0,00%	29,80%	3,03%	54,67%	12,50%	11,3483	0,15252775
0,00%	30,65%	3,12%	56,23%	10,00%	11,46768	0,156885685
0,00%	31,50%	3,20%	57,80%	7,50%	11,58706	0,16124362
0,00%	32,35%	3,29%	59,36%	5,00%	11,70644	0,165601554
0,00%	33,21%	3,38%	60,92%	2,50%	11,82582	0,169959489
0,00%	34,06%	3,46%	62,48%	0,00%	11,94518	0,174316657
0,00%	33,77%	3,30%	62,92%	0,00%	11,95147	0,174549747
0,00%	32,64%	2,67%	64,68%	0,00%	11,9764	0,175544884
0,00%	31,51%	2,05%	66,44%	0,00%	12,00133	0,176651337
0,00%	30,38%	1,42%	68,20%	0,00%	12,02626	0,177867159
0,00%	29,25%	0,79%	69,96%	0,00%	12,05119	0,179189981
0,00%	28,12%	0,16%	71,72%	0,00%	12,07611	0,180617401
0,00%	26,60%	0,00%	73,40%	0,00%	12,10106	0,182151366
0,00%	24,93%	0,00%	75,07%	0,00%	12,12599	0,183798411
0,00%	23,27%	0,00%	76,73%	0,00%	12,15092	0,185555979
0,00%	21,61%	0,00%	78,39%	0,00%	12,17585	0,187421052
0,00%	19,95%	0,00%	80,05%	0,00%	12,20079	0,189390578
0,00%	18,29%	0,00%	81,71%	0,00%	12,22572	0,191461098
0,00%	16,62%	0,00%	83,38%	0,00%	12,25065	0,193629485
0,00%	14,96%	0,00%	85,04%	0,00%	12,27558	0,195892489
0,00%	13,30%	0,00%	86,70%	0,00%	12,30051	0,198246869
0,00%	11,64%	0,00%	88,36%	0,00%	12,32545	0,20068956
0,00%	9,97%	0,00%	90,03%	0,00%	12,35038	0,203217243
0,00%	8,31%	0,00%	91,69%	0,00%	12,37531	0,205826468
0,00%	6,65%	0,00%	93,35%	0,00%	12,40024	0,20851479
0,00%	4,99%	0,00%	95,01%	0,00%	12,42518	0,211278891
0,00%	3,33%	0,00%	96,67%	0,00%	12,45011	0,214115666
0,00%	1,66%	0,00%	98,34%	0,00%	12,47504	0,217022421
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	12,5	0,22

Πίνακας Π.10 Αποτελέσματα αποδοτικών χαρτοφυλακίων για το σενάριο υψηλών τιμών καυσίμων – υψηλών τιμών εκπομπών CO₂ για το έτος 2030

Ποσοστό συμμετοχής των ενεργειακών πηγών στο χαρτοφυλάκιο (%)					Απόδοση (kWh/€)	Ρίσκο - Κίνδυνος (Τυπική Απόκλιση)
Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Ανθρακας	Πυρηνικά	Υδροηλεκτρικά		
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	7,17	0
0,00%	0,51%	0,00%	1,99%	97,50%	7,287987	0,004722585
0,00%	1,02%	0,00%	3,98%	95,00%	7,405974	0,009444885
0,00%	1,53%	0,00%	5,97%	92,50%	7,523961	0,014167759

0,00%	2,04%	0,00%	7,96%	90,00%	7,641948	0,018890345
0,00%	2,54%	0,00%	9,96%	87,50%	7,759935	0,023612931
0,00%	3,05%	0,00%	11,95%	85,00%	7,877922	0,028335519
0,00%	3,56%	0,00%	13,94%	82,50%	7,995909	0,033058105
0,00%	4,07%	0,00%	15,93%	80,00%	8,113896	0,037780691
0,00%	4,58%	0,00%	17,92%	77,50%	8,231883	0,042503278
0,00%	5,09%	0,00%	19,91%	75,00%	8,34987	0,047225864
0,00%	5,60%	0,00%	21,90%	72,50%	8,467857	0,051948451
0,00%	6,11%	0,00%	23,89%	70,00%	8,585844	0,056671037
0,00%	6,61%	0,00%	25,89%	67,50%	8,703831	0,061393624
0,00%	7,12%	0,00%	27,88%	65,00%	8,821818	0,06611621
0,00%	7,63%	0,00%	29,87%	62,50%	8,939805	0,070838797
0,00%	8,14%	0,00%	31,86%	60,00%	9,057792	0,075561383
0,00%	8,65%	0,00%	33,85%	57,50%	9,175779	0,08028397
0,00%	9,16%	0,00%	35,84%	55,00%	9,293766	0,085006556
0,00%	9,67%	0,00%	37,83%	52,50%	9,411753	0,089729143
0,00%	10,18%	0,00%	39,82%	50,00%	9,52974	0,09445173
0,00%	10,68%	0,00%	41,82%	47,50%	9,647727	0,099174316
0,00%	11,19%	0,00%	43,81%	45,00%	9,765714	0,103896845
0,00%	11,70%	0,00%	45,80%	42,50%	9,883701	0,108619489
0,00%	12,21%	0,00%	47,79%	40,00%	10,00169	0,113342075
0,00%	12,72%	0,00%	49,78%	37,50%	10,11968	0,118064662
0,00%	13,23%	0,00%	51,77%	35,00%	10,23766	0,122787248
0,00%	13,74%	0,00%	53,76%	32,50%	10,35565	0,127509835
0,00%	14,25%	0,00%	55,75%	30,00%	10,47364	0,132232421
0,00%	14,75%	0,00%	57,75%	27,50%	10,59162	0,136955007
0,00%	15,26%	0,00%	59,74%	25,00%	10,70961	0,141677594
0,00%	15,77%	0,00%	61,73%	22,50%	10,8276	0,14640018
0,00%	16,28%	0,00%	63,72%	20,00%	10,94558	0,151122766
0,00%	16,79%	0,00%	65,71%	17,50%	11,06357	0,155845353
0,00%	17,30%	0,00%	67,70%	15,00%	11,18156	0,160567939
0,00%	17,81%	0,00%	69,69%	12,50%	11,29955	0,165290525
0,00%	18,32%	0,00%	71,68%	10,00%	11,41753	0,170013112
0,00%	18,83%	0,00%	73,68%	7,50%	11,53552	0,174735698
0,00%	19,33%	0,00%	75,67%	5,00%	11,65351	0,179458285
0,00%	19,84%	0,00%	77,66%	2,50%	11,77149	0,184180871
0,00%	20,35%	0,00%	79,65%	0,00%	11,88946	0,188902658
0,00%	19,47%	0,00%	80,53%	0,00%	11,91587	0,189974093
0,00%	18,45%	0,00%	81,55%	0,00%	11,94662	0,191256584
0,00%	17,42%	0,00%	82,58%	0,00%	11,97736	0,1925764
0,00%	16,40%	0,00%	83,60%	0,00%	12,00811	0,193932778
0,00%	15,37%	0,00%	84,63%	0,00%	12,03885	0,195324957
0,00%	14,35%	0,00%	85,65%	0,00%	12,06959	0,196752177
0,00%	13,32%	0,00%	86,68%	0,00%	12,10034	0,198213681
0,00%	12,30%	0,00%	87,70%	0,00%	12,13108	0,199708715
0,00%	11,27%	0,00%	88,73%	0,00%	12,16183	0,201236534
0,00%	10,25%	0,00%	89,75%	0,00%	12,19257	0,202796395
0,00%	9,22%	0,00%	90,78%	0,00%	12,22331	0,204387566
0,00%	8,20%	0,00%	91,80%	0,00%	12,25406	0,20600932
0,00%	7,17%	0,00%	92,83%	0,00%	12,2848	0,207660941
0,00%	6,15%	0,00%	93,85%	0,00%	12,31555	0,209341723
0,00%	5,12%	0,00%	94,88%	0,00%	12,34629	0,211050968
0,00%	4,10%	0,00%	95,90%	0,00%	12,37703	0,212787991

0,00%	3,07%	0,00%	96,93%	0,00%	12,40778	0,214552117
0,00%	2,05%	0,00%	97,95%	0,00%	12,43852	0,216342683
0,00%	1,02%	0,00%	98,98%	0,00%	12,46927	0,218159038
0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	12,5	0,22000001