



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη Συστήματος Υπολογισμού Κινδύνου Ενεργειακών
Διαδρομών στην Ευρώπη**

Ιωάννης Μπακαγιάννης

Επιβλέπων: Ι. Ψαρράς

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη Συστήματος Υπολογισμού Κινδύνου Ενεργειακών Διαδρομών στην Ευρώπη

Ιωάννης Μπακαγιάννης

Επιβλέπων: Ι. Ψαρράς

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούλιο του 2011.

.....

.....

.....

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....

Ιωάννης Μπακαγιάννης

Πτυχιούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Copyright © Ιωάννης Μπακαγιάννης, 2011

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.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Απόφασης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση και ο υπολογισμός του ενεργειακού κινδύνου στις ενεργειακές ευρωπαϊκές διαδρομές. Η μελέτη αυτή προϋποθέτει την επιλογή των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν τον ενεργειακό κίνδυνο, την ανάλυση των μεταβλητών αυτών με στόχο την παραγωγή συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων και κυρίως την συστημική μοντελοποίηση των μεταβλητών, ώστε να εξαχθεί το συνολικό ενεργειακό ρίσκο μιας διαδρομής ενέργειας. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης προσπάθειας αναλύθηκε σε επιμέρους βήματα τα οποία αποτελούνται από τον υπολογισμό του ρίσκου του ενεργειακού εφοδιασμού ανά παράμετρο-κατηγορία κινδύνου, στη συνέχεια τον υπολογισμό του ρίσκου ανά χώρα – μέλος της ενεργειακής διαδρομής και τέλος την ανάπτυξη συστήματος για την εκάστοτε συνολική ενεργειακή διαδρομή. Η μέθοδος θα εφαρμοστεί στις διαδρομές φυσικού αερίου της Ελλάδας και θα έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό του ενεργειακού κινδύνου του κάθε αγωγού παροχής φυσικού αερίου

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Ιωάννη Ψαρρά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και την υποψήφια διδάκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Μ. Φλουρή για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής.

Ιωάννης Μπακαγιάννης

Αθήνα, Ιούλιος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια έχει διεισδύσει στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας. Το γεγονός αυτός επιβεβαιώνεται από την αύξηση της ζήτησης των ενεργειακών πόρων τα τελευταία χρόνια. Ως εκ τούτου κάθε χώρα προσπαθεί να εξασφαλίσει τους απαραίτητους ενεργειακούς πόρους για την διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας των παραγωγικών διαδικασιών της και την ικανοποίηση των οικιακών αναγκών των πολιτών της. Έτσι ο όρος ενεργειακή ασφάλεια αποκτά νόημα και γίνεται στόχος για την ευημερία των κοινωνιών.

Σύμφωνα με αυτή τη σκοπιά κάθε χώρα ή συνασπισμός χωρών όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι απαραίτητο να λάβει μια σειρά αποφάσεων με σκοπό την εξασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας. Δηλαδή είναι αναγκαία η δημιουργία μιας ενεργειακής πολιτικής τόσο ενιαίας σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και σε επίπεδο χώρας.

Στην κατεύθυνση της ενεργειακής ασφάλειας οι ερευνητές προσπαθούν να αναπτύξουν εργαλεία για τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση των ενεργειακών κινδύνων. Το αντικείμενο της διπλωματικής σχετίζεται με την ανάπτυξη ενός τέτοιου εργαλείου που αφορά τον ενεργειακό κίνδυνο των αγωγών ενέργειας. Συγκεκριμένα η παρούσα διπλωματική εστιάζει στην συστηματική προσέγγιση του ενεργειακού μοντέλου των αγωγών με σκοπό την εξαγωγή ενός συνολικού ενεργειακού ρίσκου του αγωγού. Εισάγει ένα νέο τρόπο υπολογισμού των ενεργειακών ρίσκων που βασίζεται στην ανάλυση μέσω θεωρίας ελέγχου. Επίσης σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων διαδραματίζει η αποτελεσματική αντιμετώπιση της αβεβαιότητας των ενεργειακών συστημάτων. Στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής επιχειρείται η άρση της αβεβαιότητας μέσω στοχαστικών διαδικασιών ελέγχου.

Λέξεις κλειδιά: ενεργειακή ασφάλεια, ενεργειακή πολιτική, μεθοδολογίες υπολογισμού κινδύνου, συστηματική προσέγγιση μοντέλου, συστήματα αβεβαιότητας

SUMMARY

Energy has penetrated everyday life and has become an integral part of the production process. This fact is confirmed by the increasing energy resources' demand, within the last years. Therefore each country tries to secure the necessary energy resources in order to ensure the smooth production processes' flow and meet its citizens' household needs. Thus the term energy security gains an increasingly important meaning and comprises the target for the society's welfare.

In this respect any country or block of countries, such as the European Union, must undertake a series of decisions aiming at ensuring energy security, which is necessary for the creation of a single energy policy at both EU and country level.

Researchers are trying to develop tools in order to identify and quantify energy risks towards energy security. The objective of this particular thesis is to develop a tool related to pipeline operation energy risk. Specifically, the approach followed in this thesis focuses on the systemic modeling of energy pipelines, in order to export the pipeline's total energy risk. It introduces a new way of calculating the energy risk-based analysis using control theory. Furthermore, as it is also important to draw safe, unbiased conclusions, in order to attain an effective response to the energy systems uncertainty, this thesis attempts to remove uncertainty through stochastic procedures.

Keywords: energy security, energy policy, risk calculation methodologies, systemic approach, systems with uncertainty

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....13

1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....13

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....14

2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

2.1 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ Ε.Ε.....17

2.1.1 Η κατάσταση της αγοράς ενέργειας της Ε.Ε.....17

2.1.2 Ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου19

2.2 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....21

2.2.1 Ελληνική αγορά φυσικού αερίου.....21

2.2.2 Ελληνικό δίκτυο φυσικού αερίου.....23

3 ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 ΚΙΝΔΥΝΟΣ.....27

3.1.1 Ορισμός.....27

3.1.2 Κίνδυνος στον ενεργειακό εφοδιασμό.....28

3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ.....29

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.....33

3.3.1 Εναλλακτικά μοντέλα ενεργειακού ρίσκου.....33

3.3.1.1 Ανάλυση κυρίων συνιστωσών34

3.3.1.2 Ανάλυση παραγόντων.....36

3.3.1.3 Αξία σε κίνδυνο.....38

3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΓΩΓΟΥ.....39

3.4.1	Γενικές αρχές.....	39
3.4.2	Συστήματα στο ενεργειακό μοντέλο.....	40
3.5	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	43
3.6	ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	45
3.6.1	Αβεβαιότητα και ρίσκο.....	45
3.6.2	Στοχαστικός έλεγχος.....	46
3.6.3	Ασαφής έλεγχος.....	46
3.6.4	Εύρωστος έλεγχος.....	47
4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	
4.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ.....	50
4.1.1	Οικονομικοί παράγοντες.....	51
4.1.2	Ενεργειακοί παράγοντες.....	53
4.1.3	Πολιτικοί παράγοντες.....	54
4.1.4	Κοινωνικοί παράγοντες.....	57
4.2	ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.....	58
4.2.1	Σύγκριση μεθόδων.....	58
4.2.2	Μεθοδολογία της PCA.....	60
4.3	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΡΙΣΚΟΥ ΧΩΡΑΣ.....	62
4.3.1	Επιλογή μοντέλου συστήματος.....	62
4.3.2	Επίλυση συστήματος.....	64
4.3.3	Παραγωγή αποτελέσματος κοινωνικοοικονομικού ρίσκου χώρας.....	67
4.4	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	68
4.4.1	Στοχαστική ανάλυση.....	68
4.4.2	Στοχαστικές ανελίξεις και ιδιότητες.....	69
4.4.3	Το πολυμεταβλητό μοντέλο Gauss-Markov.....	70

4.4.4	Στοχαστικοί εκτιμητές και φίλτρα Kalman.....	71
4.5	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΡΙΣΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ.....	74
4.6	ΣΥΝΟΨΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	75
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	
5.1	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	81
5.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΙΣΚΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	82
5.2.1	Συλλογή δεδομένων.....	82
5.2.2	Εφαρμογή της PCA.....	102
5.3	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΙΛΤΡΟΥ KALMAN ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΡΙΣΚΟΥ ΧΩΡΑΣ.....	107
5.3.1	Δημιουργία συστήματος για κάθε χώρα.....	108
5.3.2	Εφαρμογή φίλτρου Kalman.....	109
5.3.3	Αποτελέσματα.....	112
5.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ.....	130
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	136
6.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	137
6.3	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	138
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	141
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	148

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2010-2011 στο πλαίσιο του εργαστηρίου «Συστημάτων αποφάσεων και διοίκησης» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον κο. Ι. Ψαρρά καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.

Το παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο, και ιδιαίτερα το ευρωπαϊκό, αλλάζει ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες δίνοντας, τώρα περισσότερο από ποτέ, νόημα στον όρο της ενεργειακής ασφάλειας. Η ζήτηση ενέργειας έχει αυξηθεί κατακόρυφα τα τελευταία χρόνια και προβλέψεις δείχνουν ότι η τάση αυτή θα συνεχιστεί και στο μέλλον. Το γεγονός αυτό οδήγησε τα κράτη στη χρήση των ενεργειακών πόρων σαν όπλα εξωτερικής πολιτικής με σκοπό την πραγματοποίηση κερδοφόρων συμφωνιών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση στο σύνολό της, όπως και κάθε χώρα ξεχωριστά έχουν συνειδητοποιήσει τη σημασία της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και κατευθύνονται στην ανάπτυξη ενεργειακών πολιτικών που θα εξασφαλίζουν την αειφορία του ενεργειακού τους συστήματος. Στην κατεύθυνση αυτή διαπιστώνεται ότι κάθε διαδρομή μεταφοράς ενέργειας εγκλείει τον κίνδυνο διακοπής της ροής ενέργειας και κατ'επέκταση την διατάραξη της ενεργειακής ασφάλειας. Επομένως οι αγωγοί ενέργειας αποτελούν στρατηγικό κομμάτι στην διαμόρφωση αποτελεσματικής ενεργειακής πολιτικής ενώ η γνώση του ρίσκου που περιέχουν αποτελεί το κριτήριο στην κατεύθυνση αυτή.

Στο πλαίσιο αυτό η παρούσα διπλωματική καλείται να δώσει μια απάντηση για τον κίνδυνο που περιέχουν οι αγωγοί φυσικού αερίου ειδικά, και κατ'επέκταση να δώσουν στοιχεία χρήσιμα για το ρίσκο που περιέχουν όλοι οι αγωγοί ενέργειας. Ο κίνδυνος των αγωγών φυσικού αερίου θα μελετηθεί σύμφωνα με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες ρίσκου οι οποίοι χαρακτηρίζουν την κάθε χώρα-μέλος του αγωγού σε σχέση πάντα με την ενεργειακή ασφάλεια. Βέβαια απαντήσεις για τα επίπεδα κινδύνου του αγωγού δεν θα δώσουν αποκλειστικά οι τιμές των παραγόντων ρίσκου που έχουν επιλεγεί, αλλά και τα χαρακτηριστικά της οντότητας του αγωγού μέσω συστημικής προσέγγισης και ανάλυσης σύμφωνα με την θεωρία ελέγχου.

1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη Διπλωματική εργασία ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία που αποτελείται από τις εξής φάσεις:

Φάση 1: Ανάλυση Ευρωπαϊκής και Ελληνικής αγοράς Φυσικού Αερίου

Στην πρώτη αυτή φάση γίνεται αναφορά στις αγορές φυσικού αερίου τόσο της Ευρώπης όσο και της Ελλάδας, και εστιάζεται στην αυξανόμενη ζήτηση του φυσικού αερίου και στο ελληνικό δίκτυο προμήθειας.

Φάση 2: Ανάλυση κατηγοριών κινδύνου

Στην δεύτερη φάση συλλέχθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες, που σχετίζονται με τις διάφορες κατηγορίες στις οποίες διακρίνεται ο κίνδυνος ενεργειακού εφοδιασμού με σκοπό την επιλογή της αντιπροσωπευτικότερης.

Φάση 3: Συστήματα για τον υπολογισμό ρίσκου αγωγών ενέργειας

Στην τρίτη φάση επιχειρείται η συστηματοποίηση του ενεργειακού μοντέλου μέσω χρονοσειρών των μεταβλητών κινδύνου που προκύπτουν από την προηγούμενη φάση με στόχο την παραγωγή αποτελεσμάτων ρίσκου τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο αγωγού.

Φάση 4: Ανάλυση αβεβαιότητας συστημάτων - Πρόβλεψη

Κάθε σύστημα που σχεδιάζεται για εφαρμογές του πραγματικού κόσμου μαστίζεται από το πρόβλημα της αβεβαιότητας. Στην τέταρτη φάση αντιμετωπίζεται η αβεβαιότητα μέσω διαδικασιών στοχαστικού ελέγχου και γίνεται πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων ρίσκου.

Φάση 5: Επιλογή μεθόδων

Πραγματοποιήθηκε επιλογή των μεθόδων που αφορούν τις κατηγορίες κινδύνου, τη μορφή των συστημάτων και των εργαλείων για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας των συστημάτων αυτών.

Φάση 6: Εφαρμογή μεθόδων

Στη φάση αυτή συλλέχθηκαν τα δεδομένα κινδύνου, χρησιμοποιείται η μέθοδος της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών για τη δημιουργία κατηγοριών κινδύνου, συστηματοποιείται κατάλληλα το ενεργειακό μοντέλο και εφαρμόζεται το κατάλληλο εργαλείο για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας του συστήματος και για την πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων ρίσκου.

Φάση 7: Συμπεράσματα και προοπτικές

Στην τελευταία φάση εκθέτονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου στους αγωγούς που εμπλέκεται η Ελλάδα και γενικότερα ευρήματα της συνολικής μελέτης. Επίσης παρουσιάζονται και οι προοπτικές που δίνει η παρούσα διπλωματική στην κατεύθυνση της έρευνας του προβλήματος της ενεργειακής ασφάλειας.

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η δομή της διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

Αρχικά παρουσιάζεται η Περίληψη της εργασίας, στην ελληνική και την αγγλική γλώσσα, όπου παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά σημεία της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 1, το οποίο αποτελεί την εισαγωγή, αναφέρονται ο σκοπός και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, καθώς και η διαδικασία πραγματοποίησής της.

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται παρουσίαση της ενεργειακής κατάστασης στην Ευρώπη και ειδικά στη διαμόρφωση του ενεργειακού τοπίου ως προς το φυσικό αέριο. Επίσης αναφέρεται σύντομα η ενεργειακή κατάσταση της Ελλάδας και το πώς διαμορφώνεται η αγορά φυσικού αερίου στον ελληνικό χώρο.

Στο Κεφάλαιο 3, αναλύεται η έννοια του κινδύνου στον ενεργειακό εφοδιασμό και γίνεται μία σύντομη παρουσίαση τόσο των κατηγοριών ενεργειακού κινδύνου όσο και των μεθόδων που υπάρχουν και εφαρμόζονται στην εκτίμηση κινδύνων. Παράλληλα εισάγεται η έννοια των συστημάτων και παρουσιάζεται πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ενεργειακό μοντέλο, όπως επίσης παρουσιάζονται εργαλεία που εφαρμόζονται πάνω στα συστήματα για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας.

Στο Κεφάλαιο 4, επιλέγονται οι μέθοδοι που ταιριάζουν βέλτιστα στο πρόβλημα της μοντελοποίησης του συστήματος του αγωγού ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 5, εφαρμόζονται οι επιλεγόμενες μέθοδοι. Συλλέγονται τα δεδομένα των κοινωνικοοικονομικών ρίσκων, συστηματοποιείται η οντότητα του αγωγού και εφαρμόζεται το εργαλείο για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας.

Στο Κεφάλαιο 6, εξάγονται συμπεράσματα και προτείνονται εφαρμογές για μελλοντικές μελέτες πάνω στο ίδιο πρόβλημα.

Τέλος στο παράρτημα παρουσιάζεται ο κώδικας σε MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του τελικού ρίσκου του αγωγού από τα δεδομένα του προβλήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

2.1 Η ενεργειακή πραγματικότητα της ΕΕ

2.1.1 Η κατάσταση της αγοράς ενέργειας της ΕΕ

Η Ευρώπη είναι μια ήπειρος η οποία δεν έχει ευλογηθεί με ατελείωτα κοιτάσματα ενεργειακών αποθεμάτων και για αυτό το λόγο τον τελευταίο αιώνα προσπαθεί να δημιουργήσει ένα στρατηγικό σχέδιο για την βέλτιστη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων. Τα τελευταία χρόνια το ζήτημα μιας ενιαίας ενεργειακής πολιτικής γίνεται ακόμη πιο έντονο καθώς η Ευρωπαϊκή ενεργειακή αγορά εισέρχεται σε μια νέα εποχή η οποία χαρακτηρίζεται από:

- Επείγουσα ανάγκη για επενδύσεις: Στην Ευρώπη και μόνο, για να καλυφθεί η αναμενόμενη ενεργειακή ζήτηση και για την αντικατάσταση της γηράσκουσας υποδομής, απαιτούνται επενδύσεις ενός τρισεκατομμυρίου ευρώ περίπου για τα επόμενα 20 χρόνια.
- Αύξηση της εξάρτησης από τις εισαγωγές: Αν η εγχώρια αγορά ενέργειας δεν κατορθώσει να γίνει ανταγωνιστικότερη, μέσα στα επόμενα 20 έως 30 έτη περίπου το 70% των ενεργειακών αναγκών της Ένωσης, σε σύγκριση με το 50% σήμερα, θα καλύπτεται από εισαγόμενα προϊόντα - ορισμένα από πολιτικά ασταθείς περιοχές
- Συγκέντρωση των αποθεμάτων σε λίγες χώρες: Σήμερα, περίπου το ήμισυ του φυσικού αερίου της ευρωπαϊκής κατανάλωσης προέρχεται από τρεις μόνο χώρες (Ρωσία, Νορβηγία, Αλγερία). Σύμφωνα με τις τρέχουσες τάσεις, οι εισαγωγές αερίου αναμένεται να αυξηθούν κατά 80% τα επόμενα 25 χρόνια.
- Αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης: Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας - και οι εκπομπές CO₂ - αναμένεται να αυξηθούν περίπου κατά 60% μέχρι το 2030. Από την άλλη πλευρά η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου αυξήθηκε κατά 20% από το 1994, και η παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου προβλέπεται να αυξάνεται κατά 1,6% ετησίως.
- Αύξηση των τιμών πετρελαίου και φυσικού αερίου: Οι τιμές των ενεργειακών αυτών αγαθών έχουν πρακτικώς διπλασιαστεί στην ΕΕ κατά την τελευταία διετία, με τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας να ακολουθούν. Με την αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης ορυκτών καυσίμων, την πίεση στα κυκλώματα προμήθειας και την αυξανόμενη εξάρτηση από τις εισαγωγές, υψηλές τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι πιθανόν να συνεχίσουν να υπάρχουν και να αυξάνονται.
- Κλιματική αλλαγή: Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Ομάδα για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έχουν ήδη αυξησει κατά 0,6 βαθμούς τη θερμοκρασία παγκοσμίως. Εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα, θα σημειωθεί αύξηση κατά 1,4 έως 5,8 βαθμούς έως το τέλος του αιώνα. Όλες οι περιοχές του κόσμου - συμπεριλαμβανομένης της ΕΕ - θα αντιμετωπίσουν σοβαρές συνέπειες για τις οικονομίες και τα οικοσυστήματά τους.
- Μερικώς ανταγωνιστικές εσωτερικές αγορές ενέργειας: Μόνον όταν υπάρξουν τέτοιες αγορές, οι πολίτες της ΕΕ και οι επιχειρήσεις θα μπορούν να απολαμβάνουν όλα τα οφέλη του ασφαλούς εφοδιασμού και των χαμηλότερων τιμών. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μονοπωλιακές πρακτικές που ακολουθούν ορισμένες χώρες δεν επιτρέπει την πτώση των τιμών και οι μηχανισμοί λειτουργούν με στόχο την αύξηση του κέρδους και όχι την ευημερία των πολιτών και επιχειρήσεων. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, πρέπει να αναπτυχθούν διασυνδέσεις, αποτελεσματικά νομοθετικά και ρυθμιστικά πλαίσια τα οποία να είναι σε θέση

και να εφαρμοστούν πλήρως στην πράξη, και οι κοινοτικοί κανόνες ανταγωνισμού θα πρέπει να ενισχυθούν σημαντικά [1].

Αυτό είναι το νέο ενεργειακό τοπίο του 21ου αιώνα. Πρόκειται για ένα τοπίο κατά το οποίο όλες οικονομικές περιφέρειες ανά τον κόσμο εξαρτώνται η μία από την άλλη για την κατοχύρωση της ενεργειακής ασφάλειας, σταθερών οικονομικών συνθηκών και για τη διασφάλιση αποτελεσματικής δράσης κατά της κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματα αυτού του τοπίου γίνονται άμεσα αισθητά στον καθένα. Η πρόσβαση στην ενέργεια είναι θεμελιώδους σημασίας για την καθημερινή ζωή του Ευρωπαίου. Οι Ευρωπαίοι επηρεάζονται από τις υψηλότερες τιμές, την απειλούμενη ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και τις αλλαγές του κλίματος της Ευρώπης. Η αιεφόρος, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της καθημερινής ζωής. Για το λόγο αυτό τα τελευταία 5 χρόνια έχει επιταχυνθεί σημαντικά η δημιουργία μιας ενιαίας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής που βασίζεται στην ανταγωνιστικότητα, τη βιωσιμότητα και στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Αυτή η προσπάθεια συνοψίζεται στα εξής γεγονότα:

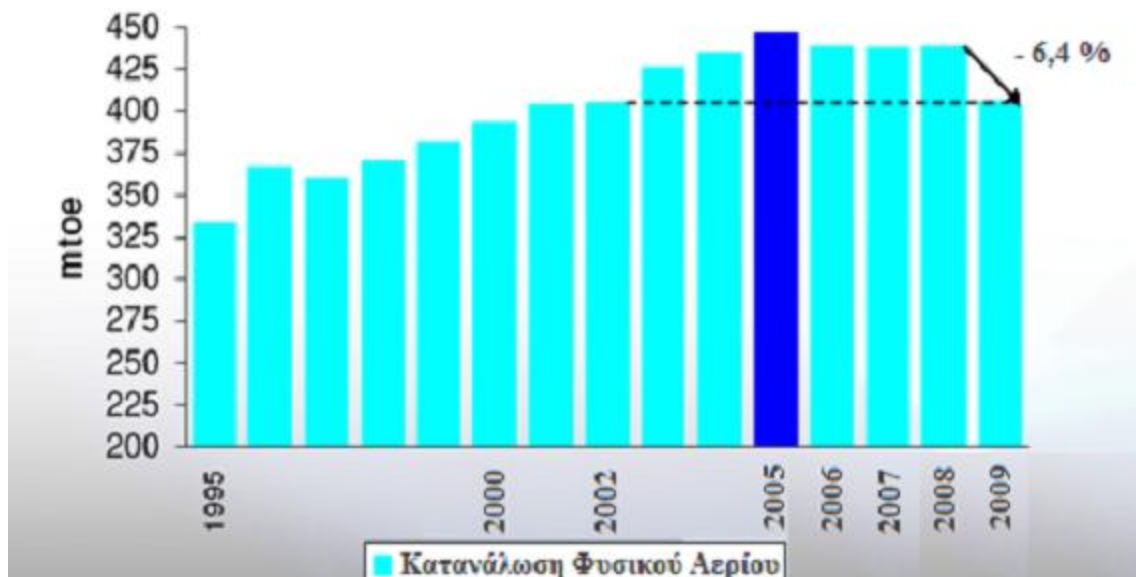
- Η σύνταξη της Πράσινης Βίβλου τον Μάρτιο του 2006 με τίτλο «Ευρωπαϊκή στρατηγική για την αιεφόρο, ανταγωνιστική και ασφαλή ενέργεια» στην οποία προσδιορίζονται για πρώτη φορά σε σαφή πλαίσια τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Τον Οκτώβριο του 2006, η Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης ενέκρινε ένα συνολικό σχέδιο δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας το οποίο αποσκοπούσε στη δημιουργία ενός συνεκτικού πολιτικού, νομοθετικού πλαισίου που θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση 20% της ενεργειακής αποδοτικότητας, σε σχέση με την αναμενόμενη τιμή του δείκτη.
- Τον Ιανουάριο του 2007, η Επιτροπή ανακοίνωσε το πρώτο ευρωπαϊκό ενεργειακό σχέδιο δράσης το οποίο τέθηκε σε ισχύ από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το Μάρτιο του 2007 [2]. Επί του παρόντος, τα περισσότερα από τα μέτρα του σχεδίου δράσης εφαρμόζονται σε μεγάλο βαθμό μέσω νέας νομοθεσίας και θα υποστηριχτούν από τρέχουσες προτάσεις που σύντομα θα συμφωνηθούν.
- Τον Σεπτέμβριο του 2007, προκειμένου να ολοκληρωθεί η μορφοποίηση της αγοράς φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, η Επιτροπή προτείνει περαιτέρω μέτρα απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας, το λεγόμενο «τρίτο πακέτο». Η νομοθεσία αυτή συμφωνήθηκε από το Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο τον Ιούλιο του 2009 [3].
- Το Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακής Τεχνολογίας (SET), που παρουσίασε η Επιτροπή της Ε.Ε. τον Νοέμβριο του 2007 και συμφωνήθηκε το Μάρτιο του 2008, παρουσιάζει τις προτεραιότητες για τις μελλοντικές ενεργειακές τεχνολογίες [4].
- Τον Ιανουάριο του 2008, η Επιτροπή πρότεινε το πακέτο Ενέργεια και Κλίμα με στόχο "20-20-20 από 2020 ": μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990, 20% το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας και μείωση της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας στο 20% κάτω από το βασικό σενάριο πρόβλεψης για το 2020, οι οποίες εν συνεχεία μεταφράζονται σε νομικά δεσμευτικό πλαίσιο για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [5].
- Δημιουργήθηκε σαν μέρος του Ενεργειακού και Κλιματικού πακέτου, το νομικό πλαίσιο για το CO₂, που αφορά τις τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) [6].

- Το 2008, ένα σχέδιο δράσης για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ προβλήθηκε στη δεύτερη Στρατηγική Επισκόπηση της Ενέργειας. Τονίστηκε η σημασία των υποδομών που απαιτούνται για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας, και η αλληλεγγύη που επιβάλλεται μεταξύ των κρατών μελών, καθώς εισάγονται στην προοπτική μιας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα οικονομία. Ο στόχος αυτός πρέπει να επιτευχθεί μέχρι το 2050, και θα απαιτήσει σημαντικές καινοτομίες στην τεχνολογία των μεθόδων που επεξεργάζονται ενεργειακούς πόρους με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα [7].

2.1.2 Ευρωπαϊκή αγορά φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι το καύσιμο που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διείσδυση στην ενεργειακή αγορά της Ευρώπης με συνεχώς αυξανόμενα μερίδια έναντι των λοιπών καυσίμων. Η αύξηση της σημασίας του φυσικού αερίου στην Ευρώπη έγκειται στην ανατίμηση του αργού πετρελαίου, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες οικολογικές ανησυχίες. Η κατανάλωση φυσικού αερίου στα 27 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αυξήθηκε από 359 mtoe το 1997 σε περίπου 432 mtoe το 2007 ενώ τείνει να υποκαταστήσει το αργό πετρέλαιο για την κάλυψη των ευρωπαϊκών ενεργειακών αναγκών σε όλο και περισσότερες χρήσεις, τόσο στην βιομηχανία και την κίνηση, όσο και στην ηλεκτροπαραγωγή. Επιπλέον, η λιγότερο δυσμενής περιβαλλοντική επίδραση των προϊόντων καύσεως του φυσικού αερίου δημιουργεί πρόσθετο κίνητρο για τις ευρωπαϊκές κυβερνήσεις, στόχος των οποίων αποτελεί η λήψη μέτρων περιορισμού της μόλυνσεως του περιβάλλοντος, στα πλαίσια της εκπλήρωσης των δεσμεύσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο [8].

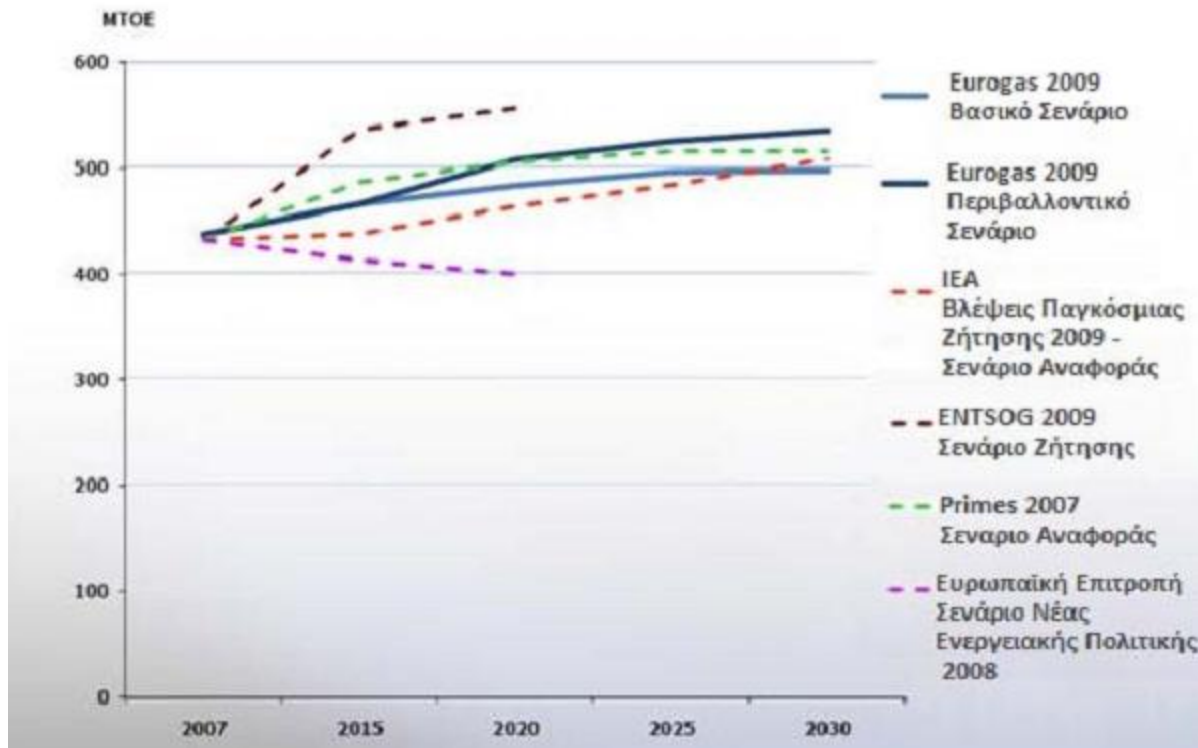
Μετά από έτη, σχεδόν συνεχούς αύξησης, η ευρωπαϊκή βιομηχανία φυσικού αερίου αντιμετώπισε για πρώτη φορά μια πτώση ζήτησης μη σχετιζόμενη με το καιρό. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης των Βιομηχανιών Φυσικού Αερίου (Eurogas) [9], η ζήτηση φυσικού αερίου της Ε.Ε. μειώθηκε κατά 6.4% το 2009 σε σύγκριση με το 2008. Ένας από τους κύριους λόγους για αυτό ήταν η επιβράδυνση στις βιομηχανικές πωλήσεις, οι οποίες αποτελούν περισσότερο από το ένα τρίτο της κατανάλωσης αερίου της Ε.Ε.. Οι παράγοντες κλειδί που μείωσαν τις πωλήσεις αερίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ήταν η χαμηλή ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και οι συγκριτικά υψηλές τιμές αερίου κατά τη διάρκεια των πρώτων μηνών του 2009.



Εικόνα 2.1: Ζήτηση φυσικού αερίου την περίοδο 1995-2009

Σύμφωνα με αναλυτές, θα περάσουν αρκετά έτη προτού να φθάσει η ζήτηση φυσικού αερίου στα υψηλά επίπεδα των προηγούμενων χρόνων, όπως είχε συμβεί το 2005. Επομένως, ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης και των μέτρων που λαμβάνονται στο μεσοδιάστημα για να επιτευχθούν οι στόχοι της Ε.Ε., αναμένεται η μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της ζήτησης φυσικού αερίου να είναι περίπου 15 με 20% χαμηλότερη από αυτή που προβλεπόταν πριν από τρία έτη.

Εν τούτοις, υπάρχουν ακόμα θετικές βλέψεις για την επέκταση της θέσης του φυσικού αερίου στην αγορά ενέργειας της Ε.Ε. μακροπρόθεσμα. Το φυσικό αέριο αποτελεί αυτήν την περίοδο το 24% της κατανάλωσης της ενέργειας της Ευρώπης, και δεδομένων των «πράσινων ιδιοτήτων του», των ιδιαίτερα αποδοτικών τεχνολογικών εφαρμογών του και του γεγονότος ότι οι ορυκτές ενεργειακές πηγές θα αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του ευρωπαϊκού ενεργειακού εφοδιασμού για τα επόμενα 20 χρόνια, το μερίδιο αγοράς του αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται παραμένοντας προτιμώμενο καύσιμο για τον ενεργειακό εφοδιασμό της ΕΕ27. Σύμφωνα με προβλέψεις των οργανισμών που διακρίνονται στην Εικόνα 2.2, το μερίδιο του φυσικού αερίου στην ευρωπαϊκή κύρια ζήτηση ενέργειας θα μπορούσε να ανέλθει από 24% το 2007 σε 27%-29% το 2030 (18% το 1990).



Εικόνα 2.2: Προβλεπόμενη ζήτησης φυσικού αερίου για το διάστημα 2007-2030

Στις μέρες μας οι κύριοι προμηθευτές φυσικού αερίου της Ευρώπης είναι η Ρωσία (22% του συνολικού εφοδιασμού), η Νορβηγία (19%), οι οποίες την τροφοδοτούν μέσω αγωγών, και η Αλγερία (10%) μέσω αγωγών και LNG. Επιπλέον, η Ευρώπη έχει 14 σταθμούς LNG, οι οποίοι καλύπτουν περίπου το 13% των συνολικών αναγκών σε φυσικό αέριο με κύριους προμηθευτές την Αλγερία, τη Λιβύη, το Κατάρ και τη Νιγηρία. Σύμφωνα με τις προβλέψεις της IEA (International Energy Agency), κατά το διάστημα 2015-2020 αναμένεται οι εισαγωγές σε LNG να αυξηθούν σε 120 με 140 bcm, ποσότητα διπλάσια από τα τωρινά επίπεδα, ενώ οι εισαγωγές μέσω αγωγών πρόκειται να κυμανθούν στα επίπεδα των 400 - 420 bcm το χρόνο την ίδια περίοδο. Συνολικά, προβλέπεται οι εισαγωγές να αυξηθούν συγκριτικά με το 2010 από 64% του εφοδιασμού σε 77% το 2020, αντιστοιχώντας περίπου σε 540 bcm σε καθαρούς όρους [28].

Επομένως, οι ενεργειακές εξελίξεις επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή προμήθεια στην Ευρώπη. Αυτό γίνεται φανερό και από την προτεραιότητα που έδωσε η Ε.Ε. στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού με τη δημιουργία της Πράσινης Βίβλου το 2006 [1]. Ένα παράδειγμα διατάραξης της ομαλής λειτουργίας του εφοδιασμού φυσικού αερίου αποτελεί η μείωση των εξαγωγών της Ρωσίας προς την Ουκρανία τον Ιανουάριο του 2009. Η Ρωσία μείωσε τις εξαγωγές της προς την Ουκρανία με τον ισχυρισμό αθέτησης όρων της συμφωνίας τους. Στη συνέχεια, η Ουκρανία με τη σειρά της δεν παρείχε στις αγορές της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης το ποσοστό του 30% του φυσικού αερίου που δεν της προμήθευε η Gazprom, με αποτέλεσμα μια ανησυχητικά μεγάλη πτώση στα αποθέματα φυσικού αερίου πολλών ευρωπαϊκών χωρών. Οι διαφορές, όμως, των δύο χωρών δεν σταμάτησαν. Αιτία αυτής της κατάστασης ήταν οι διαφορές μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας σε θέματα τιμολόγησης και

οφειλών [10]. Ύστερα από μια βδομάδα διακοπής της παροχής ρωσικού φυσικού αερίου η Ρωσία και η Ουκρανία υπέγραψαν συμφωνία, μετά από διαμεσολάβηση της Ε.Ε. για επανέναρξη του ανεφοδιασμού της Ευρώπης υπό την εποπτεία ειδικών απεσταλμένων της Ε.Ε. [11].

Η ενεργειακή εξάρτηση, όσον αφορά το φυσικό αέριο, των χωρών της Ε.Ε. από τις χώρες παραγωγής είναι δεδομένη, και κυρίως από τη Ρωσία. Η Ε.Ε. προμηθεύεται το ένα τέταρτο του φυσικού αερίου της από την Ρωσία και το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτό μέσω αγωγών που διασχίζουν την Ουκρανία. Επομένως τα παραπάνω γεγονότα αποτέλεσαν αφορμή για αναζήτηση νέων διαδρομών ενέργειας, για δημιουργία στρατηγικών αποθεμάτων και για τη χάραξη μιας ενιαίας πολιτικής για τη διασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού στην Ε.Ε.

2.2 Φυσικό αέριο στην Ελλάδα

2.2.1 Ελληνική αγορά φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο έχει ιδιαίτερη σημασία για την ελληνική οικονομία, δεδομένου ότι η αύξηση στη χρήση του αποτελεί βασική συνιστώσα μιας σύγχρονης εθνικής ενεργειακής πολιτικής, στο πλαίσιο των αυξημένων πιέσεων για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και επίτευξη υψηλότερων βαθμών απόδοσης του ενεργειακού συστήματος. Το φυσικό αέριο τα τελευταία χρόνια έχει εισέλθει δυναμικά στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας αντικαθιστώντας μέρος της παραγωγής που καταλάμβανε το πετρέλαιο και ο άνθρακας. Ειδικά η κατανάλωση φυσικού αερίου την περίοδο 1996-2006 αυξάνονταν κατά 46% ετησίως, ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό. Οι παράγοντες που ωθούν την αύξηση της ζήτησης του φυσικού αερίου είναι η επέκταση του δικτύου, η διεύρυνση της χρήσης φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή, η χαμηλότερη τιμή του σε σχέση με τα άλλα ενεργειακά αγαθά και τα κίνητρα που παρέχονται από την πολιτεία μέσω φορολογικής και τιμολογιακής πολιτικής [12].

Η ανάπτυξη υποδομών και η σύναψη μακροχρόνιων συμβάσεων προμήθειας φυσικού αερίου έγιναν πραγματικότητα λόγω της εισόδου του φυσικού αερίου στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος παρείχε τα απαραίτητα φορτία βάσης. Το ποσοστό συμμετοχής του τομέα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη ζήτηση αιχμής είναι της τάξεως του 70% με ελαφρώς φθίνουσα τάση τα τελευταία χρόνια [13]. Το 17% αξιοποιείται στον βιομηχανικό τομέα ενώ όσον αφορά τον οικιακό-εμπορικό τομέα παρατηρείται σημαντική αύξηση στη συμμετοχή του, κατέχοντας το 13% στην συνολική ζήτηση φυσικού αερίου, λόγω της συνεχούς ανάπτυξης δικτύων διανομής φυσικού αερίου. Ακόμα, η συνεχής πληροφόρηση των καταναλωτών για το φυσικό αέριο σε συνδυασμό με την επέκταση του δικτύου αποτελεί ένα επιπλέον παράγοντα που συμβάλλει στην αύξηση της ζήτησης [12].

Η αυξανόμενη ζήτηση του φυσικού αερίου καθιστά επιτακτική την ανάγκη για ενίσχυση της συμμετοχής του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας και για την διεύρυνσή του σε όλους τους τομείς της κατανάλωσης. Στον πίνακα 2.1 αναπαρίστανται τρία διαφορετικά σενάρια για την αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου στην κατανάλωση για την επόμενη δεκαετία. Αρχικά παρουσιάζονται οι προβλέψεις της ΔΕΠΑ ΑΕ. Το δεύτερο σενάριο βασίζεται

στις εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ισοζυγίου πρωτογενούς ενέργειας στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο παρουσιάζεται στην 1η Έκθεση για το «Μακροχρόνιο Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ελλάδας για την περίοδο 2008-2020» (Εκτίμηση Α'). Το τρίτο σενάριο στηρίζεται στην έκθεση του Συμβουλίου Εθνικής Ενεργειακής Στρατηγικής με αντικείμενο τα «Μέτρα και μέσα για μια βιώσιμη και ανταγωνιστική ενεργειακή πολιτική» (Εκτίμηση Β') [13].

Πίνακας 2.1: Μακροπρόθεσμη εκτίμηση ζήτησης φυσικού αερίου

Σενάρια	2015(bcm)	2020(bcm)
ΔΕΠΑ ΑΕ	8.1	8.8
Εκτίμηση Α	5.9	6.2
Εκτίμηση Β	5.7	6.6

Παρατηρώντας τα τρία διαφορετικά σενάρια ζήτησης του πίνακα 2.1 συμπεραίνεται ότι η πρόβλεψη της ζήτησης φυσικού αερίου ταλανίζεται από αβεβαιότητα καθώς τα τρία σενάρια διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει τον προγραμματισμό για κάλυψη των αναγκών της αγοράς και ιδιαίτερα όσον αφορά στη σύναψη μακροχρόνιων συμβάσεων προμήθειας με τους προμηθευτές της.

Επίσης η Ελλάδα δεν είναι ούτε χώρα παραγωγής φυσικού αερίου ούτε βρίσκεται στην καρδιά των αγωγών φυσικού αερίου. Επόμενο είναι ότι κάθε διακοπή λειτουργίας του εφοδιασμού δημιουργεί προβλήματα στην ενεργειακή σταθερότητα της χώρας όπως για παράδειγμα το 2009, όταν η Ρωσία είχε τριβές με την Ουκρανία με αποτέλεσμα την προβληματική τροφοδοσία της Ευρώπης, και κατ'επέκταση της Ελλάδας, σε φυσικό αέριο. Η κρίση όμως αυτή δεν άγγιξε την Ελλάδα λόγω των αποθεμάτων που είχε διαθέσιμα και λόγω της τροφοδοσίας LNG από την Αλγερία. Όμως αν η κρίση διαρκούσε περισσότερο και η Ελλάδα θα αντιμετώπιζε τα προβλήματα που είχαν άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Μπροστά σε αυτές τις προκλήσεις, η ελληνική πολιτική για την ενεργειακή ασφάλεια συνδυάζει τις δύο ευρωπαϊκές τάσεις και διακρίνονται δύο κατευθύνσεις. Από τη μία πλευρά, διατηρεί και επιδιώκει να αναβαθμίσει τη σύνδεση με τον κύριο προμηθευτή στον τομέα του φυσικού αερίου, γεγονός που θα αποφέρει έγκαιρα μεγάλες ποσότητες σε λογικές τιμές για τη χώρα δημιουργώντας ευρεία διαπραγματευτικά περιθώρια και σε άλλους τομείς-ζητήματα. Παράλληλα, όμως, στοχεύει στη διαφοροποίηση των πηγών προμήθειας, με στόχο την αποφυγή υπερβολικής εξάρτησης από τη ρωσική ενέργεια. Επομένως, σε περίπτωση αδυναμίας του εξαγωγέα να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις του, και της επακόλουθης μείωσης των εισαγωγών στην Ελλάδα, οι ενεργειακές ανάγκες να μπορούν να καλυφθούν από εισαγωγές από άλλον εμπορικό εταίρο [14]

2.2.2 Ελληνικό δίκτυο φυσικού αερίου

Η υπογραφή της πρώτης διακρατικής συμφωνίας μεταξύ Ελλάδας και Σοβιετικής Ένωσης το 1987 οδήγησε στην κατασκευή του πρώτου αγωγού φυσικού αερίου, ο οποίος ξεκινούσε από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα και διέσχιζε την Ελλάδα μέχρι την Αθήνα. Η εισαγωγή του Ρώσικου φυσικού αερίου ξεκίνησε το 1996 και αποτέλεσε το 80% των ελληνικών εισαγωγών φυσικού αερίου [15]. Σύμφωνα με την εικοσαετή σύμβαση μεταξύ της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου (ΔΕΠ), μητρική της Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου (ΔΕΠΑ), και της Gazprom-Export, θυγατρική της ρωσικής εταιρίας Gazprom, εξασφαλιζόταν η προμήθεια 2,8 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm) φυσικού αερίου, ετησίως [16].

Παράλληλα με την ελληνορωσική συμφωνία, που αφορούσε την κατασκευή χερσαίων υποδομών φυσικού αερίου, υπήρξε συμφωνία μεταξύ της αλγερινής δημόσιας εταιρίας φυσικού αερίου και της ΔΕΠ για την προμήθεια 0,6-0,8 bcm υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG). Αυτή η συμφωνία προαπαιτούσε τη δημιουργία εγκαταστάσεων που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την εισαγωγή, επεξεργασία και διανομή του LNG. Οι εγκαταστάσεις αυτές υλοποιήθηκαν στην Ρεβυθούσα της Σαρωνίδας και ξεκίνησαν να λειτουργούν σε πλήρη βαθμό τον Φεβρουάριο του 2000 [15].

Ηγετικό ρόλο στην αναδυόμενη αγορά φυσικού αερίου ανέλαβε η υπό κρατικό έλεγχο Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) η οποία ιδρύθηκε τον Σεπτέμβριο του 1988. Οι δραστηριότητές της περιλαμβάνουν την εισαγωγή, διανομή και αποθήκευση φυσικού αερίου. Για την ανάπτυξη του δικτύου διανομής του φυσικού αερίου συστήθηκαν από την ΔΕΠΑ το 1995 τρεις θυγατρικές Εταιρείες Διανομής Φυσικού Αερίου (ΕΔΑ) σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, οι οποίες ανέλαβαν την κατασκευή του δικτύου διανομής και προχώρησαν στην συνέχεια στη σύσταση Εταιρειών Παροχής Φυσικού Αερίου (ΕΠΑ) σε συνεργασία με αλλοδαπές εταιρείες του κλάδου με αντικείμενο την εμπορία του φυσικού αερίου σε οικιακούς και βιομηχανικούς χρήστες [15].

Όμως, ακόμα και με την δημιουργία των υποδομών LNG η ελληνική αγορά ενέργειας συνέχισε να εξαρτάται αποκλειστικά από το ρωσικό φυσικό αέριο. Επομένως, αυξημένης ενεργειακής προτεραιότητας αποτελούσε η σύνδεση της Ελλάδας με άλλες χώρες- παραγωγούς, κυρίως της Κεντρικής Ασίας και Μέσης Ανατολής. Για να καταστεί δυνατή αυτή η σύνδεση προϋπόθετε την διαμεσολάβηση της Τουρκίας και την σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου της. Η δυνατότητα συνεργασίας των δύο κρατών στον τομέα της ενέργειας δόθηκε με τη δραματική εξομάλυνση των ελληνοτουρκικών σχέσεων από το 1999.

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή του ελληνοτουρκικού αγωγού φυσικού αερίου (ITG- Interconnector Turkey - Greece) έγινε με την υπογραφή Μνημονίου Συνεργασίας (Memorandum of Understanding-MOU) και Κοινής Διακήρυξης (Common Declaration) στις 28 Μαρτίου 2002 μεταξύ της ΔΕΠΑ και της τουρκικής εταιρείας BOTAŞ. Ως στόχος της συνεργασίας ορίστηκε η περαιτέρω προώθηση της διασύνδεσης διαφόρων χωρών εξαγωγέων φυσικού αερίου (περιοχή της Κασπίας, Μέση Ανατολή) με τις καταναλώτριες χώρες της Ευρώπης [16]. Συμφωνήθηκε η κατασκευή ενός αγωγού συνολικού μήκους 295 χιλιομέτρων από την πόλη Karacabey της Βιθυνίας στην βορειοδυτική Τουρκία μέχρι την Κομοτηνή. Τον Δεκέμβριο του 2003 υπογράφηκε σύμβαση που προέβλεπε αγορά 0,75 δις κυβικών μέτρων φυσικού αερίου το

χρόνο, για 15 χρόνια. Η κατασκευή του ελληνοτουρκικού αγωγού ολοκληρώθηκε το 2007, ενώ το ίδιο έτος ξεκίνησε και η μεταφορά του φυσικού αερίου [17]. Στο μέλλον η μέγιστη ικανότητα του προγράμματος προβλέπεται να είναι περίπου 11 bcm το χρόνο, με την προσθήκη τριών νέων σταθμών συμπίεσης (δύο στην τουρκική πλευρά και ενός στην ελληνική πλευρά) [18].

Για την εξασφάλιση όμως της ενεργειακής ασφάλειας στον ελλαδικό ενεργειακό τομέα αναγκαία ήταν η αναβάθμιση εκ νέου του δικτύου, η εισαγωγή νέων χωρών-παραγωγέων στο ελληνικό ενεργειακό μείγμα και η ενδυνάμωση των υπαρχόντων δεσμών με τις προμηθεύτριες χώρες. Υπό το πλαίσιο αυτό, Ελλάδα και Ρωσία επέκτειναν την συνεργασία τους μέχρι το 2040 καθώς η υπάρχουσα συμφωνία έληγε το 2016 [14]. Για την υποστήριξη της συμφωνίας αυτής έχει προγραμματιστεί η κατασκευή ενός νέου αγωγού ονόματι South Stream. Ο αγωγός South Stream αποτελεί έργο πρόκληση λόγω του μεγάλου υποθαλάσσιου τμήματός του (900 χλμ) και του βάθους του, και αποτελεί μια πολύ δαπανηρή επένδυση. Όμως, στο εγχείρημά της η Ρωσία απολαμβάνει την πολιτική στήριξη ενός αριθμού κρατών της Βαλκανικής χερσονήσου και της Κεντρικής Ασίας. Ο υποθαλάσσιος αγωγός θα ενώνει την περιοχή Beregovane στη ρωσική ακτή με τη περιοχή Μπούργκας της Βουλγαρίας μέσω της Μαύρης Θάλασσας. Από τη περιοχή Μπούργκας, ο αγωγός θα διακλαδώνεται σε δύο άξονες: Ο Βόρειος άξονας θα έχει κατεύθυνση προς την Κεντρική Ευρώπη και θα καταλήγει στην Αυστρία, ενώ ο Νότιος άξονας θα έχει κατεύθυνση την Ελλάδα και στη συνέχεια μέσω της Αδριατικής θα καταλήγει στην Ιταλία. Η υλοποίηση αυτού του σχεδίου θα είχε ως συνέπεια τη μείωση της σημασίας της Ουκρανίας και της Λευκορωσίας και την αύξηση της σημασίας της Βουλγαρίας και της Ελλάδος ως κρατών-κόμβων στην εξαγωγή ρωσικού αερίου.

Επιπλέον, έχει ήδη δρομολογηθεί η διασύνδεση των συστημάτων φυσικού αερίου της Ιταλίας και της Ελλάδας (IGI - Interconnector Greece-Italy) μετά την υπογραφή διακρατικής συμφωνίας μεταξύ των δύο χωρών τον Νοέμβριο του 2005. Ο αγωγός αυτός θα είναι συνέχεια του ITG και θα συνδέει την Ελλάδα με την Ιταλία, μέσω ενός χερσαίου αγωγού που θα ξεκινά από την Κομοτηνή και θα καταλήγει στη Θεσπρωτία διανύοντας απόσταση περίπου 600χλμ. ενώ στη συνέχεια θα καταλήγει στο Οτράντο της Ιταλίας μέσω ενός υποθαλάσσιου αγωγού, του αγωγού «Ποσειδών», μήκους περίπου 200χλμ. Στην πρώτη φάση του έργου, τέσσερις σταθμοί συμπίεσης θα εγκατασταθούν κατά μήκος της διαδρομής του αγωγού, προκειμένου να είναι σε θέση να μεταφέρουν μέχρι 8.8 bcm το χρόνο στην Ιταλία [18]. Η Ιταλία, με την σύμφωνη γνώμη των ιταλικών και ελληνικών αρχών, υιοθέτησε Διάταγμα που παραχωρεί στις Εταιρείες ΔΕΠΑ και Edison το δικαίωμα χρήσης 8 bcm ετησίως, για χρονικό διάστημα 25 ετών, για την οικονομική ασφάλεια του μεγάλου αυτού έργου και το υπόλοιπο θα παρέχεται σε τρίτες χώρες. Το χερσαίο τμήμα του IGI θα έχει, επίσης, την τεχνική δυνατότητα να αυξήσει την ικανότητά του μέχρι 15 bcm το χρόνο, με την αναβάθμιση των αρχικών σταθμών συμπίεσης και με την κατασκευή δύο ακόμα νέων [18].

Τέλος, το Μάρτιο του 2010, η εταιρία IGI Poseidon AE (στην οποία συμμετέχουν ισομερώς η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου-ΔΕΠΑ και η Ιταλική Edison) και η BEH (Bulgarian Energy Holding) υπέγραψαν τη συμφωνία διασύνδεσης φυσικού αερίου μεταξύ Ελλάδος-Βουλγαρίας (Greece-Bulgaria Pipeline-IGB). Ο Ελληνο-Βουλγαρικός αγωγός αποτελεί διακλάδωση του αγωγού Φυσικού Αερίου Τουρκίας-Ελλάδας-Ιταλίας (ITGI) έχοντας ως αφετηρία την έξοδο του Ελληνοτουρκικού αγωγού (ITG) στην Κομοτηνή και θα φτάνει στη Βουλγαρία, στην περιοχή

Stara Zagora, με συνολικό μήκος περίπου 168 χλμ και με αρχική αναμενόμενη μεταφορική ικανότητα 3-5 bcm. Ο αγωγός θα μεταφέρει στη Βουλγαρία φυσικό αέριο από την Κασπία (αρχικά από το Αζερμπαϊτζάν και εν συνεχεία και από άλλα κράτη της περιοχής), από τη Μέση Ανατολή αλλά και υδροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) από τη Ρεβυθούσα [19].



Εικόνα 2.3: Ελληνικό δίκτυο φυσικού αερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 ΚΙΝΔΥΝΟΣ

3.1.1 Ορισμός

Κίνδυνος ή ρίσκο ονομάζεται η δυνατότητα μια συγκεκριμένη δράση ή δραστηριότητα, συμπεριλαμβανόμενης της επιλογής της αποχής από την δράση, να οδηγήσει σε απώλεια ή ανεπιθύμητο αποτέλεσμα. Οι πιθανές απώλειες καλούνται επίσης 'ρίσκα'. Σχεδόν κάθε πτυχή της ανθρώπινης καθημερινότητας εμπεριέχει κινδύνους, άλλοι με μικρότερο και άλλοι με μεγαλύτερο ρίσκο [20].

Οι πολλές ασυνεπείς και διφορούμενες έννοιες που συνδέονται με την έννοια 'κίνδυνο' οδηγούν σε σύγχυση και επίσης σημαίνει ότι σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία έχουν γίνει εξίσου διαφορετικές προσεγγίσεις στην ανάλυση του ρίσκου [21]. Για παράδειγμα:

- Το ISO 31000 (2009) / ISO Guide 73 ορίζει σαν κίνδυνο 'την δράση της αβεβαιότητας πάνω σε στόχους'. Με αυτόν τον ορισμό, οι αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνουν ενδεχόμενα, και οι αβεβαιότητες προκαλούνται από την έλλειψη της πληροφορίας ή την ασάφεια. Ο ορισμός επίσης συμπεριλαμβάνει και τις θετικές όσο και τις αρνητικές επιδράσεις στους στόχους [23].
- Ένας άλλος ορισμός αναφέρει ότι το ρίσκο αποτελείται από τα μελλοντικά προβλήματα τα οποία μπορούν να αποφευχθούν ή να μετριαστούν, και όχι από επείγουσα που πρέπει να αντιμετωπιστούν άμεσα [21].
- Ακόμα ο κίνδυνος μπορεί να συσχετιστεί με πιθανότητα της αβεβαιότητας των μελλοντικών γεγονότων. Σύμφωνα με την παραμετρική ανάλυση στο ρίσκο της πληροφορίας (Factor Analysis of Information Risk), ο κίνδυνος είναι: η πιθανοτική συχνότητα και το πιθανοτικό μέγεθος μιας μελλοντικής απώλειας [22]
- Όσον αφορά το ρίσκο στην ασφάλεια των πληροφοριών εκφράζεται ως 'η δυνατότητα μιας συγκεκριμένης απειλής να εκμεταλλευτεί τα μειονεκτήματα ενός στοιχείου ή πολλών στοιχείων του ενεργητικού και να προξενήσει ζημία στον οργανισμό [23].
- Το οικονομικό ρίσκο συχνά ορίζεται ως η απροσδόκητη μεταβλητότητα των αποδόσεων, και επομένως συμπεριλαμβάνει σενάρια αποδόσεων καλύτερα-από – αναμενόμενα και χειρότερα –από - αναμενόμενα.

Όπως ο κίνδυνος μπορεί να ερμηνευτεί με τόσους διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα υπάρχουν και διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού του. Μερικοί ποσοτικοί ορισμοί του ρίσκου που βασίζονται στην στατιστική έχουν αποδεδειγμένα σθεναρές διατυπώσεις για τον υπολογισμό του κινδύνου οι οποίες οδηγούν όπως είναι αναμενόμενο σε στατιστικές εκτιμήσεις ως αποτελέσματα, μερικά από τα οποία είναι πιο υποκειμενικά. Για παράδειγμα, σε πολλές περιπτώσεις σημαντικός παράγοντας είναι η ανθρώπινη πλευρά της διαδικασίας των αποφάσεων. Ακόμα και αν οι στατιστικές εκτιμήσεις είναι διαθέσιμες, ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να μην δέχεται την λύση καθώς αντιβαίνει με το σύνολο των αξιών του ή της κοινής λογικής.

Γενικά σύμφωνα με τη στατιστική θεώρηση του κινδύνου, μοντελοποιείται μαθηματικά με την έκφραση:

$$Risk = (\text{πιθανότητα να συμβεί ένα ενδεχόμενο}) \\ * (\text{αναμενόμενη απώλεια στη περίπτωση του ενδεχομένου})$$

[20]

3.1.2 Κίνδυνος στον ενεργειακό εφοδιασμό

Η ενεργειακή ασφάλεια είναι ένας όρος που συνδέει την εθνική ασφάλεια και τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων στην κατανάλωση ενέργειας. Η πρόσβαση σε φθηνή ενέργεια έχει καταστεί απαραίτητη για τη λειτουργία των σύγχρονων οικονομιών. Ωστόσο, η άνιση κατανομή των φυσικών πόρων ενέργειας μεταξύ των χωρών έχει οδηγήσει σε σημαντικές αδυναμίες. Απειλές για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού περιλαμβάνουν την πολιτική αστάθεια πολλών χωρών που παράγουν ενέργεια, την χειραγώγηση του ενεργειακού εφοδιασμού, τον ανταγωνισμό για τις πηγές ενέργειας, τις επιθέσεις σε εγκαταστάσεις εφοδιασμού, καθώς και τα ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, την χρηματοδότηση ξένων δικτατόρων, την αύξηση της τρομοκρατίας, και το γεγονός ότι οι κυρίαρχες χώρες εμπιστεύονται τις ξένες πηγές εφοδιασμού πετρελαίου [24]. Οι περιορισμένες προμήθειες, η άνιση κατανομή, και το αυξανόμενο κόστος των ορυκτών καυσίμων, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, δημιουργούν την ανάγκη να αλλάξει το ενεργειακό σκηνικό σε πιο βιώσιμες πηγές ενέργειας στο εγγύς μέλλον.

Η έννοια της ενεργειακής ασφάλειας δεν έχει ορισθεί με σαφήνεια ακόμα, όμως οι πιο πρόσφατες απόπειρες ορισμών συμφωνούν σε τρία πράγματα:

- Την ανάγκη ύπαρξης ενεργειακού εφοδιασμού σε ποσότητα επαρκή για την συνέχιση της ανεμπόδιστης οικονομικής δραστηριότητας.
- Τη συνεχή και αδιάκοπη παροχή ποσότητας ενέργειας.
- Την ύπαρξη προσιτής τιμής.

Το τρίτο χαρακτηριστικό του παραπάνω ορισμού αναφέρεται στον όρο «προσιτός». Αν και είναι προφανές τι σημαίνει, μερικές φορές είναι δύσκολο να ερμηνευτεί σε διαφορετικές γλώσσες. Με την χρήση του όρου «προσιτή» εννοείται ότι η τιμή της ενέργειας είναι τέτοια ώστε να μην εμποδίζει την πρόσβαση αυτού του βασικού παράγοντα της παραγωγής στις χώρες και βιομηχανίες που το απαιτούν. Γίνεται φανερό ότι αυτό αποτελεί το μεγαλύτερο πρόβλημα του ορισμού, καθώς είναι δύσκολο να οριστούν οι παράγοντες που αποτελούν μια προσιτή τιμή. Στο πετρέλαιο, για παράδειγμα, υπάρχει μία διεθνής αγορά που θέτει ενδεικτικές τιμές σύμφωνα με τις διαφορετικές ποιότητες του ακατέργαστου προϊόντος και τα κόστη μεταφοράς, όταν οι καταναλώτριες χώρες διαφέρουν πολύ ως προς την αγοραστική τους ισχύ. Από μια άλλη οπτική γωνία, η προϋπόθεση μια τιμή είναι προσιτή σημαίνει ότι η τιμή της ενέργειας δεν οδηγείται στα ύψη από ατέλειες του συστήματος των αγορών άσχετες των μεταβολών της προσφοράς και της ζήτησης σε παγκόσμιο ή εγχώριο επίπεδο.

Βλέποντας τον κίνδυνο από την σκοπιά της ενεργειακής ασφάλειας και ενσωματώνοντας τους ορισμούς που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο ενεργειακός κίνδυνος υπάρχει όσο υπάρχει η δυνατότητα διακοπής, μερικώς ή ολικώς, της φυσικής ροής της

ενέργειας ή όσο υπάρχει η δυνατότητα απότομων μεταβολών στις ενεργειακές τιμές. Όμως, από τη στιγμή που τα ενεργειακά αγαθά αποτελούν στοιχεία των αγορών, μπορεί να ειπωθεί, υπό τη βάση ότι υπόκεινται στις βασικές αρχές των οικονομικών και της λειτουργίας των αγορών, ότι αν το συνολικό, διαθέσιμο στις αγορές, ενεργειακό εμπόρευμα μειωθεί τότε η τιμή των ενεργειακών αγαθών αυτόματα θα αυξηθεί. Επομένως οι αλλαγές στην τιμολόγηση των ενεργειακών προϊόντων μπορούν να θεωρηθούν ως αποτέλεσμα του ρίσκου της φυσικής διακοπής της παροχής. Επομένως, δεδομένου ότι η τιμή αποκρίνεται «αυτόματα» σε μια διακοπή της ενέργειας που συμβαίνει στις χώρες – εισαγωγείς και θεωρώντας ότι η τιμή ενέργειας είναι ενδογενής μεταβλητή, θα παραληφθεί από την ανάλυση που πρόκειται να γίνει σε αυτή την εργασία, αναγνωρίζοντας τις σημαντικές επιπτώσεις της στην οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία [25].

3.2 Κατηγορίες κινδύνου ενεργειακού εφοδιασμού

Η αναγνώριση κινδύνου θα έπρεπε να προσεγγισθεί με ένα μεθοδικό τρόπο για να διασφαλίσει ότι όλες οι σημαντικές δραστηριότητες έχουν αναγνωρισθεί και ότι όλοι οι κίνδυνοι που απορρέουν από αυτές τις δραστηριότητες έχουν προσδιορισθεί. Κάθε συγγενής αστάθεια που σχετίζεται με αυτές τις δραστηριότητες θα πρέπει να αναγνωρισθεί και να κατηγοριοποιηθεί. Μια επισκόπηση στην υπάρχουσα λογοτεχνία, επέδειξε ότι μόνο μερικά έγγραφα αντιμετωπίζουν το ζήτημα του κινδύνου του ενεργειακού εφοδιασμού περιεκτικά. Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει πέντε από τις κύριες κατηγορίες ενεργειακού κινδύνου που προσδιορίζονται στην ακαδημαϊκή λογοτεχνία.

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες κινδύνων ενεργειακού εφοδιασμού

1η Κατηγορία: [37]
<input type="checkbox"/> Φυσικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Οικονομικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Κοινωνικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι
2η Κατηγορία [38]
<input type="checkbox"/> Γεωλογικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Τεχνικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Οικονομικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Γεωπολιτικοί Κίνδυνοι <input type="checkbox"/> Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι
3η Κατηγορία [39]
<input type="checkbox"/> Αλλαγές στις πολιτικές των χωρών παραγωγής ενέργειας <input type="checkbox"/> Ανεπαρκής επένδυση στον ενεργειακό τομέα <input type="checkbox"/> Μακροοικονομική αστάθεια στις χώρες και περιοχές παραγωγής <input type="checkbox"/> Κοινωνικό – πολιτική αστάθεια στις χώρες και περιοχές παραγωγής <input type="checkbox"/> Ρυθμιστική αστάθεια στις χώρες κατανάλωσης ενέργειας <input type="checkbox"/> Αποτυχίες αγοράς <input type="checkbox"/> Αποτυχίες στον δημόσιο τομέα
4η Κατηγορία [40]
<input type="checkbox"/> Ατυχήματα <input type="checkbox"/> Συγκρούσεις <input type="checkbox"/> Πολιτική Αστάθεια <input type="checkbox"/> Τρομοκρατικές Επιθέσεις <input type="checkbox"/> Περιορισμοί στις εξαγωγές <input type="checkbox"/> Καιρικές Συνθήκες <input type="checkbox"/> Μονοπωλιακές Πρακτικές
5η Κατηγορία [44]
<input type="checkbox"/> Κοινωνικό- οικονομικοί Κίνδυνοι
Κοινωνικοί Κίνδυνοι Πολιτικοί Κίνδυνοι Οικονομικοί Κίνδυνοι Ενεργειακοί Κίνδυνοι
<input type="checkbox"/> Τεχνικοί Κίνδυνοι
Φυσικές καταστροφές Ατυχήματα Καταστροφή της ενεργειακής υποδομής

Η 1η κατηγοριοποίηση όσον αφορά τον ενεργειακό κίνδυνο καθορίστηκε αρχικά στην πρώτη ευρωπαϊκή Πράσινη Βίβλο (Green Paper) για την ενέργεια, που εκδόθηκε το 2000 υπό τον τίτλο «Προς μια ευρωπαϊκή στρατηγική για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού». Η Πράσινη Βίβλος κατηγοριοποιεί τους ενεργειακούς κινδύνους ως: φυσικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς. Φυσικοί κίνδυνοι θεωρούνται η εξάντληση των φυσικών πόρων, η διακοπή του εφοδιασμού λόγω ατυχημάτων και οι προσωρινές διακοπές του εφοδιασμού λόγω απεργιών, γεωπολιτικών κρίσεων και φυσικών καταστροφών. Οι κατηγορίες του οικονομικού κινδύνου και του κοινωνικού κινδύνου εστιάζονται αποκλειστικά στη μεταβολή των τιμών των αγαθών ενέργειας και κυρίως στις επιπτώσεις των αυξήσεων των τιμών στην κοινωνία και την παραγωγή. Τέλος, ως περιβαλλοντικό κίνδυνο, η Πράσινη Βίβλος αναφέρει την περιβαλλοντική επιβάρυνση ως αποτέλεσμα της ενεργειακής παραγωγής ή κατανάλωσης, είτε μέσω των ατυχημάτων είτε λόγω των εκπεμπόμενων ρύπων, κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) [37].

Η 2η κατηγοριοποίηση καθορίστηκε από τους Checchi, Behrens και Egenhofer [38] και είναι παρόμοια με την ταξινόμηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Οι κύριες διαφορές έγγυνται στη δημιουργία δύο νέων κατηγοριών κινδύνου, του γεωλογικού και του γεωπολιτικού. Η πρώτη διαχωρίζει την εξάντληση των φυσικών πόρων από τους φυσικούς κινδύνους και τους θεωρεί αυτόνομη κατηγορία κινδύνου. Ο γεωπολιτικός κίνδυνος αφορά τη διακοπή του εφοδιασμού λόγω πολέμου στις χώρες παραγωγής ενέργειας. Επίσης στα πλαίσια του οικονομικού κινδύνου συμπεριλαμβάνεται η αστάθεια των τιμών και ο ρυθμιστικός κίνδυνος.

Οι επόμενες δύο κατηγοριοποιήσεις είναι πιο συγκεκριμένες όσον αφορά τον τομέα της ενέργειας συγκριτικά με τις δύο προαναφερθείσες και εμβαθύνουν σε περισσότερες λεπτομέρειες. Η 3η κατηγοριοποίηση στηρίζεται στην έκθεση του CIEP [39] και προσεγγίζει τον ενεργειακό κίνδυνο από μια πιο οικονομική θεώρηση. Πέντε από τις επτά κατηγορίες της είναι καθαρά οικονομικού χαρακτήρα και αφορούν τις επενδύσεις, τη μακροοικονομική σταθερότητα ή την έλλειψη αυτής, το ρυθμιστικό πλαίσιο, και τη δυσλειτουργία της αγοράς ή του δημόσιου τομέα. Οι άλλες δύο κατηγορίες αφορούν πολιτικά ζητήματα, όπως πιθανές ρήξεις στις πολιτικές σχέσεις παραγωγού - καταναλωτή και αλλαγές στην κοινωνικοπολιτική σταθερότητα των χωρών παραγωγής. Εκτός από αυτές τις κατηγορίες, το CIEP εισάγει έναν νέο τύπο γεωπολιτικού κινδύνου, ο οποίος έρχεται σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα κατηγορίες καθώς περιέχει τόσο οικονομικούς όσο και πολιτικούς κινδύνους.

Στην 4η κατηγοριοποίηση δίδεται χαρακτήρας περισσότερο πολιτικός παρά οικονομικός, ίσως λόγω της αυξανόμενης πολιτικής αστάθειας που επικρατεί στη Μέση Ανατολή. Το γεγονός αυτό πιθανόν να αποτέλεσε την προϋπόθεση ύπαρξης μιας κατηγορίας κινδύνου σχετική με τις συγκρούσεις, συμπεριλαμβανομένων των πολέμων και της κοινωνικής αναταραχής, και μιας περαιτέρω κατηγορίας για την τρομοκρατία, εκτός της γενικότερης κατηγορίας της κοινωνικοπολιτικής αστάθειας [40].

Όσον αφορά τις υπόλοιπες κατηγορίες κινδύνου που αφορούν τους πιθανούς περιορισμούς εξαγωγής και τις μονοπωλιακές πρακτικές, θα μπορούσαν γενικότερα να ταξινομηθούν ως χρήση της ενέργειας ως πολιτικό όπλο, αν και οι μονοπωλιακές πρακτικές περιορίζονται στην εξυπηρέτηση οικονομικών σκοπών.

Η 3^η και η 4^η κατηγοριοποίηση δεν διαχωρίζουν τους κινδύνους που αποτελούν αιτία για τη διακοπή του εφοδιασμού (πρωτεύοντες ενεργειακοί κίνδυνοι) από τους κινδύνους που παράγονται από την διακοπή του εφοδιασμού (δευτερεύοντες ενεργειακοί κίνδυνοι) σε αντίθεση με την κατηγοριοποίηση της Πράσινης Βίβλου. Για παράδειγμα οι φυσικοί κίνδυνοι αποτελούν πρωτεύοντες κινδύνους ενώ οι οικονομικοί, κοινωνικοί και πολιτικοί κίνδυνοι αποτελούν δευτερεύοντες ενεργειακούς κινδύνους καθώς προκαλούνται από μια διαταραχή στη ροή του εφοδιασμού.

Η 5^η κατηγοριοποίηση δίνει ιδιαίτερη σημασία στην διάκριση μεταξύ των παραγόντων οι οποίοι είναι ικανοί να διακόψουν τον ενεργειακό εφοδιασμό και των αποτελεσμάτων τους. Οι πρωτεύοντες ενεργειακοί κίνδυνοι κατηγοριοποιούνται σε κοινωνικοοικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες. Οι δευτερεύοντες ενεργειακοί κίνδυνοι που προκαλούνται από τις διαταραχές του εφοδιασμού συγκεντρώνουν δείκτες που αφορούν την ανθρώπινη υγεία και ιδιοκτησία και τον περιβαλλοντικό κίνδυνο. Αυτοί οι τρεις κίνδυνοι στη συνέχεια θεωρούνται ότι μπορούν να συμβάλλουν σε έναν γενικότερο ενεργειακό κίνδυνο για την οικονομία και την κοινωνία [44].

Στην κατηγοριοποίηση αυτή ορίζονται οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες ως οι μεταβλητές που προκύπτουν από την οργάνωση της ανθρώπινης δραστηριότητας στις κύριες μορφές της: οικονομική, κοινωνική και πολιτική. Στους παράγοντες αυτούς έρχονται να προστεθούν παράγοντες κινδύνου που προκύπτουν κατ' ευθείαν από τον τομέα της ενέργειας. Αναλυτικά:

- Οικονομικοί παράγοντες ενεργειακού ρίσκου:
Περιλαμβάνει όλες τις οικονομικές μεταβλητές που σχετίζονται με άμεσο τρόπο με την ενέργεια όπως είναι η οικονομική και πληθυσμιακή αύξηση, οι εισοδηματικές πηγές από τον ενεργειακό τομέα της χώρας ή το μέγεθος του «ενεργειακού λογαριασμού», οι εμπορικές σχέσεις και ο ανταγωνισμός μεταξύ των καταναλωτριών χωρών για τους ενεργειακούς πόρους.
- Εγγενής κίνδυνος ενεργειακού τομέα:
Η κατηγορία κινδύνου αυτή συμπεριλαμβάνει ενεργειακούς παράγοντες που αφορούν το ενεργειακό απόθεμα τόσο σε απόλυτους αριθμούς όσο και σε σχετικούς όρους (αναλογία αποθέματος προς παραγωγή) και την αξιοπιστία των στοιχείων που αφορούν τα αποθέματα. Το σύνολο αυτό των ενεργειακών μεταβλητών θα μπορούσε να θεωρηθεί μέρος του τεχνικού κινδύνου σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγοριοποιήσεις. Όμως οι ενεργειακές αυτές μεταβλητές διέπονται από μια σαφώς οικονομική διάσταση σύμφωνα με τα πρότυπα «αποδεδειγμένων πόρων» της Επιτροπής Κεφαλαιαγοράς (Securities and Exchange Commission (SEC)), εκθέτονται από τις ενεργειακές επιχειρήσεις μόνο εκείνοι οι πόροι που μπορούν να εξορυχθούν σε τρέχουσες τιμές και με την χρησιμοποίηση της υπάρχουσας τεχνολογίας, δηλαδή υπό τις επικρατούσες οικονομικές καταστάσεις.
- Πολιτικός κίνδυνος:
Ο πολιτικός κίνδυνος εμφανίζεται σε περιπτώσεις που οι πολιτικές αποφάσεις οποιουδήποτε οικονομικού ή κοινωνικού φορέα μπορούν να έχουν επιπτώσεις στη λειτουργία του ενεργειακού συστήματος. Ο σημαντικότερος τέτοιος κίνδυνος είναι η πολιτική βία, υπό μορφή εξωτερικών συγκρούσεων ή εγχώριων διαμαχών, τρομοκρατίας ή παραβίασης ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Άλλες πολιτικές μεταβλητές που έχουν επιπτώσεις στον ενεργειακό κίνδυνο είναι εκείνες σχετικά με το πολιτικό καθεστώς, τη θεσμική ποιότητα ή την επικράτηση του

κράτους δικαίου. Πιο άμεσα συνδέονται οι πολιτικές μεταβλητές με τον ενεργειακό κίνδυνο που αφορούν την ενεργειακή κινητικότητα των πολιτικών αποφάσεων όπως η συμμετοχή στον OPEC, η χρήση της ενέργειας ως πολιτικό όπλο και τη συμμετοχή σε ενεργειακές πρωτοβουλίες.

- Κοινωνικός κίνδυνος:

Η κατηγορία αυτή αποτελείται από παράγοντες κινδύνου που αφορούν την κοινωνική ευημερία, τις συνθήκες διαβίωσης και τις πολιτιστικές αξίες ενός κοινωνικού συνόλου. Επιπλέον, στους παράγοντες συμπεριλαμβάνονται η κοινωνική δικαιοσύνη και οι κοινωνικές και εργατικές διαφορές.

Οι παράγοντες οικονομικού και ενεργειακού τομέα απευθύνονται συγκεκριμένα στην ενεργειακή ασφάλεια, ενώ οι πολιτικοί και κοινωνικοί παράγοντες είναι πιο γενικοί, στο βαθμό που τα αποτελέσματά τους υπερβαίνουν τον ενεργειακό κίνδυνο και επηρεάζουν τον γενικότερο κίνδυνο σε μια δεδομένη περιοχή.

Οι τεχνικοί κίνδυνοι διαχωρίζονται σε τρεις αιτίες της δυσλειτουργίας στην ενεργειακή υποδομή:

- Φυσικές καταστροφές: Θύελλες, τυφώνες, σεισμούς κλπ.
- Ατυχήματα: Λόγω ανθρωπίνου λάθους ή λόγω δυσλειτουργίας του εξοπλισμού και προκαλούν διαταραχές στη ενεργειακή ροή.
- Καταστροφή της ενεργειακής υποδομής που δεν οφείλεται σε περιβαλλοντικά αίτια: Το γεγονός αυτό μπορεί να παρουσιαστεί ως αποτέλεσμα πολιτικών ή κοινωνικών συγκρούσεων.

Επιπρόσθετα, οι τεχνικοί κίνδυνοι συνδέονται με τις ενεργειακές δραστηριότητες και επομένως υποβόσκουν κίνδυνοι κατά μήκος των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου, στα βυτιοφόρα, στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, στα δίκτυα διανομής που εξυπηρετούν την ιδιωτική και δημόσια κατανάλωση των χωρών που εισάγουν ενεργειακούς πόρους.

Η διαφορά των τεχνικών κινδύνων από τους υπόλοιπους κοινωνικοοικονομικούς κινδύνους έγκειται στο γεγονός ότι οι τεχνικοί κίνδυνοι αφορούν μεμονωμένα τον αγωγό ενέργειας ο οποίος εξετάζεται ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες είναι πιο γενικοί και απευθύνονται στα χαρακτηριστικά μιας γεωγραφικής περιοχής ή ενός κοινωνικού συνόλου. Επομένως ο κίνδυνος του ενεργειακού εφοδιασμού είναι προτιμότερο να αναλυθεί υπό την κοινωνικοοικονομική σκοπιά καθώς ο τεχνικός κίνδυνος των αγωγών ενέργειας είναι μια πάγια ποσότητα σε σχέση με τους αντίστοιχους κοινωνικοοικονομικούς κινδύνους [44].

3.3 Μέθοδοι μέτρησης κινδύνου ανά κατηγορία

3.3.1 Εναλλακτικά μοντέλα ενεργειακού ρίσκου

Ένα ενεργειακό σύστημα μπορεί να αντιδράσει σε ενδεχόμενα ρίσκου με δύο τρόπους: με προκαταβολικές αποφάσεις, οι οποίες προετοιμάζουν το σύστημα για μελλοντικά ενδεχόμενα κινδύνου, και με λειτουργικές αποφάσεις, οι οποίες παίρνουν δράση αφού κάποιο από αυτά τα

γεγονότα συμβεί. Το πρώτο είδος αποφάσεων είναι βασικό εργαλείο για την μείωση του ρίσκου, καθώς από την πρόβλεψη ενός ζημιογόνου γεγονότος το σύστημα μπορεί να το αποφύγει, ή στην χειρότερη περίπτωση να μετριάσει την έκταση της ζημίας, τη συχνότητά της και μπορεί να προγραμματίσει ενέργειες οι οποίες θα τροποποιούν το ενεργειακό σύστημα όπως η διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και των διαδρομών εφοδιασμού ή η αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας. Οι λειτουργικές αποφάσεις αναφέρονται στη θέσπιση κατάλληλων αντιδράσεων για κάθε ενδεχόμενο που εμπλέκει την διακοπή της ροής ενέργειας αγωγού. Συνήθως οι αποφάσεις αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές στη ροή της ενέργειας ή την αλλαγή σε διαφορετικής μορφής καυσίμου. Αυτές οι αποφάσεις είναι πολύ δύσκολο, σε οποιοδήποτε περίπλοκο ενεργειακό σύστημα, να αναπαρασταθούν επακριβώς επειδή υπάρχουν πολλά πιθανά ζημιογόνα ενδεχόμενα και πολλές διαθέσιμες λύσεις πάνω σε αυτά.

Η προσπάθεια μοντελοποίησης και υπολογισμού του ενεργειακού ρίσκου των διαφόρων συστημάτων ενέργειας έχει καταλήξει στη δημιουργία αρκετών μεθόδων μοντελοποίησης. Έχοντας τους δύο αυτούς τύπους αποφάσεων υπ' όψη (προκαταβολικές και λειτουργικές) συμπεραίνεται ότι οι τρόποι αντιμετώπισης του κινδύνου αποτελούνται από δύο προτιμότερες εναλλακτικές μοντελοποίησης μοντελοποίησης, αφού απορρίφθηκαν οι υπόλοιπες λιγότερο επιθυμητές, και παρουσιάζονται ως εξής:

A) Στοχαστική βελτιστοποίηση

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει τις βέλτιστες στρατηγικές αντιστάθμισης του κινδύνου και παρέχει εναλλακτικές λύσεις σε περίπτωση αποτυχίας. Ο κατασκευαστής του μοντέλου ορίζει πιθανά αρνητικά ενδεχόμενα σύμφωνα με την πιθανότητά τους να συμβούν, και το μοντέλο είναι υπεύθυνο για την υιοθέτηση τόσο προστατευτικών μέτρων και επενδύσεων όσο και *ad casum* λύσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό αναμενόμενο κόστος ή κάποιο άλλο κριτήριο. Αυτή είναι η πιο επιθυμητή λύση, επειδή είναι πλήρως ενδογενής, αλλά απαιτεί τον ορισμό ενός δένδρου γεγονότων το οποίο περιγράφει εξαντλητικά όλα τα πιθανά σενάρια και τις πιθανότητές τους. Το κύριο πρόβλημά του είναι ότι το μέγεθος του μοντέλου το καθιστά ανεξέλεγκτο, ειδικά όταν ο αριθμός των ενδεχομένων που περιγράφουν το σύστημα υπερβαίνει ένα μικρό αριθμό περιπτώσεων.

B) Παραμετρική βελτιστοποίηση

Η προσέγγιση αυτή συνίσταται από τον καθορισμό μαθηματικών εκφράσεων που παρέχουν το ρίσκο που σχετίζεται με τις διαδρομές ενέργειας και την ενσωμάτωσή τους στο μοντέλο, είτε σαν επιπρόσθετους περιορισμούς είτε σαν επιπλέον όρους της αντικειμενικής συνάρτησης που ορίζεται. Σε αυτή την περίπτωση η μέθοδος ταυτίζεται με την λήψη αποφάσεων με διάφορα κριτήρια, κινδύνου ή κριτήρια κόστους. Βασίζεται στην δημιουργία ενός συστήματος δεικτών ρίσκου, με βάση τα χαρακτηριστικά του κινδύνου των επιμέρους διαδρομών.

Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η εύκολη εφαρμογή της, ακόμη και με έναν μεγάλο αριθμό διαδρομών. Επιπρόσθετα, παράγει προληπτικές επενδύσεις ως αποτέλεσμα ενδογενούς εργασίας, δηλαδή η παραμετρική βελτιστοποίηση δίνει άμεσα αποτέλεσμα για την αξία των προληπτικών επενδύσεων. Όμως οι λύσεις στα ζημιογόνα γεγονότα μοντελοποιούνται εξωγενώς επειδή κάθε αποτυχία σε κάποια διαδρομή δεν περιγράφεται λεπτομερώς και

επομένως όταν στην πραγματικότητα ένας αγωγός αποτυγχάνει, το μοντέλο δεν προτείνει κάποια συγκεκριμένη δράση για την επιδιόρθωση του προβλήματος [26].

Εν τέλη οι πιο ενδιαφέρουσες απόψεις για την μοντελοποίηση του κινδύνου μπορούν να συνοψισθούν σε:

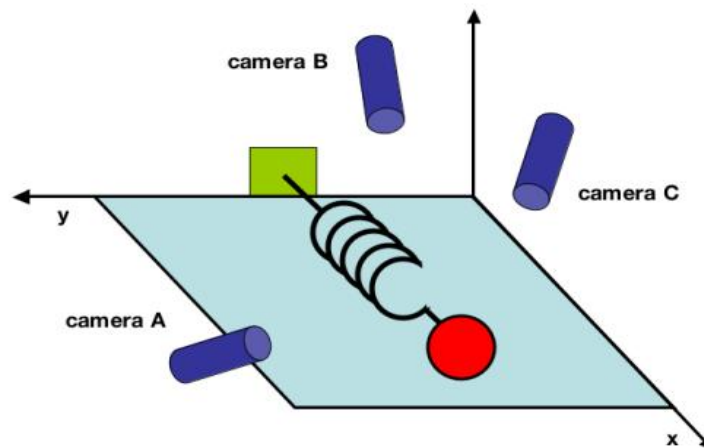
- Από θεωρητικής απόψεως, η στοχαστική βελτιστοποίηση είναι προτιμότερη, αλλά λόγω πρακτικών περιορισμών την καθιστούν χρήσιμη μόνο κατά την ανάλυση σημείων κλειδίων και μικρών διαδρομών.
- Η θεμελιώδης αναπαράσταση του ενεργειακού ρίσκου θα γίνεται από δείκτες ρίσκου οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σειρές παραμετρικών βελτιστοποιήσεων.
- Τέλος, στο μέτρο του δυνατού, συνίσταται ένας αριθμός από εναλλακτικές οι οποίες δεν απαντούνται στο μοντέλο για μικρής διάρκειας διακοπές της ροής των διαδρομών [26].

Υπάρχουν μέθοδοι των παραπάνω προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ενεργειακού ρίσκου ή που χρησιμοποιούνται ως στατιστικά εργαλεία για την επίτευξη διάφορων στόχων. Επιλέχθηκαν να αναλυθούν τρεις από αυτές: η ανάλυση κυρίων συνιστωσών, η ανάλυση παραγόντων και η αξία σε κίνδυνο

3.3.1.1 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis, PCA)

Η PCA είναι ένα στατιστικό εργαλείο το οποίο έχει βρεθεί χρήσιμο σε πολλά επιστημονικά πεδία όπως είναι η αναγνώριση προσώπου, η συμπίεση εικόνας, ενώ αποτελεί συχνή τεχνική για την εύρεση προτύπων σε πολυδιάστατα δεδομένα. Τελευταία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στον τομέα του management, όπως σε έρευνες που ασχολούνται με το ρίσκο των οικονομικών αγορών [36], και στον τομέα ειδικά της διαχείρισης των ενεργειακών πόρων [18]. Η PCA είναι μια ευρέως διαδεδομένη, απλή, μη παραμετρική μέθοδος εξαγωγής πληροφορίας από πολύπλοκα σύνολα δεδομένων. Με ελάχιστο υπολογιστικό κόστος η PCA δίνει έναν οδικό χάρτη για το πως μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι μεταβλητές ενός συνόλου δεδομένων και να αποκαλύψει μια απλούστερη δομή του προβλήματος που πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολη να βρεθεί.

Μπορεί κάθε παραμετρικό σύστημα πολλών μεταβλητών να παραλληλιστεί με το εξής παράδειγμα. Έστω ότι μελετάμε την κίνηση ενός ιδανικού ταλαντωτή όπως στην Εικόνα 3.1. Το σύστημα αυτό αποτελείται από μία μάζα m και ένα αβαρές ιδανικό ελατήριο με σταθερά k συνδεδεμένο σε τοίχο άπειρης μάζας και οποιαδήποτε τριβή θεωρείται αμελητέα. Η μάζα μετατίθεται από το σημείο ισορροπίας και αρχίζει να εκτελεί αμείωτες ταλαντώσεις επάνω στον άξονα x .



Εικόνα 3.1: Απλός αρμονικός ταλαντωτής

Το πρόβλημα αυτό είναι το πιο διαδεδομένο στον χώρο της φυσικής, δηλαδή η εύρεση της εξίσωσης με την οποία κινείται η μάζα m κατά την διεύθυνση x . Όπως είναι προφανές η εξίσωση περιλαμβάνει μία και μόνο μεταβλητή, την διεύθυνση x πάνω στην οποία κινείται.

Όμως το συγκεκριμένο σύστημα αντιμετωπίζεται από ερευνητές οι οποίοι έχουν άγνοια για τη φύση του και τα χαρακτηριστικά του. Κατά αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζεται το σύστημα σαν ένα μαύρο κουτί για το οποίο είναι δυνατό να υπάρχουν ενδείξεις για την κατάστασή του μέσω μετρήσεων με τη βοήθεια διαφόρων οργάνων όπως είναι οι κάμερες, τα βολτόμετρα, τα αμπερόμετρα (για άλλα συστήματα) κτλ. Επομένως στη μελέτη του ταλαντωτή δεν είναι δυνατόν να υπάρχει η γνώση ως προς ποιόν άξονα κινείται ή αν κινείται μόνο σε έναν άξονα ή σε περισσότερους. Εφόσον δεν υπάρχει καμία εκ των προτέρων γνώση για την φύση του προβλήματος οι ερευνητές είναι υποχρεωμένοι να τοποθετήσουν μετρητές, δηλαδή κάμερες, και στις 3 διαστάσεις εφόσον το πρόβλημα αναφέρεται σε τρισδιάστατο κόσμο. Όμως εξαιτίας της άγνοιάς των ερευνητών για την κατάσταση του συστήματος δεν είναι εύκολη η επιλογή των x , y και z αξόνων που ταιριάζουν με το σύστημα. Παρατηρείται λοιπόν ότι η δυσκολία στη λύση του προβλήματος του ιδανικού ταλαντωτή βρίσκεται στην πολυπλοκότητα των δεδομένων για την εξαγωγή του συμπεράσματος, δηλαδή στο γεγονός ότι το πρόβλημα είναι μονοδιάστατο και λαμβάνει χώρα σε κάποιον άξονα x . Επίσης στον πραγματικό κόσμο υφίσταται και το μεγάλο πρόβλημα του θορύβου που λαμβάνει χώρα κατά τη λήψη των μετρήσεων. Στο παράδειγμα θεωρήθηκε το σύστημα του ελατηρίου ιδανικό και τις κάμερες να έχουν απόλυτη ακρίβεια. Στην πράξη συναντώνται πολλές συνιστώσες θορύβου που θολώνουν ακόμα περισσότερο τα στοιχεία της έρευνας [27].

Επομένως με λίγα λόγια η PCA έχει ως στόχο την αποκωδικοποίηση αλλοιωμένων συνόλων δεδομένων. Με τον όρο αλλοιωμένος εννοείται ένα σύστημα δεδομένων το οποίο περιέχει θόρυβο, περιστροφή και πλεονασμό των αξόνων. Το καθένα από αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίζεται διαφορετικά από την PCA.

Συγκεκριμένη μονάδα μέτρησης του θορύβου δεν υπάρχει αλλά κάθε φορά ο θόρυβος μετριέται σχετικά με την εκάστοτε μέτρηση. Η πιο συχνή μέτρηση είναι η σχέση σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR), ή αναλογία των διακυμάνσεων σ^2 ,

$$SNR = \frac{\sigma_{signal}^2}{\sigma_{noise}^2} \quad (3.1)$$

Μια υψηλή τιμή του SNR ($\gg 1$) δείχνει υψηλή ποιότητα δεδομένων, και αντίθετα μια χαμηλή τιμή SNR δείχνει ότι τα δεδομένα έχουν μεγάλη δόση θορύβου.

Οι υποθέσεις που γίνονται βασίζονται στο γεγονός ότι ερευνάται μια βάση διαφορετική από την αρχική, δηλαδή με αυτή που έχουμε μετρήσει τα δεδομένα μας (naïve basis) καθώς αυτές δεν ανταποκρίνονται στη λύση της μέγιστης διακύμανσης. Μεγιστοποιώντας τη διακύμανση, παράλληλα με το SNR, αντιστοιχεί στη λύση για την βέλτιστη μετατόπιση της αρχικής (naïve) βάσης.

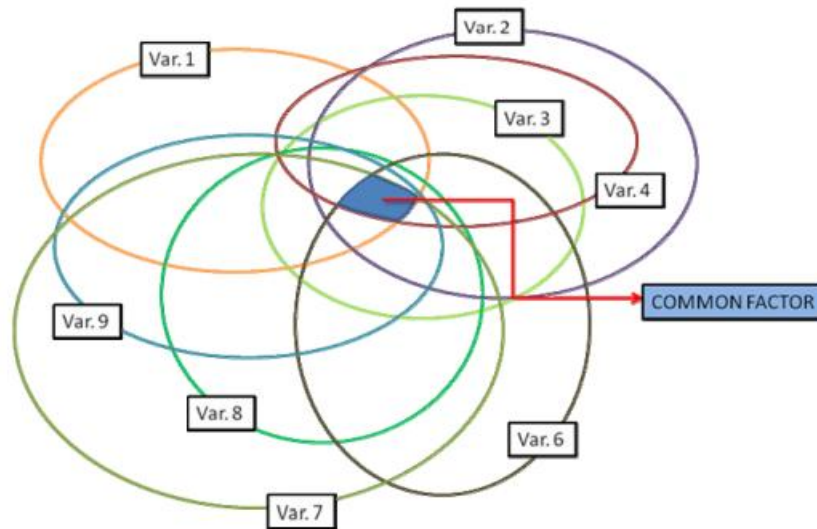
Με βάση τα παραπάνω βρίσκεται η κάθε κύρια συνιστώσα, οποία δεν είναι κάτι άλλο από

$$PC = w_1 X_1 + \dots + w_p X_p \quad (3.2)$$

Όπου τα $w_1 \dots w_p$ διαλέγονται σύμφωνα με την βελτιστοποίηση των παραπάνω στοιχείων [27].

3.3.1.2 Ανάλυση Παραγόντων (Factor Analysis-FA)

Συνήθως λέγεται ότι η ανάλυση παραγόντων είναι μια πολυπαραγοντική στατιστική τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί για την ανάλυση της δομής των εσωτερικών μετρικών. Η FA αποτελεί μια απλή μέθοδο για την αποκάλυψη και την μέτρηση απαραίτητων δεικτών. Σε γενικές γραμμές η ιδέα πίσω από την FA είναι να λαμβάνει τις πληροφορίες από ένα σύνολο διαφορετικών αλλά καλά συσχετισμένων μεταξύ τους μεταβλητών, υποθέτοντας ότι η κοινή συσχέτιση των δεδομένων προέρχεται από υποκείμενο παράγοντα ή παράγοντες. Έπειτα η τεχνική εφαρμόζεται για να μετρήσει τον βαθμό των πλεοναζόντων παραγόντων και αποκομίζεται μια προσέγγιση του παράγοντα που ενδιαφέρει.



Εικόνα 3.2: Κοινός παράγοντας σαν κοινή πληροφορία του συνόλου των υπολοίπων παραγόντων

Φυσικά η FA δεν είναι μόνο ένα σύστημα για την μέτρηση της κοινής συνδιακύμανσης και της συσχέτισης. Η FA εστιάζει στο μέγεθος αυτής της συσχέτισης αλλά επίσης:

- Επιτρέπει να διαχωριστεί ο παράγοντας ενδιαφέροντος από τους υπόλοιπους κοινούς παράγοντες.
- Επιτρέπει τη μέτρηση της σχετικής σημαντικότητας του κοινού παράγοντα ενδιαφέροντος.
- Επιτρέπει τη ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ παρατηρούμενων μεταβλητών και παραγόντων, και οπότε υπολογίζουμε το σχετικό βάρος της κάθε μίας από τις μετρούμενες μεταβλητές της δομής του παράγοντα ενδιαφέροντος.
- Επιτρέπει τον υπολογισμό της τιμής του παράγοντα σαν γραμμική συνάρτηση των αρχικών μεταβλητών οπότε, μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τη συνεισφορά του κάθε στοιχείου στον παράγοντα.
- Σε γενικές γραμμές η FA ταιριάζει σαν λύση σε προβλήματα όταν:
- Επιθυμείται η μέτρηση ενός υπάρχοντα παράγοντα ο οποίος όμως δεν είναι μετρήσιμος.
- Δεν υπάρχουν δεδομένα για τον παράγοντα αλλά είναι διαθέσιμα δεδομένα για μεταβλητές που σχετίζονται άμεσα με τον παράγοντα.
- Δεν μπορούν να επιλεγθούν μία ή δύο αντιπροσωπευτικές μεταβλητές για την μέτρηση της μη παρατηρήσιμης έννοιας που εξετάζεται.

Πρέπει να προστεθεί ότι σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που συγκεντρώνουν διαφορετικές μεταβλητές σε έναν κοινό δείκτη, δεν είναι απαραίτητο να πληροί προϋποθέσεις μια μεταβλητή για συμπεριληφθεί στο μείγμα: η ίδια η μέθοδος παρέχει μια διαδικασία επικύρωσης της καταλληλότητας κάθε μεταβλητής στην κατασκευή του τελικού παράγοντα, απορρίπτοντας τις μεταβλητές που δεν έχουν σχέση με τους υπόλοιπους και ως εκ τούτου δεν έχουν σχέση με τον υποκείμενο κοινό παράγοντα [28].

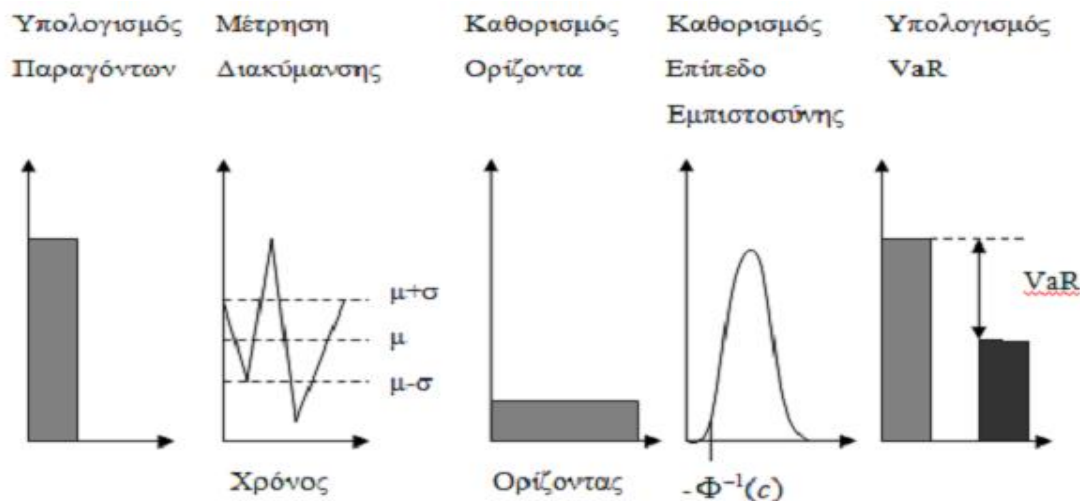
3.3.1.3 Αξία σε κίνδυνο (Value at Risk-Var)

Η VaR αποτελεί μία μέθοδο υπολογισμού ρίσκου και αντιπροσωπεύει την χειρότερη απώλεια σε έναν ορίζοντα χρόνου. Κατά την υλοποίηση της μεθόδου αφήνεται ένα μικρό περιθώριο, μια μικρή, συγκεκριμένη πιθανότητα, η οποία εκφράζει ότι η πραγματική απώλεια θα είναι μεγαλύτερη. Με αυτόν τον ορισμό, κατά την εφαρμογή της VaR είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν δύο ποσοτικοί παράγοντες: το διάστημα εμπιστοσύνης και ο χρονικός ορίζοντας [30].

Υπάρχουν τρεις βασικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της VaR , αν και υπάρχουν πολλές παραλλαγές στην κάθε προσέγγιση. Ο δείκτης μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά κάνοντας υποθέσεις πάνω στην κατανομή των αποδόσεων των κινδύνων της αγοράς, καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διακυμάνσεις και οι συνδιακυμάνσεις των σχετικών κινδύνων. Μπορεί επίσης να υπολογιστεί τρέχοντας υποθετικά χαρτοφυλάκια μέσα από ιστορικά στοιχεία ή από προσομοιώσεις Monte Carlo.

Τα βήματα που ακολουθούνται [29] σε κάθε περίπτωση, καθώς και η σειρά με την οποία υλοποιούνται, είναι εν γένει διαφορετικά, αλλά υπάρχουν ορισμένες διαδικασίες οι οποίες είναι κοινές. Αυτές οι διαδικασίες είναι οι εξής:

- Υπολογισμός των παραγόντων κινδύνου.
- Υπολογισμός της διακύμανσης των παραγόντων κινδύνου.
- Καθορισμός του χρονικού ορίζοντα υπολογισμού της VaR.
- Καθορισμός του επιπέδου εμπιστοσύνης της VaR.
- Υπολογισμός της VaR μέσω της επεξεργασίας όλων των προηγούμενων πληροφοριών.



Εικόνα 3.3: Ακολουθία βημάτων της Var

3.4 Συστήματα για τον υπολογισμό συνολικού κινδύνου αγωγού

3.4.1 Γενικές αρχές

Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο διαφορετικών οντοτήτων που μπορούν να θεωρηθούν στοιχεία μιας μεγαλύτερης οντότητας. Τα συστήματα τα οποία μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου ονομάζονται δυναμικά. Τα περισσότερα συστήματα έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά που είναι η δομή, η συμπεριφορά και η διασύνδεση. Η δομή αφορά την υφή των συστατικών και από τι αυτά αποτελούνται. Η συμπεριφορά ενός συστήματος διαφαίνεται στα διαφορετικά αποτελέσματα που δίνει το σύστημα διαταράσσοντας τις εισόδους του όπως επίσης αναφέρεται και στα ενδότερα χαρακτηριστικά του συστήματος. Τέλος η διασύνδεση όπως είναι αναμενόμενο αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα διάφορα συστατικά μεταξύ τους.

Η μελέτη των συστημάτων μπορεί να γίνει εμπειρικά ή αναλυτικά. Στα πολύ απλά συστήματα είναι δυνατόν να επέλθει λύση με την επίλυση ενός συστήματος εξισώσεων ή μιας απλοϊκής συλλογιστικής πορείας. Σε πιο σύνθετα προβλήματα όμως μία απευθείας προσέγγιση είναι δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη. Η αναλυτική μελέτη ενός συστήματος αποτελείται από 4 στάδια: τη μοντελοποίηση, τη κατασκευή των μαθηματικών εκφράσεων, την ανάλυση και τον σχεδιασμό.

Η διαφοροποίηση του φυσικού συστήματος και του μοντέλου είναι βασικό στη μηχανική. Για παράδειγμα τα κυκλώματα ή τα συστήματα ελέγχου που μελετώνται είναι μοντέλα των φυσικών συστημάτων που συναντάμε στην πράξη. Μια αντίσταση με σταθερή τιμή είναι ένα μοντέλο: στην πραγματικότητα η αντίσταση θα καεί αν η τάση που εφαρμόζεται είναι υψηλότερη από ένα όριο. Τα όρια αντοχής πολλές φορές αγνοούνται στην αναλυτική μελέτη. Η μοντελοποίηση είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα το οποίο καθορίζει κατά πόσο ακριβής είναι η σχεδίαση και τελικά η λύση του αρχικού μας προβλήματος.

Όταν ένα σύστημα (ή μοντέλο) επιλεγεί για την αναπαράσταση του φυσικού συστήματος το επόμενο βήμα είναι να χρησιμοποιηθούν διάφοροι φυσικοί νόμοι και αξιώματα για να παραχθούν οι μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα. Στο παράδειγμα του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι προφανές ότι η χρήση των νόμων του Kirchhoff είναι απαραίτητη για την περιγραφή του συστήματος. Οι εξισώσεις που περιγράφουν το σύστημα μπορούν να πάρουν πολλές μορφές όπως μπορεί να είναι γραμμικές, μη γραμμικές, διαφορικές, διαφοροεξισώσεις και πολλές άλλες. Ανάλογα με το πρόβλημα που μελετείται μία μορφή εξίσωσης μπορεί να είναι προτιμότερη από μια άλλη που περιγράφει το ίδιο σύστημα. Συμπερασματικά ένα σύστημα μπορεί να έχει τόσες διαφορετικές ερμηνείες όσο ένα φυσικό σύστημα διαφορετικά μοντέλα.

Μετά τη μαθηματική έκφραση των φυσικών νόμων το σύστημα μελετάται και ποσοτικά και ποιοτικά. Στην ποσοτική ανάλυση μελετάται η συμπεριφορά των συστημάτων υπό την διέγερση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών εισόδων και ελέγχεται η έξοδός τους. Η ποιοτική ανάλυση ασχολείται με τις γενικές ιδιότητες των συστημάτων όπως είναι η ελεγχσιμότητα, η παρατηρησιμότητα και η ευστάθεια. Όλες αυτές οι έννοιες αποτελούν ενδογενή χαρακτηριστικά

του συστήματος και ουσιαστικά αποτελούν την γνώση για το σύστημα το ίδιο. Η ποιοτική ανάλυση είναι πολύ σημαντική επειδή πολλές φορές η σχεδίαση προκύπτει άμεσα από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

Αν η απόκριση του συστήματος δεν είναι ικανοποιητική, το σύστημα πρέπει να μετατραπεί. Σε μερικές περιπτώσεις αρκούν μερικές αλλαγές στην παραμετροποίηση του συστήματος, σε άλλες περιπτώσεις επιβάλλεται η εισαγωγή εργαλείων που βοηθούν στην ικανοποίηση των κριτηρίων. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι η μελέτη γίνεται στο μοντελοποιημένο σύστημα επομένως και η σχεδίαση αφορά αυτό το σύστημα όπως και η απόδοση. Επομένως όσο η μοντελοποίηση είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα τόσο τα αποτελέσματα της μελέτης είναι πιο ακριβή και αποδοτικά [32].

3.4.2 Συστήματα στο ενεργειακό μοντέλο

Στο πλαίσιο της ενεργειακής ασφάλειας γίνονται έντονες προσπάθειες για την επίτευξη ενεργειακής σταθερότητας και πρόβλεψης των ενεργειακών αναγκών σε επίπεδο τόσο εθνικό όσο και Ευρωπαϊκό. Για τον σκοπό αυτό διεξάγονται μελέτες στην κατεύθυνση του ενεργειακού ρίσκου των χωρών και των αγωγών ενέργειας. Ο κάθε αγωγός διασχίζει τουλάχιστον δύο χώρες και φέρνει σε επαφή διαφορετικές οικονομίες, πολιτισμούς και πολιτικές καταστάσεις. Η ενέργεια διαδραματίζει τόσο σημαντικό ρόλο στην ζωή των ανθρώπων που κάθε αλλαγή της κατάστασης των μεταβλητών της χώρας επηρεάζει τους αγωγούς και αντίστροφα. Σε όλη αυτή τη διαδικασία σημαντικό ρόλο για την ενεργειακή ασφάλεια είναι το μέγεθος της επιρροής του αγωγού στη χώρα και το αντίστροφο, τα οποία αντιπροσωπεύονται από το μέγεθος του ενεργειακού ρίσκου του αγωγού.

Ως τώρα οι προσπάθειες που έχουν γίνει για τον υπολογισμό του συνολικού ενεργειακού ρίσκου του αγωγού με βάση τη μοντελοποίηση του ρίσκου όπως στη Εικόνα 3.4 είναι αρκετά ανεπαρκείς και απλοϊκές. Όμως το κύριο μειονέκτημα των προσεγγίσεων που έχουν γίνει μέχρι τώρα είναι ότι καμία δεν βασίζεται στα ενδογενή χαρακτηριστικά του μεγέθους που εκφράζουν και δεν έχουν καταφέρει να σταθμίσουν με κάποιο λογικό τρόπο τα επίπεδα ρίσκου της κάθε εμπλεκόμενης στον αγωγό χώρας. Οι εναλλακτικές αυτές μπορούν να συνοψιστούν σε τέσσερις προσεγγίσεις:

1. Το υψηλότερο ρίσκο, πολιτικό, κοινωνικό, οικονομικό ή ενεργειακό αντιπροσωπεύει και το συνολικό

$$R_p = \max(R^i) \quad (3.3)$$

Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι αφήνει σχεδόν όλη τη πληροφορία για το σύστημα της χώρας ανεκμετάλλευτη. Επίσης ελλοχεύει και ο κίνδυνος η τιμή του κινδύνου που λαμβάνουμε σαν τελική να είναι μια εξαίρεση στον χρονολογικό χάρτη ή να έχει σημαντική διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους δείκτες ρίσκου. Άρα δεν ενδείκνυται για την χρησιμοποίησή του στο συνολικό ρίσκο του αγωγού.

2. Η μέση τιμή των τεσσάρων μεταβλητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν το συνολικό ρίσκο

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^4 R^i}{n} \quad (3.4)$$

Γενικά είναι μια καλή επιλογή για να αντιπροσωπευτεί το συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο της κάθε χώρας. Όμως η κύρια αντίρρηση στη χρήση αυτού του δείκτη είναι ότι μειώνει σημαντικά τις ακραίες τιμές των μεταβλητών οι οποίες όντας τόσες λίγες είναι εξίσου σημαντικές και δεν μπορούν να παραβλεφθούν.

3. Αναπροσαρμοσμένη μέση τιμή με βάρη στις μεγαλύτερες τιμές ρίσκου. Ο πιο απλός τρόπος για να γίνει αυτό είναι να εισαχθεί μία νέα μέση τιμή ανάμεσα στον μέσο όρο των τεσσάρων μεταβλητών και στην μεγαλύτερη τιμή ρίσκου ανάμεσα στις τέσσερις. Με αυτό τον τρόπο δίνουμε συντελεστή βάρους στη μέγιστη τιμή 50% τουλάχιστον.

$$R_p = \frac{\frac{\sum_{i=1}^4 R^i}{n} + \max(R^i)}{2} \quad (3.5)$$

Αυτή η λύση είναι ένα υβρίδιο της πρώτης και της δεύτερης επιλογής η οποία δεν μπορεί να θεωρηθεί όμως βελτιστοποιημένη και επίσης δεν υπάρχει κάποιος αντικειμενικός λόγος για να δώσεις σε μία τιμή ρίσκου μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας.

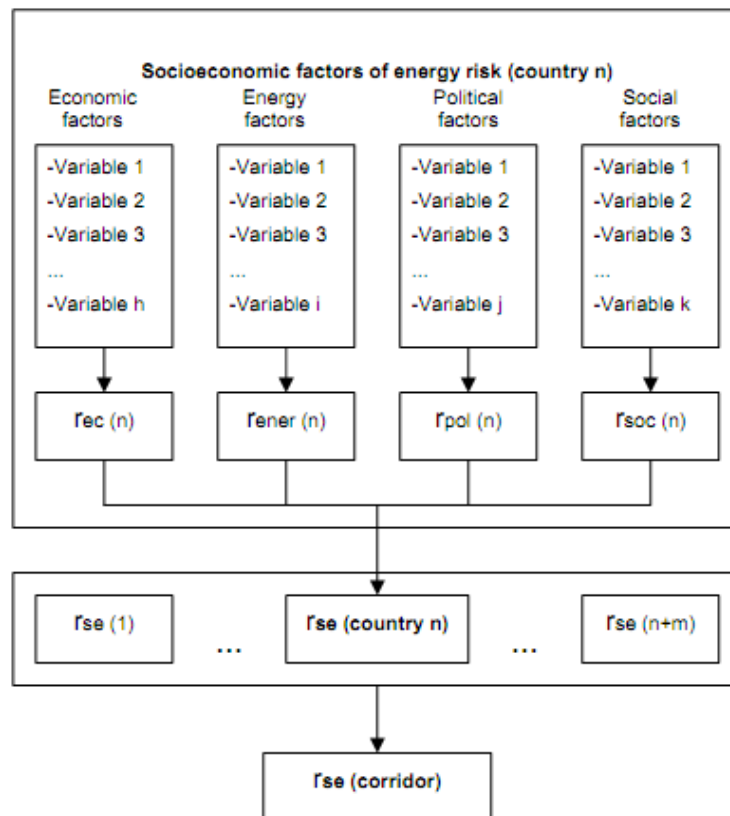
4. Το άθροισμα όλων των επιμέρους ρίσκων για την εξαγωγή του συνολικού κοινωνικοοικονομικού ρίσκου.

$$R_p = \sum_{i=1}^4 R^i \quad (3.6)$$

Εφόσον επιθυμείται η σύνταξη μιας λίστας από χώρες, σε πρώτο στάδιο, και από αγωγούς στη συνέχεια ένας τέτοιος δείκτης θα ήταν προτιμότερος σε σχέση με τους προηγούμενους. Όμως υπολείπεται λεπτομερούς σχεδιασμού και δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε έναν δείκτη ο οποίος δεν παίρνει υπ' όψη του κανένα χαρακτηριστικό του συστήματος [26].

Επομένως το πρόβλημα του υπολογισμού του ενεργειακού ρίσκου έχει ανάγκη από μία καινούρια προσέγγιση, Είναι σίγουρα λογικό ο αγωγός και οι χώρες που συνδέονται με αυτόν, να εξεταστούν ως μία οντότητα, ένα σώμα το οποίο μοιράζεται παντού τις αδυναμίες του. Δεν μπορεί παρά το ενεργειακό μοντέλο του αγωγού να εξεταστεί σαν σύστημα.

Το σύνολο των μεταβλητών του ενεργειακού μοντέλου αναπαρίσταται στην εικόνα 3.4. Όπως φαίνεται στο σχήμα μια οντότητα μπορεί να αποτελείται από μικρότερες οντότητες, με άλλα λόγια ένα σύστημα μπορεί να αποτελείται από πολλά υποσυστήματα. Προφανώς το πρόβλημα υπολογισμού και μοντελοποίησης του ενεργειακού ρίσκου του αγωγού είναι ο τρόπος με τον οποίο όλες αυτές οι μεταβλητές συνδέονται και παράγουν τον τελικό δείκτη. Η λύση βρίσκεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος τα οποία μπορούμε να αναδείξουμε με χρήση της θεωρίας συστημάτων.



Εικόνα 3.4: Το ενεργειακό μοντέλο και οι μεταβλητές του.

Κοιτώντας το ενεργειακό μοντέλο διακρίνουμε τέσσερα βασικά προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης:

- Η ελάττωση των ενεργειακών μεταβλητών της κάθε κατηγορίας (πολιτική, οικονομική, ενεργειακή, κοινωνική) της χώρας.
- Η εξαγωγή του συνολικού ρίσκου της κάθε χώρας συνδυάζοντας τα επιμέρους κοινωνικοοικονομικά μεγέθη.
- Η παραγωγή του ποσοστού συνεισφοράς της κάθε χώρας στο συνολικό ενεργειακό ρίσκο του αγωγού.
- Η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του ενεργειακού ρίσκου κάθε ενεργειακής διαδρομής.

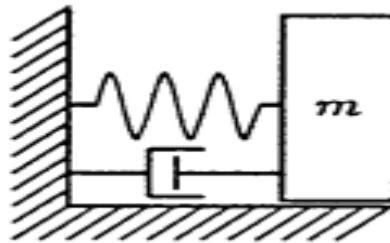
Βέβαια η μοντελοποίηση και η επίλυση του συστήματος του ενεργειακού μοντέλου ανταποκρίνεται στα τρία τελευταία προβλήματα που αναφέρονται. Βρίσκοντας τα ενδογενή χαρακτηριστικά της οντότητας είναι δυνατόν να βρεθεί μια φόρμουλα που να συνδέει με τρόπο λογικό και δικαιολογημένο τις μεταβλητές του συστήματος (οι οποίες είναι διαφορετικών κατηγοριών) και να παράγει το τελικό αποτέλεσμα σύμφωνα με την πραγματική συνεισφορά του ρίσκου της κάθε χώρας.

3.5 Κατηγορίες Συστημάτων

Η μορφή ενός συστήματος καθορίζεται όπως έχει αναφερθεί από τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος που περιγράφει και από την μοντελοποίηση που επιλέγει ο σχεδιαστής. Με λίγα λόγια οι εξισώσεις που διέπουν το φυσικό σύστημα ορίζουν και τη μορφή του επιλεγόμενου συστήματος. Η μαθηματική διατύπωση του φυσικού συστήματος είναι κάτι παραπάνω από την αρχή της μοντελοποίησης.

Για την μαθηματική περιγραφή του συστήματος υποθέεται ότι μία είσοδος στους ακροδέκτες της εισόδου του συστήματος, δίνει αποτέλεσμα μια μοναδική έξοδο στους ακροδέκτες εξόδου. Αυτή η μοναδική σχέση μεταξύ εισόδου και εξόδου, αίτιου και αποτελέσματος είναι σημαντική για τον ορισμό του συστήματος [31].

Τα συστήματα διαχωρίζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εξισώσεων που διέπουν το φυσικό σύστημα και έχουμε δύο κριτήρια διαχωρισμού: τον χρόνο και την γραμμικότητα. Ο χρόνος όμως διακρίνει το σύστημα με δύο διαφορετικούς τρόπους, σύμφωνα με την χρονική μεταβλητότητα των ενδογενών χαρακτηριστικών του και με τον τρόπο που μετριέται ο χρόνος. Το παράδειγμα του αρμονικού ταλαντωτή με γραμμική απόσβεση, όσο τεχνικό και αν φαίνεται, θα βοηθήσει στην κατανόηση της σχέσης του φυσικού συστήματος με το μοντελοποιημένο σύστημα.



Εικόνα 3.5: Αρμονικός ταλαντωτής με γραμμική απόσβεση

Θεωρείται ότι στο παραπάνω σχήμα ένα ιδανικό ελατήριο είναι προσκολλημένο σε μια μάζα m και η τριβή που αναπτύσσεται με το έδαφος απεικονίζεται μέσω του γραμμικού αποσβέστη. Θέεται δ τη μετατόπιση της μάζας από το σημείο ισορροπίας. Από τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα ισχύει:

$$F(t) = m * a(t) = m * \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (3.7)$$

$$-k_s\delta(t) - k_d * \frac{d\delta}{dt} = m * \frac{d^2 * \delta}{dt^2} \quad (3.8)$$

Όπου k_s είναι η σταθερά του ελατηρίου και η σταθερά απόσβεσης του αποσβέστη. Αυτή η διαφορική εξίσωση περιγράφει τη δυναμική του ταλαντωτή με απόσβεση. Η τάξη της διαφορικής εξίσωσης είναι δευτέρου βαθμού, είναι γραμμική δεδομένου ότι η εξίσωση είναι ένας γραμμικός συνδυασμός της μετατόπισης και των παραγώγων της. Μια δεύτερης τάξης διαφορική εξίσωση μπορεί να μετασχηματιστεί σε 2 εξισώσεις πρώτης τάξης θέτοντας 2 μεταβλητές $x_1 = \delta$ και $x_2 = \frac{d\delta}{dt}$. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται και οι εξισώσεις μεγαλύτερου βαθμού σε συστήματα πρωτοβάθμιων. Στην πιο γενική περίπτωση προσπαθούμε να φέρουμε το σύστημα στη διανυσματική μορφή:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad (3.9)$$

Εξισώσεις όπως η σχέση (3.9) ονομάζονται εξισώσεις κατάστασης του δυναμικού συστήματος. Δηλαδή χρησιμοποιώντας κάθε μαθηματικό εργαλείο που βρίσκεται στη διάθεση του ερευνητή για την ερμηνεία των νόμων που διέπουν το φυσικό σύστημα, δημιουργούνται οι απαραίτητες για την μελέτη του συστήματος εξισώσεις κατάστασης. Αυτή η διεργασία είναι απαραίτητη και αποτελεί στο πρώτο στάδιο της έρευνας των ιδιοτήτων του συστήματος [32].

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο χρόνος και η γραμμικότητα διακρίνουν τα συστήματα σε κατηγορίες. Ανάλογα αν το σύστημα είναι γραμμική συνάρτηση των μεταβλητών κατάστασης και του χρόνου τότε, προφανώς, το σύστημα είναι γραμμικό. Επίσης ανάλογα με το αν το σύστημα μεταβάλλει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κατά τη διάρκεια του χρόνου ή όχι ονομάζεται χρονικά μεταβαλλόμενο ή χρονικά ανεξάρτητο αντίστοιχα. Τέλος τα συστήματα χωρίζονται σε διακριτού ή συνεχούς χρόνου ανάλογα με τον τρόπο που μετράει το πέρασμα του χρόνου και κατ' επέκταση τη μορφή των εξισώσεων που τα διέπουν (διαφορικές εξισώσεις για τα συνεχή και διαφοροεξισώσεις για τα διακριτού χρόνου συστήματα). Το παράδειγμα που αναφέρθηκε παραπάνω ανήκει στην κατηγορία των γραμμικών, χρονικά ανεξάρτητων, συνεχούς χρόνου συστημάτων. Στην πραγματικότητα όμως μελετούνται περισσότερο τα γραμμικά συστήματα ή ακόμη και αν δεν είναι γραμμικά τα φυσικά συστήματα που μελετώνται υφίστανται γραμμικοποιήσεις. Οι κατηγορίες συστημάτων συνοψίζονται σχηματικά στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες συστημάτων

	Συνεχούς	Διακριτού
Χρονικά Αμετάβλητο		
Γραμμικό	$(t)=Ax(t)+Bx(t)$	$x(k+1)=Ax(k)+Bx(k)$
Γενικό	$(t)=f(x(t), u(t))$	$x(k+1)=f(x(k), u(k))$
Χρονικά Μεταβαλλόμενο		
Γραμμικό	$(t)=A(t)x(t)+B(t)u(t)$	$x(k+1)=A(k)x(k)+B(k)u(k)$
Γενικό	$(t)=f(t, x(t), u(t))$	$x(k+1)=f(k, x(k), u(k))$

3.6 Αβεβαιότητα στα συστήματα

3.6.1 Αβεβαιότητα και Ρίσκο

Ο οικονομολόγος Frank Knight στη σεμιναριακή δουλειά του Risk, Uncertainty and Profit καθιέρωσε έναν διαχωρισμό ανάμεσα σε αυτό που λέμε ρίσκο και στην αβεβαιότητα:

«Η αβεβαιότητα πρέπει να γίνεται αντιληπτή ως μια έννοια ριζικά διαφορετική από τη γνωστή έννοια του ρίσκου, από την οποία ποτέ δεν ήταν ορθά διαχωρισμένη.. Το βασικό γεγονός είναι ότι ο κίνδυνος σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ποσότητα μετρούμενη, ενώ άλλες στιγμές είναι κάτι σίγουρα διαφορετικό από αυτό το χαρακτηριστικό, παράλληλα υπάρχουν εκτεταμένες και σημαντικές διαφορές στη λειτουργία των φαινομένων ανάλογα με ποιό από τα δύο είναι παρών και δουλεύει.... Φαίνεται ότι μια μετρήσιμη αβεβαιότητα, ή καλύτερα ρίσκο, όπως θα χρησιμοποιείται ο όρος, είναι πολύ διαφορετική από τη μη μετρήσιμη αβεβαιότητα καθώς στην ουσία δεν είναι καν αβεβαιότητα...» [33].

Αυτή είναι μια πρώτη προσέγγιση στην αβεβαιότητα και τη διαφορά της με το ρίσκο στο πλαίσιο του γενικού κινδύνου. Όμως μια καλύτερη εικόνα δίνει ο Doug Hubbard:

- Αβεβαιότητα: η απώλεια της βεβαιότητας, κατάσταση στη οποία υπάρχει μειωμένη γνώση της κατάστασης και είναι αδύνατον να προσδιορισθεί επακριβώς η παρούσα κατάσταση ή το μελλοντικό αποτέλεσμα, με τη δυνατότητα πολλών διαφορετικών αποτελεσμάτων.
- Μέτρηση της αβεβαιότητας: ένα σύνολο από πιθανές καταστάσεις ή αποτελέσματα όπου ένα σύνολο από πιθανότητες έχουν ανατεθεί σε κάθε μία κατάσταση ή αποτέλεσμα. Αυτό συμπεριλαμβάνει και συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας σε συνεχής μεταβλητές.
- Ρίσκο: μια κατάσταση αβεβαιότητας στην οποία μερικά πιθανά αποτελέσματα έχουν δυσάρεστη δράση ή σημαντική απώλεια.
- Μέτρηση του Ρίσκου: ένα σύνολο από μετρούμενες αβεβαιότητες όπου μερικά πιθανά αποτελέσματα είναι απώλειες, και τα μεγέθη αυτών των απωλειών (είναι γνωστά) [34].

Φαίνεται ότι ο πραγματικός κόσμος δεν μπορεί να χαρακτηριστεί πλήρως από μαθηματικές εξισώσεις και αυστηρούς αριθμούς. Η αβεβαιότητα είναι αναπόσπαστο κομμάτι όλων των

συστημάτων που περιβάλλουν τον άνθρωπο. Τα ντετερμινιστικά συστήματα ή αλλιώς αιτιοκρατικά που είδαμε σε προηγούμενο μέρος δεν απαντάνε με ακρίβεια στις ανάγκες των πραγματικών προβλημάτων. Στην πράξη όλα τα συστήματα περιέχουν ανεπιθύμητες αβεβαιότητες οι οποίες επηρεάζουν και υποβιβάζουν τη συμπεριφορά του κλειστού συστήματος ελέγχου. Οι αβεβαιότητες αυτές μπορούν να εκφραστούν με διάφορους τρόπους, οπότε διαμορφώνεται ανάλογα και η μεθοδολογία σχεδίασης ελεγκτών. Οι τρεις κυριότεροι τρόποι παράστασης των αβεβαιοτήτων είναι οι εξής:

- Παράσταση με τυχαίες μεταβλητές και στοχαστικές ανελίξεις μέσω της πιθανοθεωρίας και στατιστικής(στοχαστικός έλεγχος)
- Παράσταση με ασαφή σύνολα και ασαφείς μεταβλητές μέσω της θεωρίας ασαφούς λογικής και συλλογιστικής(ασαφής έλεγχος)
- Παράσταση με βάση τα ανώτατα όρια των αβεβαιοτήτων χωρίς καμία ιδιαίτερη μοντελοποίησή τους μεταξύ των ορίων αυτών(σθεναρός έλεγχος) [35].

3.6.2 Στοχαστικός έλεγχος

Ο στοχαστικός έλεγχος είναι ένα εδάφιο της θεωρίας ελέγχου το οποίο ασχολείται με την ύπαρξη αβεβαιότητας στα δεδομένα. Ο σχεδιαστής υποθέτει, κατά την Μπαεσιανή προσέγγιση των πιθανοτήτων, ότι ένας τυχαίος θόρυβος με γνωστή πιθανότητα περιβάλλει τα δεδομένα και τις διαδικασίες στις οποίες υπόκεινται. Ο στοχαστικός έλεγχος στοχεύει στη σχεδίαση του βέλτιστου ελεγκτή που επιτελεί το επιθυμητό έργο ελέγχου με το ελάχιστο μέσο κόστος παρά την παρουσία θορύβου.

Ουσιώδης έννοια η οποία μας εισάγει στον στοχαστικό έλεγχο είναι αυτή της στοχαστικής ανελίξης. Στον στοχαστικό έλεγχο οποιοδήποτε σήμα ή κατάσταση συμπεριφέρεται σαν μια στοχαστική ανελίξη. Μια βαθμωτή στοχαστική ανελίξη διακριτού χρόνου εκτεινόμενη σε n βήματα $x(1), x(2) \dots x(n)$ συμβολιζόμενη x παίρνει τιμές $x(k) \in \mathbb{R}$ για $k=1,2,\dots,n$ με μια πιθανότητα που καθορίζεται από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p_x(x)$. Με τον τρόπο αυτό δείχνεται η ύπαρξη της αβεβαιότητας στην κατάσταση του συστήματος.

Για να μοντελοποιηθεί η αβεβαιότητα πρέπει να γίνουν αλλαγές στο κλασσικό ντετερμινιστικό σύστημα που έχει εισαχθεί προηγουμένως. Ως βάση της σχεδίασης βέλτιστων φίλτρων και στοχαστικών ελεγκτών αποτελεί το πολυμεταβλητό γραμμικό στοχαστικό μοντέλο Gauss-Markov το οποίο βασίζεται στην εισαγωγή ακολουθιών θορύβου και στην κατάσταση x , όπως και στη διαδικασία της μέτρησης-εξόδου.

Στη συνέχεια της διαδικασίας του στοχαστικού ελέγχου έρχονται οι στοχαστικοί εκτιμητές. Εκτιμητής ονομάζεται κάθε μέθοδος, αλγόριθμος ή σύστημα που δίνει κάποια εκτίμηση μιας παραμέτρου ή σήματος. Οι εκτιμητές χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες που επιτάσσει το γενικό πρόβλημα εκτίμησης της κατάστασης ενός στοχαστικού συστήματος Gauss-Markov. Αποτελούν βέλτιστες διαδικασίες που ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια με σκοπό την καλύτερη εκτίμηση της κατάστασης και άρση της αβεβαιότητας [35].

3.6.3 Ασαφής έλεγχος

Οι τεχνικές ασαφούς ελέγχου συστημάτων χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση συστημάτων, που συχνά περιλαμβάνουν τα δικά τους έμπειρα στοιχεία, για βελτιωμένο έλεγχο των διαδικασιών και συστημάτων. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα χρήσιμες σε εφαρμογές που περιέχουν πολλά μη γραμμικά στοιχεία ή σε συστήματα που το μαθηματικό τους μοντέλο είναι ανακριβές ή μη διαθέσιμο. Χάρτες ελέγχου του συστήματος απεικονίζουν τις παρατηρούμενες εξόδους του μοντέλου σε απαιτούμενες δράσεις ελέγχου ή σε εισόδους συστήματος. Σε ένα σύστημα ασαφούς ελέγχου, αυτές οι παρατηρούμενες εξοδοί μετατρέπονται σε βαθμίδες μέσω ενδογενών συναρτήσεων του συστήματος με πεδίο τιμών ένα προκαθορισμένο σετ βαθμίδων του ελεγχόμενου συστήματος. Έπειτα με κανόνες if-then μετατρέπονται αυτές οι βαθμίδες σε βάρη τα οποία συνδέονται με τα αντίστοιχα σήματα εισόδου. Τα σήματα εισόδου παίρνουν τιμές, όπως και τα σήματα εξόδου, από συγκεκριμένο σετ τιμών εισόδου. Το σύνολο των πιθανών δράσεων ελέγχου, χαρακτηρίζεται από ένα συνδυασμό των συναρτήσεων εισόδου σταθμισμένες με τα αντίστοιχα βάρη. Η ακριβής δράση ελέγχου επιλέγεται μετά από αποσαφοποίηση όπως είναι η επιλογή του κέντρου των δράσεων από το σετ δράσεων ελέγχου, βασισμένο στη συνδυασμένη συνάρτηση εισόδου που περιγράφει το συγκεκριμένο σετ δράσεων ελέγχου [45].

Μια παρόμοια διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί για τη δημιουργία κατανομών αβεβαιότητας σε εφαρμογές όπως η πιθανολογική εκτίμηση κινδύνου, η πιθανολογική εκτίμηση ασφάλειας και η ανάλυση αξιοπιστίας. Για παράδειγμα, οι παράμετροι εξόδου που χρησιμοποιούνται από το σύστημα ελέγχου μπορεί να αντιμετωπιστούν ως συνθήκες του προβλήματος, και το σετ δράσεων να είναι το προβλεπόμενο συστατικό απόδοσης.

Οι μέθοδοι του ασαφούς ελέγχου επιτρέπουν στους σχεδιαστές να έχουν πρόσβαση στις μεταβλητές του συστήματος που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος και να το χαρακτηρίζουν με φυσική γλώσσα («υψηλό», «καλό» κτλ). Είναι φυσικό όμως ότι υπάρχει κάποιο κόστος το οποίο συνοδεύει την πιο ακριβή γνώση για το σύστημα, και έχει ιδιαίτερη σημασία σε συστήματα για τα οποία δεν υπάρχει κάποια γνώση για την κατάστασή τους και για την απόδοσή τους και η ανάπτυξη καλύτερης κατανόησης του συστήματος είναι πολύ δύσκολη ή και ακριβή. Οι μέθοδοι του ασαφούς ελέγχου δίνουν τη δυνατότητα στους σχεδιαστές να κάνουν χρήση των επιπέδων ακρίβειας σύμφωνα με τα οποία καταλαβαίνουν τις χαρακτηριζόμενες διαδικασίες [46].

3.6.3 Εύρωστος έλεγχος

Ο εύρωστος έλεγχος θεωρείται η σχεδίαση των κανόνων ελέγχου ή αποφάσεων οι οποίες λειτουργούν πιο αποδοτικά σε συγκεκριμένο περιβάλλον από ένα σύνολο εναλλακτικών μοντέλων. Έτσι, ο εύρωστος έλεγχος είναι από τη φύση του κατάλληλος για την μοντελοποίηση της αβεβαιότητας, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις επιπτώσεις της αβεβαιότητας στο μοντέλο για τη λήψη αποφάσεων. Οι ρίζες του εύρωστου ελέγχου, ως κλάδου της θεωρίας ελέγχου, βρίσκονται στην δεκαετία του 80. Ο εύρωστος έλεγχος κέρδισε μια θέση στη μελέτη των οικονομικών στοιχείων στα τέλη του 1990 με ολοένα και αυξανόμενο αριθμό νέων εφαρμογών.

Τα βασικά ζητήματα του εύρωστου ελέγχου προκύπτουν από την προσθήκη λεπτομερειών στην πρόταση: ένα κριτήριο απόφασης αποδίδει καλά σε ένα φάσμα εναλλακτικών μοντέλων. Κατ' αρχάς, πρέπει να οριστεί ένα πρότυπο ως προδιαγραφή μιας κατανομής πιθανοτήτων πάνω στα αποτελέσματα ενδιαφέροντος που θέτει ο σχεδιαστής, η οποία επηρεάζεται από μία μεταβλητή ελέγχου ή απόφασης. Έπειτα η μοντελοποίηση της αβεβαιότητας έγκειται στην αντιμετώπιση της υποκειμενικής αβεβαιότητας μέσα από τις προδιαγραφές αυτής της κατανομής πιθανοτήτων. Ένα πρώτο βασικό ζήτημα στον εύρωστο έλεγχο είναι ο καθορισμός των κατηγοριών των εναλλακτικών μοντέλων που χρησιμοποιεί ο σχεδιαστής. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για το ζήτημα, με την πιο κοινή να αποτελείται από τη λήψη ενός συστήματος αναφοράς ως σημείο εκκίνησης, και από την μετέπειτα εισαγωγή διαταραχών στο μοντέλο αυτό. Ο καθορισμός και η μέτρηση των διαταραχών αυτών είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία του εύρωστου ελέγχου.

Μετά την αποσαφήνιση του σετ μοντέλων, απομένει ο καθορισμός του κριτηρίου απόφασης και τι σημαίνει ότι το κριτήριο απόφασης πρέπει να αποδίδει καλά στο φάσμα των επιλεγόμενων μοντέλων. Στην Μπαεσιανή ανάλυση, αυτός που καλείται να πάρει μια απόφαση επιλέγει μεταξύ των μοντέλων με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της αναμενόμενης χρησιμότητας. Ένας Μπαεσιανός αναλυτής βλέπει την μοντελοποίηση της αβεβαιότητας απλά σαν μια ιεραρχική κατανομή πιθανότητας με ένα στρώμα από τις αντίστοιχες ζημίες ή μεταβλητές που χρειάζεται να ενσωματωθούν τα οποία τελικά σταθμίζονται μεταξύ τους. Σε αντίθεση, οι περισσότερες εφαρμογές του εύρωστου ελέγχου εστιάζουν στην ελαχιστοποίηση του σεναρίου χειρότερης απόδοσης (worst case scenario) πάνω σε ένα σετ από πιθανά μοντέλα. Επομένως η προσέγγιση του εύρωστου ελέγχου διαχωρίζεται αισθητά από την απλή στάθμιση ζημιογόνων παραγόντων [47].

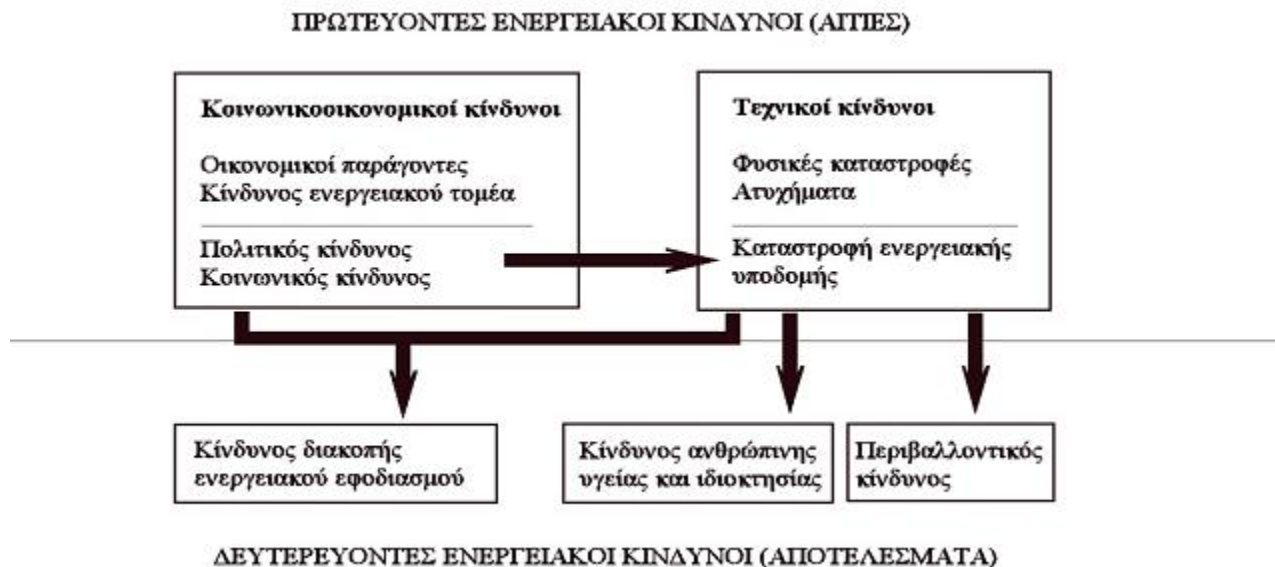
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

4.1 Κατηγοριοποίηση κινδύνων ενεργειακού εφοδιασμού

Όπως έχει προαναφερθεί σκοπός της παρούσης εργασίας είναι ο προσδιορισμός του κινδύνου ενεργειακού εφοδιασμού και πιο συγκεκριμένα του εφοδιασμού σε φυσικό αέριο. Κρίνεται, επομένως, σκόπιμη η εύρεση μεταβλητών για την ποσοτικοποίηση και την περαιτέρω ανάλυση του.

Ο καθορισμός των μεταβλητών είναι βασισμένος στη 5η κατηγορία κινδύνων ενεργειακού εφοδιασμού, η οποία παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.2.. Η επιλογή της κατηγορίας έγκειται στη θεώρηση ότι τα είδη των κινδύνων που διακρίνονται είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά για την διεκπεραίωση της εργασίας. Σύμφωνα με αυτή την κατηγορία ως πρωτεύοντες ενεργειακοί κίνδυνοι ορίζονται ο τεχνικός και ο κοινωνικοοικονομικός κίνδυνος. Ο τεχνικός κίνδυνος έχει αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, στην ιδιοκτησία, στο περιβάλλον και στη διακοπή του ενεργειακού εφοδιασμού. Σε αντίθεση, ο κοινωνικοοικονομικός κίνδυνος έχει επίπτωση μόνο στην διακοπή της παροχής ενέργειας. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι πολιτικοί και κοινωνικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν τεχνικά προβλήματα όπως είναι η καταστροφή της ενεργειακής υποδομής. Δεδομένου, λοιπόν, ότι ο κοινωνικοοικονομικός κίνδυνος μπορεί να αποτελέσει αιτία τεχνικού κινδύνου και ο δεύτερος έχει μικρότερη συμβολή στη διακοπή ενεργειακού εφοδιασμού, δε θα ληφθεί υπόψη ο τεχνικός κίνδυνος στην συγκεκριμένη εργασία.



Εικόνα 4.1: Ανάλυση 5^{ης} κατηγορίας ενεργειακού κινδύνου

Ο ενεργειακός κίνδυνος γενικά, και ο κοινωνικοοικονομικός ενεργειακός κίνδυνος ειδικότερα, δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί στο πραγματικό κόσμο. Παρατηρείται, όμως, ένα ευρύ φάσμα σχετικών μεταβλητών που μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση για το πώς ο ενεργειακός κίνδυνος διαμορφώνεται και ποια είναι τα συστατικά του. Η βάση δεδομένων που θα δημιουργηθεί θα περιλαμβάνει πληροφορίες σε εθνικό επίπεδο, καθώς σε αυτό το επίπεδο τα

στατιστικά στοιχεία είναι περισσότερα και πιο ακριβή. Επιπλέον, πολλές οικονομικές και κοινωνικοπολιτικές μεταβλητές σχετικά με τον ενεργειακό κίνδυνο είναι σημαντικές μόνο σε επίπεδο χώρας. Τα στοιχεία που αφορούν την συμμετοχή σε διεθνείς οργανισμούς ή τις υποχρεώσεις του Κιότο δεν έχουν κανένα νόημα σε επίπεδα κάτω από αυτό του εθνικού. Στη συνέχεια ακολουθεί μια πλήρη περιγραφή της δομής κάθε μίας από τις τέσσερις κύριες κατηγορίες του κοινωνικοοικονομικού κινδύνου, καθώς και της σχέσης μεταξύ κάθε μεταβλητής με τον αντίστοιχο ενεργειακό κίνδυνο.

4.1.1 Οικονομικοί Παράγοντες

Η πρώτη κατηγορία παραγόντων αφορά το οικονομικό στοιχείο του ενεργειακού κινδύνου , δηλαδή περιέχονται οι οικονομικές μεταβλητές που σχετίζονται με την διατάραξη του ενεργειακού εφοδιασμού. Ο Πίνακας 4.1 δείχνει τις υποκατηγορίες που χωρίζονται οι οικονομικές μεταβλητές του ενεργειακού κινδύνου.

Πίνακας 4.1: Κατηγορία οικονομικών παραγόντων ενεργειακού ρίσκου

A.1 Εσωτερική ζήτηση ενέργειας στις χώρες – εξαγωγείς
A.1.1 Οικονομική Αύξηση A.1.2 Πληθυσμιακή Αύξηση A.1.3 Ποσοστό Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (Α.Ε.Π.) της Βιομηχανίας A.1.4 Συνολική Ενεργειακή Ένταση A.1.5 Ενεργειακή Ένταση Κατά Κεφαλή A.1.6 Εσωτερικές Επιδοτήσεις για Ενεργειακή Κατανάλωση
A.2 Εσωτερική ζήτηση ενέργειας στις χώρες – εισαγωγείς
A.2.1 Οικονομική Αύξηση A.2.2 Πληθυσμιακή Αύξηση A.2.3 Συνολική Ενεργειακή Ένταση A.2.4 Ενεργειακή Ένταση Κατά Κεφαλή A.2.5 Σχετική Ενεργειακή Φορολογία A.2.6 Πραγματικές Τιμές Ενέργειας
A.3 Ενεργειακό Εισόδημα (χώρες παραγωγής ενέργειας και χώρες διαμετακόμισης)
A.3.1 Ποσοστό Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος A.3.2 Ποσοστό Κυβερνητικού Προϋπολογισμού A.3.3 Ποσοστό Εξωτερικού Εμπορίου
A.4 Εμπορικές Σχέσεις με την Ε.Ε.
A.4.1 Ύπαρξη Εμπορικών Συμφωνιών A.4.2 Σημασία της Ε.Ε. στο Εμπορικό Ισοζύγιο A.4.3 Όγκος Συναλλαγών με την Ε.Ε. αναλογικά με το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (Α.Ε.Π)
A.5 Επενδύσεις
A.5.1 Άμεση Επένδυση της Ε.Ε. στη Χώρα A.5.2 Άμεση Επένδυση της Χώρας στην Ε.Ε. A.5.3 Επένδυση του Κρατικού Επενδυτικού Ταμείου στην Ε.Ε.
A.6 Ανταγωνισμός
A.6.1 Εμπορικές Σχέσεις A.6.2 Επενδύσεις A.6.3 Πολιτικές Συμμαχίες

Οι δύο πρώτες υπό εξέταση υποκατηγορίες αφορούν την ενεργειακή ζήτηση τόσο στις χώρες εισαγωγής (A.1) όσο και στις χώρες εξαγωγής (A.2). Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται σχετίζονται με την οικονομική και τη πληθυσμιακή αύξηση, το βαθμό εκβιομηχάνισης της χώρας, την ενεργειακή ένταση, τις τιμές ενέργειας και την ενεργειακή εξάρτησή όσον αφορά τις χώρες εισαγωγής.

Αύξηση του ενεργειακού κινδύνου προκαλούν όλες οι μεταβλητές που έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τη ζήτηση της ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί η μεταβολή της ενεργειακής ζήτησης προκαλεί δυσφορία στις αγορές και μεταβάλλει την τιμή των ενεργειακών αγαθών (μέσω προσφοράς ζήτησης). Τέτοιες μεταβλητές είναι: το εισόδημα, ο πληθυσμός και οι εγχώριες τιμές ενέργειας.

Δύο επιπρόσθετες μεταβλητές που επηρεάζουν τη ζήτηση ενέργειας είναι η ενεργειακή ένταση και ο βαθμός εκβιομηχάνευσης της χώρας. Η ενεργειακή ένταση ορίζεται ως το ποσό ενέργειας που χρησιμοποιείται ανά μονάδα ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ). Όσο υψηλότερη η ενεργειακή ένταση μιας οικονομίας, τόσο σοβαρότερες είναι οι συνέπειες μιας ενεργειακής διακοπή. Ο βαθμός εκβιομηχάνευσης της χώρας είναι μια μεταβλητή που απεικονίζει εύκολα την ενεργειακή ένταση: Όσο μεγαλύτερη είναι η βιομηχανική δραστηριότητα σε μια χώρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενεργειακή κατανάλωση. Επομένως, η χώρα είναι περισσότερο ευάλωτη σε πιθανή διακοπή του ανεφοδιασμού, οπότε διατρέχει υψηλότερο ενεργειακό κίνδυνο.

Η υποκατηγορία A.3 επιλέγει ως μεταβλητή τη σημασία του εισοδήματος που προέρχεται από την ενέργεια. Αυτή η μεταβλητή έχει επιπτώσεις κυρίως στις χώρες παραγωγή ενέργειας και στις χώρες εξαγωγής, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό του εισοδήματός τους προκύπτει από την ενεργειακή δραστηριότητα, αλλά και στις χώρες διαμετακόμισης, οι οποίες χρεώνουν τέλη για την άδεια διέλευσης γραμμών ενεργειακού εφοδιασμού από το έδαφός τους. Όσο μεγαλύτερο είναι το ενεργειακό εισόδημα, που μετρείται σε ΑΕΠ είτε του κυβερνητικού προϋπολογισμού είτε του διεθνούς εμπορίου, τόσο λιγότερο πιθανό είναι να διακοπεί ο ενεργειακός εφοδιασμός σε αυτές τις χώρες, στο μέτρο που η κύρια ροή εισοδήματός τους να ανασταλεί. Αυτές οι μεταβλητές υπογραμμίζουν την έννοια της αλληλεξάρτησης μεταξύ του ενεργειακού καταναλωτών και των χωρών παραγωγών. Εντούτοις, η έννοια της αλληλεξάρτησης τίθεται υπό αμφισβήτηση λόγω γεγονότων όπως της πρόσφατης ενεργειακής κρίσης μεταξύ της Ρωσίας και της Ουκρανίας, οι οποίες εξαρτώνται σημαντικά από τα έσοδα των ενεργειακών εξαγωγών και της διαμετακόμισης. Συμπερασματικά, η σχέση των μεταβλητών αυτών με τον ενεργειακό κίνδυνο αναμένεται να είναι αρνητική, δηλαδή όσο μεγαλύτερα είναι τα έσοδα από τις ενεργειακές εξαγωγές, τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος.

Οι εμπορικές σχέσεις (A.4) αποτελούν μια βασική οικονομική μεταβλητή, ειδικά για την Ε.Ε. .Ο λόγος για το γεγονός αυτό είναι ότι όσο πιο στενές είναι οι εμπορικές σχέσεις μεταξύ των χωρών τόσο πιο απίθανη είναι η διακοπή της ροής ενέργειας στην οποία συμμετέχουν. Μια μεταβλητή που εκφράζει το μέγεθος των εμπορικών σχέσεων είναι το ύψος των εξαγωγών από την χώρα παραγωγής στην καταναλώτρια χώρα. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει αυτή η μεταβλητή τόσο μικραίνει ο ενεργειακός κίνδυνος καθώς μια διακοπή του εφοδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε αντίποινα ,όπως το «πάγωμα» των εισαγωγών από τη χώρα που διακόπτει το ενεργειακό εφοδιασμό.

Η υποκατηγορία A.5 αφορά τις επενδύσεις στο εξωτερικό, η οποία αποτελεί μια βασική μεταβλητή στις διεθνείς σχέσεις. Θα μπορούσε να γίνει ο ισχυρισμός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επένδυση μιας καταναλώτριας χώρας σε μια χώρα παραγωγής, τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος που προέρχεται από τη χώρα παραγωγής, δεδομένου ότι ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να διακόψει τις επενδύσεις. Ο ενεργειακός κίνδυνος, επιπλέον, μπορεί να μειωθεί από την παρουσία σημαντικών επενδύσεων σε μια καταναλώτρια χώρα από το κρατικό επενδυτικό ταμείο της χώρας παραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση η χώρα παραγωγής δεν θα επιδίωκε να διακόψει το ενεργειακό εφοδιασμό μονομερώς, υπό το φόβο αντίποινων της καταναλώτριας χώρας ενάντια των περιουσιακών στοιχείων του κρατικού επενδυτικού ταμείου.

Τέλος, η υποκατηγορία A.6 θέτει την αξία του ανταγωνισμού για τους ενεργειακούς πόρους μεταξύ των σημαντικότερων καταναλωτριών χωρών. Στο σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι οι τέσσερις κύριοι οικονομικοί ανταγωνιστές της Ε.Ε. είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ιαπωνία, η Κίνα και η Ινδία. Οι μεταβλητές της υποκατηγορίας του ανταγωνισμού είναι οι εμπορικές σχέσεις, οι επενδύσεις και οι πολιτικές συμμαχίες. Οι μεταβλητές εμπορίου και επένδυσης έχουν την ίδια σχέση με τον κίνδυνο. Παρουσιάζονται μικρότερα επίπεδα κινδύνου για τον εξαγωγέα σε σχέση με τους ανταγωνιστές του όταν εισάγει, σε συνολικό βαθμό, σε μια συγκεκριμένη χώρα περισσότερα αγαθά ή όταν επενδύει μεγαλύτερα κεφάλαια στη χώρα αυτή από τους ανταγωνιστές της. Από την άλλη πλευρά, ελλοχεύει η πιθανότητα της ευπάθειας του εισαγωγέα σε μια ενδεχόμενη διακοπή του εφοδιασμού εάν οι βασικές εισαγωγές του εισαγωγέα είναι κυρίως ενεργειακοί πόροι. Όσον αφορά τις πολιτικές συμμαχίες, όσο περισσότερες διαφορές παρουσιάζουν οι πολιτικές τοποθετήσεις δύο χωρών, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος μεταξύ τους.

4.1.2 Ενεργειακοί Παράγοντες

Η δεύτερη κατηγορία μεταβλητών περιλαμβάνει όλες τις μεταβλητές που αφορούν τον ενεργειακό τομέα.. Στον Πίνακα 4.2 απεικονίζονται οι υποκατηγορίες στις οποίες οι μεταβλητές έχουν διαιρεθεί.

Πίνακας 4.2: Κατηγορίες ενεργειακών παραγόντων ενεργειακού κινδύνου

B.1 Ενεργειακά αποθέματα στις χώρες παραγωγής
B.1.1 Αποδεδειγμένα αποθέματα B.1.2 Αποθέματα που δεν έχουν ανακαλυφθεί B.1.3 Γνωστοί πόροι B.1.4 Λόγος αποθεμάτων προς παραγωγή B.1.5 Αξιοπιστία αποθεμάτων
B.2 Αποθέματα έκτακτης ανάγκης στις χώρες κατανάλωσης
B.2.1 Καταναλωτική αξία αποθεμάτων σε ημέρες B.2.2 Ποσότητα αποθεμάτων για εκτατές ανάγκες
B.3 Ενεργειακή Εξάρτηση και ευπάθεια
B.3.1 Εξάρτηση B.3.2 Ευπάθεια
B.4 Εξαγωγείς και Εισαγωγείς Ενέργειας
B.4.1 Εξαγωγείς ενέργειας B.4.2 Εισαγωγείς ενέργειας

Η πρώτη υποκατηγορία B.1 αφορά τα ενεργειακά αποθέματα από τη σκοπιά των: αποδεδειγμένων αποθεμάτων, των αποθεμάτων που δεν έχουν ανακαλυφθεί, των γνωστών πόρων, του λόγου των αποθεμάτων προς την παραγωγή και της αξιοπιστίας των αποθεμάτων. Η συσχέτιση με τον κίνδυνο των αποδεδειγμένων αποθεμάτων και των αποθεμάτων που δεν

έχουν ανακαλυφθεί είναι η ίδια. Όσο μεγαλύτερο είναι το κάθε μέγεθος τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος. Όσον αφορά τη μεταβλητών των γνωστών πόρων, αυτή αναφέρεται στη σχέση μεταξύ των γνωστών πόρων ενέργειας (συνολικής υπάρχουσα παραγωγή συν τα αποδεδειγμένα αποθέματα) και των συνολικών πόρων (γνωστοί πόροι ενέργειας συν τους πόρους που δεν έχουν ανακαλυφθεί), το οποίο παρέχει το ποσοστό των πόρων που υπάρχουν σε μια περιοχή. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το ποσοστό, τόσο λιγότεροι θα είναι οι πόροι που απομένουν να ανακαλυφθούν στο μέλλον και τόσο υψηλότερος θα είναι ο ενεργειακός κίνδυνος. Σημαντική μεταβλητή σε αυτή την υποκατηγορία είναι ο λόγος των αποθεμάτων προς την παραγωγή που εκφράζει πρακτικά την βιωσιμότητα των αποθεμάτων. Για παράδειγμα, η Σαουδική Αραβία θα παράγει πετρέλαιο για 70 χρόνια ακόμα σύμφωνα με τα επίπεδα παραγωγής του 2007, ενώ η Ρωσία έχει μόνο 22 έτη [53]. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός ετών παραγωγής, τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος. Η αξιοπιστία των αποθεμάτων αποτελεί την τελική μεταβλητή αυτής της κατηγορίας η οποία είναι ίσως υπερεκτιμημένη από τις εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου γιατί δίνει ώθηση στις ενεργειακές επενδύσεις. Όσο λιγότερο αξιόπιστη είναι η πληροφορία για τα αποθέματα, τόσο υψηλότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος.

Η δεύτερη υποκατηγορία μεταβλητών αναφέρεται στα αποθέματα ασφάλειας (security stocks) (B.2), επίσης γνωστά ως αποθέματα έκτακτης ανάγκης. Τα αποθέματα έκτακτης ανάγκης είναι ένα από τα μέτρα ενεργειακής ασφάλειας και ο ρόλος τους είναι να μετριάσουν τον αντίκτυπο μιας διακοπής στο ενεργειακό εφοδιασμό. Ορισμένα αποθέματα παραμερίζονται για να χρησιμοποιηθούν σε περίπτωση που ο εφοδιασμός διακοπεί, με αποτέλεσμα να περιοριστεί ο αντίκτυπος στη οικονομική δραστηριότητα. Όσο περισσότερα είναι τα αποθέματα, μετρούμενα σε μέρες κατανάλωσης, τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος.

Οι μεταβλητές της υποκατηγορίας B.3 αφορούν την εξάρτηση και την ευπάθεια. Η εξάρτηση αναφέρεται στο ποσοστό της εισαγόμενης ενέργειας (είτε της συνολικής είτε κάθε ενεργειακού αγαθού ξεχωριστά) που καταναλώνεται. Όμως πρέπει να ληφθεί υπόψη η εξάρτηση από μια δεδομένη προμηθεύτρια χώρα για κάθε σημαντική πηγή ενέργειας. Η έννοια της εξάρτησης μετρείται από δύο δείκτες: το δείκτη Herfindahl-Hirschman (HHI) και το δείκτη γεωγραφικής εξάρτησης (Relative Index of Geographical Dependence).

Τέλος, οι μεταβλητές της υποκατηγορίας B.4 δεν συσχετίζονται με τον ενεργειακό κίνδυνο. Εξακριβώνουν μόνο ποιες χώρες είναι εξαγωγείς ενέργειας (των οποίων οι εξαγωγές είναι λιγότερες από τις εισαγωγές) και ποιες είναι εισαγωγείς.

4.1.3 Πολιτικοί Παράγοντες

Η κατηγορία Γ περιέχει τις πολιτικές μεταβλητές. Σημείο διαφοράς των περισσότερων πολιτικών και κοινωνικών μεταβλητών σε σχέση με τις οικονομικές μεταβλητές αποτελεί το γεγονός ότι δεν αφορούν συγκεκριμένα τους κινδύνους του ενεργειακού τομέα, αλλά αφορούν το γενικότερο κίνδυνο. Στον Πίνακα 4.3 απεικονίζονται οι υποκατηγορίες στις οποίες οι μεταβλητές έχουν διαιρεθεί.

Πίνακας 4.3: Κατηγορία πολιτικών παραγόντων ενεργειακού κινδύνου

Γ.1 Εξωτερικές σχέσεις με την Ε.Ε.
Γ.1.1 Πολιτικές Συμμαχίες Γ.1.2 Ευρωπαϊκές αντιπροσωπείες στη χώρα Γ.1.3 Συνεργασίες Ανάπτυξης Γ.1.4 Μετανάστευση στην Ε.Ε. Γ.1.5 Σχέση / συμφωνίες με την Ε.Ε.
Γ.2 Κίνδυνος Χώρας
Γ.2.1 Κίνδυνος χώρας Γ.2.2 Αξιολόγηση πιστοληπτικής ικανότητας δημόσιου χρέους (Moody's, Standard & Poor's, Fitch) Γ.2.3 Γενικός οικονομικός κίνδυνος
Γ.3 Μέλη του OPEC
Γ.3.1 Μέλη ή μη του Οργανισμού Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών
Γ.4 Εταιρίες ενέργειας δημόσιας ή ιδιωτικής ιδιοκτησίας που λειτουργούν στη χώρα
Γ.4.1 Εθνικές εταιρίες πετρελαίου (NOCs) Γ.4.2 Διεθνείς εταιρίες πετρελαίου (IOCs)
Γ.5 Ενεργειακή φήμη
Γ.5.1 Χρήση της ενέργειας ως πολιτικό μέσο υπεροχής Γ.5.2 Σύμπραξη σε πολυμερείς ενεργειακές πρωτοβουλίες
Γ.6 Δείκτες δημοκρατίας
Γ.6.1 Πολιτικό Καθεστώς Γ.6.2 Δείκτες δημοκρατίας
Γ.7 Θεσμική ποιότητα
Γ.7.1 Κυβέρνηση Γ.7.2 Μέλη διεθνών φορέων
Γ.8 Πολιτική βία
Γ.8.1 Πιθανότητα διεθνών συγκρούσεων Γ.8.2 Πιθανότητα εσωτερικών συγκρούσεων Γ.8.3 Πιθανότητα Πραξικοπημάτων Γ.8.4 Τρομοκρατία
Γ.9 Επικράτηση του κράτους δικαίου
Γ.9.1 Διαφθορά και Δωροδοκία Γ.9.2 Ευκολία Υλοποίησης Επενδύσεων

Η πρώτη υποκατηγορία (Γ.1) αφορά τις εξωτερικές σχέσεις με την Ε.Ε.. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν τις άμεσες πολιτικές μεταβλητές, που εκπροσωπούνται με την ομοιότητα των ψήφων, τις πολιτικές συμμαχίες όπως το NATO και την παρουσία ή την απουσία αντιπροσωπειών της Ε.Ε., την ανάπτυξη συνεργασιών, τη μετανάστευση και τις μεταβλητές που δείχνουν πόσο στενή είναι η σύνδεση με την Ε.Ε.. Για όλες αυτές τις μεταβλητές όσο πιο στενοί είναι οι δεσμοί με την Ε.Ε., τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος. Οι περισσότερες από τις μεταβλητές είναι από μόνες τους επεξηγηματικές. Πρέπει εν τούτοις να υπογραμμιστεί ότι η επιχορήγηση της επίσημης αναπτυξιακής ενίσχυσης και η αποδοχή των νόμιμων μεταναστών επηρεάζονται συχνά από τα πολιτικά θέματα [54].

Η δεύτερη υποκατηγορία (Γ.2) συγκεντρώνει τις μεταβλητές που αφορούν τον κίνδυνο επένδυσης σε μια χώρα. Ο κίνδυνος προσελκύει ένα μεγάλο αριθμό εκτιμήσεων από διεθνή σώματα όπως ο OECD (Organisation of Economic Cooperation and Development), αντιπροσωπεύει αξιολόγησης φερεγγυότητας και ερευνητικά κέντρα. Αν και στο τμήμα αυτό, για την εξαγωγή του αποτελέσματος των μεταβλητών χρησιμοποιούνται κυρίως οικονομικά στοιχεία, και όχι ενεργειακά, χρησιμοποιείται η υποκατηγορία αυτή στην ανάλυση και ο συσχετισμός της με τον ενεργειακό κίνδυνο είναι προφανώς θετικός. Όσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος επένδυσης στη χώρα, τόσο μεγαλύτερος ο ενεργειακός κίνδυνος.

Υπάρχουν ακόμη τρεις πολιτικοί παράγοντες που συνδέονται άμεσα με τον τομέα της ενέργειας: την υποκατηγορία που αφορά τη συμμετοχή στον OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) (Γ.3), την υποκατηγορία που δείχνει εάν οι ενεργειακές επιχειρήσεις που αναπτύσσουν δραστηριότητες σε μια χώρα είναι ελεγχόμενες από το κράτος ή ιδιωτικές (NOCs ή IOCs) (Γ.4) και την υποκατηγορία που αναφέρεται στην χρησιμοποίηση της ενέργειας ως μέσο υπεροχής (Γ.5). Είναι προφανές ότι η συμμετοχή στον OPEC συνεπάγεται υψηλό ενεργειακό κίνδυνο, επειδή η οργάνωση είναι στην ουσία ένα καρτέλ που μπορεί να επιδιώξει να χειριστεί την αγοραστική δύναμή του μονομερώς και αυθαίρετα. Σε αυτή την κατεύθυνση, η διαχείριση των NOCs υπάγεται στην δικαιοδοσία της πολιτικής κυβέρνησης και επομένως ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν εξαρτάται από τις πολιτικές που ακολουθούνται. Η ύπαρξη αυτών των εταιριών συνεπάγεται αύξηση του ενεργειακού κινδύνου, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εταιριών που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αγορά, ενώ η παρουσία των IOCs μειώνει τον κίνδυνο. Οι ιδιωτικές εταιρίες αποπνέουν μεγαλύτερη φερεγγυότητα στο εξωτερικό, επειδή οι IOCs, ως απαριθμημένες επιχειρήσεις, υποβάλουν εκθέσεις σχετικά με τις δραστηριότητές τους και η λήψη αποφάσεων βασίζεται σε απλές οικονομικές θεωρήσεις. Η «ενεργειακή φήμη» λαμβάνει υπόψη το βαθμό στον οποίο μια χώρα εκπληρώνει συστηματικά τις υποχρεώσεις, στο πλαίσιο των συμβάσεων ενεργειακού εφοδιασμού της, απέχοντας από τη χρήση της ενέργειας για άλλους - κυρίως πολιτικούς - σκοπούς.

Οι υποκατηγορίες δείκτες δημοκρατίας (Γ.6), θεσμική ποιότητα (Γ.7) και επικράτηση του κράτους δικαίου (Γ.9) παρουσιάζουν την ίδια συσχέτιση με τον ενεργειακό κίνδυνο. Όσον αφορά αυτές τις μεταβλητές, είναι ασφαλές να γίνει η υπόθεση ότι ένα δημοκρατικό κράτος στο οποίο το κράτος δικαίου επικρατεί συστηματικά εγκυμονεί μικρότερο πολιτικό κίνδυνο. Από την άλλη μεριά, σε ένα σχετικά μη δημοκρατικό κράτος οι πολιτικές αποφάσεις είναι αυθαίρετες και μονομερούς η ενεργειακή ασφάλεια διακυβεύεται από πολιτικές πρακτικές που εστιάζουν στο πολιτικό συμφέρον και επομένως ο ενεργειακός κίνδυνος αυξάνεται. Οι μεταβλητές στις υποκατηγορίες αυτές περιλαμβάνουν τα πολιτικά δικαιώματα, τις ατομικές ελευθερίες, τους δείκτες της κυβερνητικής ποιότητας, τη δωροδοκία, τη ευκολία επιχειρηματικής δραστηριότητας, κ.λπ.

Στην τελευταία αυτή υποκατηγορία συμπεριλαμβάνονται μεταβλητές σχετικές με την πολιτική βία. Τέτοιες μεταβλητές αποτελούν η τρομοκρατία, οι διεθνείς και εμφύλιες συγκρούσεις και η δυνατότητα πραξικοπήματος. Η συσχέτιση των μεταβλητών αυτών με τον κίνδυνο είναι προφανής, όσο αυξάνεται η πιθανότητα πολιτικής βίας τόσο αυξάνεται και ο ενεργειακός κίνδυνος.

4.1.4 Κοινωνικοί Παράγοντες

Η κατηγορία αυτή συγκεντρώνει όλους τους παράγοντες του κοινωνικού τομέα. Όπως και οι πολιτικές μεταβλητές έτσι και οι κοινωνικές δεν σχετίζονται άμεσα με τον ενεργειακό κίνδυνο. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα μιας κοινωνικής σύγκρουσης τόσο μεγαλώνει ο ενεργειακός κίνδυνος λόγω των επιπτώσεων στον ενεργειακό τομέα. Στον Πίνακα 4.4 απεικονίζονται οι υποκατηγορίες στις οποίες αυτές οι μεταβλητές έχουν διαιρεθεί.

Πίνακας 4.4: Κοινωνικοί παράγοντες ενεργειακού κινδύνου

Δ.1 Πολιτιστική Ομοιότητα
Δ.1.1 Κοινή γλώσσα Δ.1.2 Κοινές αξίες
Δ.2 Κοινωνική Ισότητα
Δ.2.1 Κοινωνική Ανισότητα Δ.2.2 Μετακίνηση πληθυσμών Δ.2.3 Ανεργία / οικονομική δραστηριότητα Δ.2.4 Δείκτης ανθρώπινης ανάπτυξης Δ.2.5 Δείκτης φτώχειας Δ.2.6 Κατά κεφαλή εισόδημα Δ.2.7 Ισοτιμία Αγοραστικής Δύναμης (PPP)
Δ.3 Κοινωνικές Συγκρούσεις
Δ.3.1 Εγκληματικότητα Δ.3.2 Εθνική κατηγοριοποίηση Δ.3.3 Θρησκευτική κατηγοριοποίηση
Δ.4 Εργατικές Συγκρούσεις
Δ.4.1 Απεργίες Δ.4.2 Απουσία από την εργασία

Η πρώτη υποκατηγορία (Δ.1) των κοινωνικών μεταβλητών αφορά την πολιτιστική ομοιότητα των χωρών ή των γεωγραφικών περιοχών και συμπεριλαμβάνει σαν μεταβλητές την κοινή γλώσσα και τις κοινές αξίες. Θεωρείται ότι ένα σύστημα κοινών αξιών και κοινής γλώσσας «δένει» τις ενεργειακές συμφωνίες και μειώνει την ύπαρξη ενεργειακού κινδύνου.

Η δεύτερη υποκατηγορία περιλαμβάνει τις μεταβλητές σχετικά με την κοινωνική δικαιοσύνη (Δ.2). Είναι λογικό να υποτεθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κοινωνική ανισότητα σε μια χώρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα της κοινωνικής σύγκρουσης. Μεταβλητές που εκφράζουν το μέγεθος της κοινωνικής ανισότητας είναι: ο δείκτης ανθρώπινης ανάπτυξης (Human Development Index (HDI)), ο δείκτης της ένδειας (το ποσοστό του πληθυσμού που επιζεί με λιγότερο από ένα δολάριο ανά ημέρα), η ανεργία, οι κοινωνικοί δείκτες ανισότητας και το ποσοστό εκπατισμού (το ποσοστό των μεταναστών σε σχέση με το συνολικό πληθυσμό της χώρας καταγωγής). Κατά γενικό κανόνα, όσο αυξάνει το μέγεθος οποιασδήποτε από αυτές τις μεταβλητές - εκτός από του δείκτη HDI, του οποίου μια μεγαλύτερη αξία σημαίνει μεγαλύτερη ανθρώπινη ανάπτυξη - τόσο μειώνεται η κοινωνική ευημερία, και ως εκ τούτου τόσο μεγαλύτερος είναι ο κοινωνικός και ο ενεργειακός κίνδυνος.

Η υποκατηγορία Δ.3 συμπεριλαμβάνει μεταβλητές που σχετίζονται με τις κοινωνικές συγκρούσεις όπως η εγκληματικότητα και η εθνική και θρησκευτική τμηματοποίησης. Όσο περισσότερο μια κοινωνία είναι διαχωρισμένη σε τμήματα, είτε είναι εθνικά είτε είναι

θρησκευτικά, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα της κοινωνικής σύγκρουσης και κατ' επέκταση δημιουργούνται διαταραχές στην ομαλή λειτουργία του ενεργειακού μοντέλου.

Η τελευταία υποκατηγορία (Δ.4) αφορά τις εργασιακές συγκρούσεις και τον τρόπο με τον οποίο αυτές εκφράζονται όπως οι απεργίες και η συστηματική αποχή από την εργασία. Είναι προφανές ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν οι μεταβλητές αυτές τον ενεργειακό εφοδιασμό και όπως είναι αναμενόμενο έχουν θετική συσχέτιση με τον ενεργειακό κίνδυνο.

4.2 Μέθοδος μέτρησης κινδύνου ανά κατηγορία κινδύνου

4.2.1 Σύγκριση μεθόδων

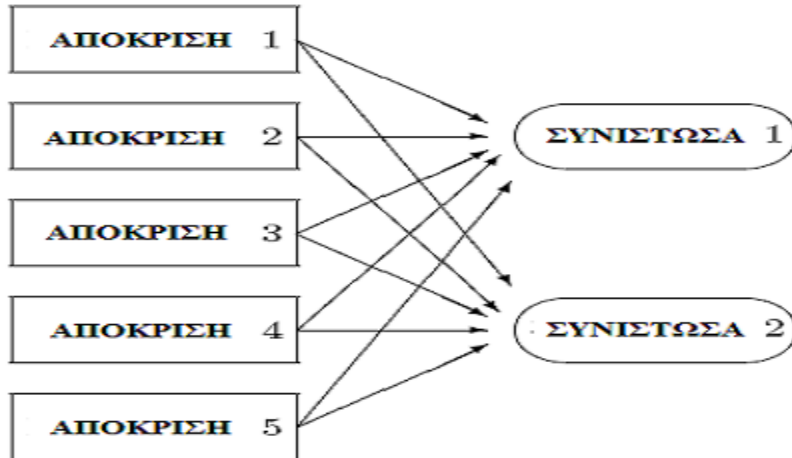
Είναι φανερό ότι ο παράγοντας κίνδυνος εξαρτάται από ολόκληρο το πλήθος μεταβλητών που εξετάστηκαν προηγουμένως. Για να υπολογιστεί ο παράγοντας όμως πρέπει οι μεταβλητές που σχετίζονται με αυτόν να αποκτήσουν κάποιο νόημα και να συνδεθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εκφράζουν την έννοια ρίσκου. Λογικό είναι λοιπόν να χωρισθεί ο υπολογισμός ρίσκου του αγωγού σε επιμέρους κομμάτια.

Το πρώτο στάδιο για τον υπολογισμό του συνολικού ρίσκου είναι ο υπολογισμός κάθε κατηγορίας κινδύνου, που έχει αναλυθεί. Με άλλα λόγια η μείωση των μεταβλητών από πολλές σε μία για κάθε κατηγορία. Από τις μεθόδους που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο αποκλείεται η μέθοδος της αξίας σε κίνδυνο VaR, καθώς η διαδικασία υπολογισμού του ρίσκου που ακολουθεί δεν έχει καμία σχέση με την παραμετροποίηση του κινδύνου που υλοποιήθηκε. Επομένως οι λύσεις που απομένουν είναι η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) και η παραγοντική ανάλυση (FA) οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως μέθοδοι υπολογισμού του ρίσκου μέσω ελαχιστοποίησης πολλών παραμέτρων κινδύνου. Βέβαια η μεθοδολογία που ακολουθούν είναι διαφορετική όπως και τα αποτελέσματα που παράγουν.

Και οι δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται συχνά για να αναλύσουν ομάδες συσχετισμένων δεδομένων εκπροσωπώντας ένα ή περισσότερα πεδία, όπως για παράδειγμα, δείκτες κοινωνικοοικονομικής κατάστασης, ικανοποίησης της εργασίας κτλ. Η PCA χρησιμοποιείται για να βρεθεί κάποιος βέλτιστος συνδυασμός των συσχετισμένων δεδομένων που θα οδηγήσει σε κάποια μικρότερα υποσύνολα μεταβλητών ενώ η FA χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη της δομής των δεδομένων και για τον υπολογισμό βαθμίδων που μετρούν τους ίδιους τους παράγοντες [48]. Η μεθοδολογία της PCA βασίζεται στο μέγιστο βαθμό συσχέτισης των παρατηρούμενων δεδομένων με αποτέλεσμα τη σύνθεση ενός πίνακα συσχέτισης, σε αντίθεση με την FA όπου βασίζεται στην κοινή διακύμανση των δεδομένων και συνθέτει έναν πίνακα προσαρμοσμένης συσχέτισης. Η κύρια όμως διαφορά τους βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο βρίσκουν το τελικό αποτέλεσμά τους. Η PCA εξάγει αποτελέσματα σύμφωνα με τον γραμμικό συνδυασμό των παρατηρούμενων μεταβλητών σταθμισμένα με ιδιοδιανύσματα, ενώ οι παρατηρούμενες μεταβλητές στην FA είναι γραμμικοί συνδυασμοί μοναδικών παραγόντων [49]. Το μοντέλο της PCA παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1 και δίνεται από τον τύπο:

$$Y = XB$$

Όπου το Y είναι η μήτρα των παρατηρούμενων μεταβλητών, X είναι η μήτρα των αποτελεσμάτων των συνιστωσών και B είναι η μήτρα των βαρών (ιδιοδιανυσμάτων).

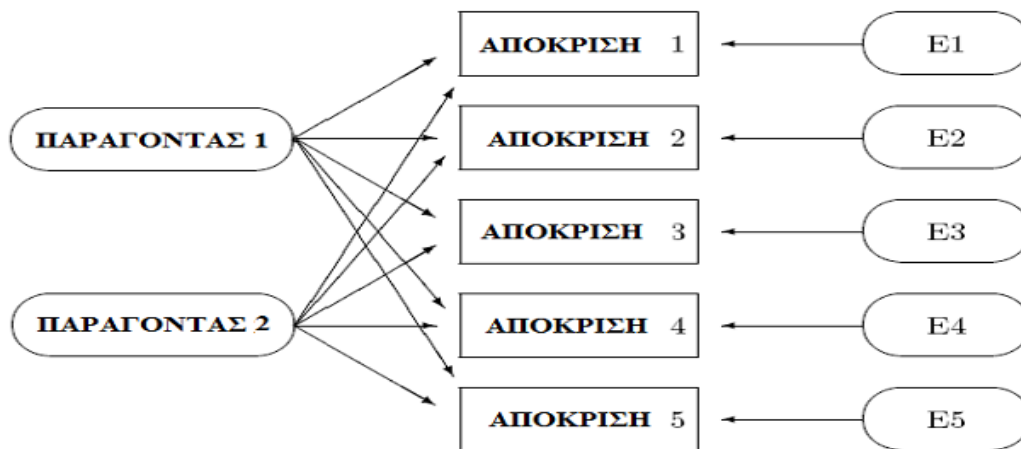


Εικόνα 4.1: Το μοντέλο της PCA

Το μοντέλο της ανάλυσης παραγόντων παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2 και δίνεται από το απτό τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$Y = X\beta + E$$

όπου το Y είναι η μήτρα των μετρημένων μεταβλητών, X είναι η μήτρα των κοινών παραγόντων και το β αποτελεί τη μήτρα των βαρών (παραγοντικών συντελεστών). Το E είναι η μήτρα των μοναδικών παραγόντων, οι οποίοι αναφέρονται στην αναξιοπιστία λόγω του σφάλματος μέτρησης και της ανομοιομορφίας των δεδομένων [49].



Εικόνα 4.2: Το μοντέλο της FA

Το πρόβλημά του πρώτου κομματιού της έρευνας περιέχει πολλά δεδομένα που ανά κατηγορία εκφράζουν το ίδιο ρίσκο αλλά με διαφορετική συνιστώσα. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι να μειωθούν όλες αυτές τις μεταβλητές και να εκφραστεί το ρίσκο σε μία μεταβλητή, η οποία όμως θα περιέχει πληροφορία από όλες τις μεταβλητές. Από τις μεθόδους που αναλύθηκαν είναι προφανές ότι θα χρησιμοποιηθεί η PCA καθώς δεν χρειάζεται να εισαχθεί κάποιος νέος παράγοντας αλλά να συγκεντρωθεί όλη η πληροφορία των δεδομένων σε έναν παράγοντα.

4.2.2 Μεθοδολογία της PCA

Βήμα 1: Συλλογή δεδομένων

Σε αυτό το πρώτο βήμα γίνεται ο προσδιορισμός των μεταβλητών που επιθυμείται να επεξεργαστούν. Οι μεταβλητές αυτές πρέπει να ανήκουν σε ένα σετ δεδομένων που η σχέση και κατ' επέκταση η συσχέτιση είναι φανερή και βεβαίως να μετριοούνται σύμφωνα με κάποιο μετρικό σύστημα.

Βήμα 2: Αφαίρεση του μέσου όρου

Για τη σωστή λειτουργία της PCA, ο μέσος όρος της διάστασης πρέπει να αφαιρεθεί από κάθε δεδομένο της διάστασης αυτής. Κατά αυτό τον τρόπο όλες οι τιμές x έχουν τον μέσο όρο \bar{x} να αφαιρείται από αυτές και οι τιμές y αντίστοιχα τον μέσο όρο \bar{y} . Έτσι προκύπτει ένα σετ δεδομένων που έχει μηδενικό μέσο όρο και η κάθε μεταβλητή γίνεται με αυτόν τον τρόπο συγκρίσιμη με τις άλλες μεταβλητές της ίδιας κατηγορίας δίνοντας νόημα στη δημιουργία του πίνακα συνδιακύμανσης.

Βήμα 3: Υπολογισμός του πίνακα συνδιακύμανσης

Η συνδιακύμανση υπολογίζεται πάντα ανάμεσα σε δύο διαστάσεις. Εάν υπάρχει ένα σύνολο δεδομένων με περισσότερες από δύο διαστάσεις, τότε πρέπει να υπολογιστούν περισσότερες από μία συνδιακύμανσεις. Για παράδειγμα, σε ένα σύνολο δεδομένων τριών διαστάσεων (x, y, z) θα υπολογιστούν οι συνδιακυμάνσεις $cov(x,y)$, $cov(x,z)$ και $cov(y,z)$. Γενικότερα, για ένα σύνολο δεδομένων n -διάστασων εξάγονται $\frac{n!}{2*(n-2)!}$ διαφορετικές τιμές συνδιακύμανσης. Ο τύπος της συνδιακύμανσης δίδεται από τη σχέση:

$$cov(x, y) = \frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N} \quad (4.1)$$

Όπου N το μέγεθος κάθε διάστασης x, y .

Εάν τεθούν όλες οι δυνατές τιμές συνδιακύμανσης του σετ δεδομένων τότε λαμβάνουμε τον πίνακα συνδιακύμανσης C :

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N1} & \cdots & C_{NN} \end{bmatrix}$$

όπου $C_{ij} = cov(x_i, x_j)$ και x_k είναι η k διάσταση.

Βήμα 4: Υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων της μήτρας συσχέτισης

Η μήτρα συσχέτισης υπολογίζεται πολύ εύκολα από τη μήτρα συνδιακύμανσης

$$R = S^{-1} * C * S^{-1} \quad (4.2)$$

όπου S είναι

$$S = \begin{bmatrix} \sqrt{C_{11}} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sqrt{C_{NN}} \end{bmatrix}$$

Έπειτα υπολογίζουμε τις ιδιοτιμές της μήτρας συσχέτισης με την εξίσωση:

$$|R - \lambda I| = 0 \quad (4.3)$$

Κατόπιν υπολογίζονται και τα ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν στην εκάστοτε ιδιοτιμή:

$$R - \lambda_i I = 0 \quad (4.4)$$

Στη συνέχεια, αποφασίζεται εάν θα αγνοηθούν κάποια από τα ιδιοδιανύσματα με τη μικρότερη σημασία. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χαθούν κάποιες πληροφορίες, αλλά εάν οι ιδιοτιμές είναι μικρές, η απώλεια των πληροφοριών είναι ελάχιστη. Επιπλέον, εάν παραληφθούν μερικά ιδιοδιανύσματα, το τελικό σύνολο δεδομένων θα έχει λιγότερες διαστάσεις από το αρχικό. Πιο συγκεκριμένα, αν αρχικά υπάρχουν n διαστάσεις στα δεδομένα θα εξαχθούν n ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα. Αν επιλεγθούν μόνο p ιδιοδιανύσματα, τότε το τελικό σύνολο δεδομένων θα έχει p διαστάσεις.

Έτσι σχηματίζεται το χαρακτηριστικό διάνυσμα (Feature Vector) από τα απομείναντα ιδιοδιανύσματα [50]:

$$Feature\ Vector = (eigen_1 \dots eigen_p) \quad (4.5)$$

Βήμα 5: Καταλήγοντας στο νέο σετ δεδομένων

Το τελευταίο βήμα της PCA είναι και το πιο εύκολο. Εφόσον έχουν επιλεγεί τα ιδιοδιανύσματα που είναι επιθυμητά για τη διαδικασία, συγκεντρώνονται και σχηματίζουν το χαρακτηριστικό διάνυσμα. Απλά το διάνυσμα αντιστρέφεται και πολλαπλασιάζεται με το αρχικό σετ δεδομένων [50]:

$$Final\ Data = RowFeatureVector * RowDataAdjust \quad (4.6)$$

RowFeatureVector: είναι ο πίνακας με τα ιδιοδιανύσματα σε στήλες ανεστραμμένος ώστε τα ιδιοδιανύσματα να είναι τώρα διατεταγμένα σε σειρά με το ιδιοδιάνυσμα με τη μεγαλύτερη σημασία πρώτο στη διάταξη.

RowDataAdjust: είναι ο κανονικοποιημένος πίνακας που έχει αναστραφεί. Τα δεδομένα είναι διατεταγμένα σε κάθε στήλη, με κάθε γραμμή να αποτελεί μια ξεχωριστή διάσταση.

FinalData: είναι ο πίνακας που περιλαμβάνει το τελικό σύνολο δεδομένων με τις πληροφορίες διατεταγμένες σε στήλες και τις διαστάσεις σε σειρά.

4.3 Ανάπτυξη συστήματος για τον υπολογισμό ρίσκου χώρας

4.3.1 Επιλογή μοντέλου συστήματος

Η αποτελεσματικότητα της τελικής σχεδίασης και του αποτελέσματος εξαρτώνται πολύ από την ακρίβεια της μοντελοποίησης. Ο μεγάλος όγκος δεδομένων αποτελεί τροχοπέδη στην σωστή και ακριβή μοντελοποίηση λόγω της δυσκολίας της επεξεργασίας και της σωστής τοποθέτησης των μεταβλητών. Επίσης αυξάνει την πολυπλοκότητα των υπολογισμών το οποίο καθιστά δύσκολη την υλοποίηση της σχεδίασης από υπολογιστικά μέσα. Ο υπολογισμός του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου αγωγών ενέργειας αντιμετωπίζει το πρόβλημα του μεγάλου όγκου δεδομένων. Στην περίπτωση του αγωγού τα δεδομένα χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες – πολιτικό, ενεργειακό, οικονομικό και κοινωνικό ρίσκο – που η καθεμία εμπεριέχει ένα σύνολο παραμέτρων. Το σύνολο των παραμέτρων αυτών όμως, θα μειωθεί σε μία παράμετρο ανά κατηγορία χρησιμοποιώντας την PCA, της οποίας η τεχνική έχει ήδη αναφερθεί. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο μεγάλος όγκος δεδομένων καταλήγει σε τέσσερις παραμέτρους ενεργειακού ρίσκου, οι οποίοι θα ληφθούν υπόψη στην συστηματική μοντελοποίηση.

Κατά την μοντελοποίηση πρέπει να επιλεγεί τι είδους σύστημα θα χρησιμοποιηθεί και γιατί. Η απάντηση βρίσκεται, όπως αναφέρεται και στο τρίτο κεφάλαιο, στις εξισώσεις που διέπουν το σύστημα. Όμως στην περίπτωση του ενεργειακού μοντέλου δεν έχουμε κάποιες βέβαιες εξισώσεις όπως συναντάμε στα φυσικά συστήματα (όπως στο παράδειγμα του ταλαντωτή). Οι εξισώσεις αυτές είναι δυνατόν να βρεθούν από διαχρονικά ενεργειακά στοιχεία (εννοούνται οι τέσσερις παράμετροι) των χωρών. Επομένως το σύστημα του αγωγού μπορεί να διασπαστεί σε υποσυστήματα χωρών για τις οποίες υπάρχουν κοινωνικοοικονομικά αυτά δεδομένα (κοινωνικοί, πολιτικοί, ενεργειακοί και οικονομικοί παράγοντες). Με την ανάλυση των μεταβλητών ενέργειας σε χρονοσειρές μπορούν να εξαχθούν οι εξισώσεις που περιγράφουν την σχέση μεταξύ των ενεργειακών παραγόντων. Υπάρχει παράλληλα μια ελευθερία για την μορφή των εξισώσεων αυτών από την οποία ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Για να αρχίσει ο σχεδιαστής να παίρνει αποφάσεις για το σύστημα πρέπει πρώτα να καθορίσει τρία βασικά πράγματα: ποιες είναι οι εισοδοί, ποιες είναι οι έξοδοι και ποιες οι μεταβλητές κατάσταση. Το πιο εύκολο προσδιορισίμο είναι οι έξοδοι του συστήματος καθώς για αυτές υπάρχουν μετρούμενες πληροφορίες. Προφανώς έξοδοι του συστήματος αποτελούν και οι

τέσσερις ενεργειακοί παράμετροι. Όσον αφορά τις εισόδους, διακρίνονται από την ιδιότητά τους να ελέγχουν το σύστημα (δηλαδή ο σχεδιαστής ή ο χρήστης να το ελέγχει). Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται δυνατόν στο ενεργειακό μοντέλο. Υπάρχουν παράγοντες που το επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά αλλά δεν μπορούν να το ελέγξουν. Τέλος οι μεταβλητές κατάστασης είναι αυτές οι οποίες μεταβάλλονται με το χρόνο και οι οποίες περιγράφονται από τις εξισώσεις. Οι μόνες μεταβλητές που υπάρχουν στο ενεργειακό σύστημα και δημιουργούν τις εξισώσεις κατάστασης από τα δεδομένα τους είναι τα τέσσερα κοινωνικοοικονομικά ρίσκα: το κοινωνικό, το πολιτικό, το ενεργειακό και το οικονομικό. Οπότε οι μεταβλητές κατάστασης δεν μπορούν να είναι κάτι άλλο παρά τα τέσσερα ενεργειακά ρίσκα. Άρα δάνυσμα κατάστασης

$$x = \begin{pmatrix} R_s \\ R_p \\ R_e \\ R_{ec} \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

Ο σχεδιαστής καλείται να επιλέξει πρώτα αν το σύστημά του θα είναι γραμμικό ή μη γραμμικό. Εφόσον υπάρχει αυτή η επιλογή, προτιμότερη είναι η λύση του γραμμικού συστήματος, αν και στην περίπτωση αυτή είναι και αναγκαία. Το γραμμικό σύστημα προτιμάται λόγω της απλότητάς του και λόγω της αμεσότητας των υπολογισμών χάρη σε έτοιμα υπολογιστικά εργαλεία. Το μη γραμμικό σύστημα τις περισσότερες φορές για να μελετηθεί χρειάζεται να γραμμικοποιηθεί γύρω από συγκεκριμένες τιμές. Όμως σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαίο καθώς για να διατυπωθεί και να υλοποιηθεί μια μη γραμμική προσέγγιση χρειάζονται πολύ περισσότερα στοιχεία από όσα υπάρχουν διαθέσιμα για τη συγκεκριμένη εργασία. Επομένως το ενεργειακό μοντέλο θα υλοποιηθεί με γραμμικό σύστημα.

Στη συνέχεια το σύστημα μπορεί να διακριθεί σε συνεχούς χρόνου ή διακριτού χρόνου. Εφόσον τα δεδομένα-έξοδοι που υπάρχουν είναι ταξινομημένα ανάλογα με την χρονολογία(2005, 2006...2010), γίνεται φανερό ότι το σύστημα που αναλύεται είναι διακριτού χρόνου.

Τέλος είναι απαραίτητο να αποφασιστεί αν το σύστημα είναι χρονικά μεταβαλλόμενο ή όχι. Για να μπορέσει ο σχεδιαστής να βρει μια φόρμουλα που ικανοποιεί τις τιμές των μεταβλητών κατάστασης και αυτή να είναι χρονικά μεταβαλλόμενη είναι αναγκαίο τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα να είναι σχετικά αρκετά και σίγουρα περισσότερα από τη διάσταση του διανύσματος κατάστασης. Στην έρευνα για το κοινωνικοοικονομικό ρίσκο αγωγών ενέργειας τα δεδομένα δεν εκτείνονται σε μεγάλο ορίζοντα και είναι αρκετά δύσκολο να εντοπιστούν και να καταγραφούν. Επομένως είναι λογικό να χρησιμοποιηθεί ένα χρονικά αμετάβλητο σύστημα.

Άρα το σύστημα θα έχει μορφή

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$y(k) = Cx(k) + Du(k) \quad (4.8)$$

Και από αυτό συμπεραίνεται:

$$x(k+1) = Ax(k)$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (4.9)$$

$$\text{Όπου } C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ και } x = \begin{pmatrix} R_s \\ R_p \\ R_e \\ R_{ec} \end{pmatrix}$$

Όλα αυτά όμως αφορούν την κάθε χώρα ξεχωριστά. Η κάθε χώρα αποτελεί υποσύστημα του αγωγού και η συμπεριφορά της καθεμιάς έχει επίδραση στα επίπεδα κινδύνου του αγωγού όπως επίσης και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σαν σύστημα. Επομένως το γενικότερο σύστημα του αγωγού θα έχει τη μορφή

$$z(k+1) = \bar{A}z(k)$$

$$y(k) = Cz(k) \quad (4.10)$$

$$\text{Όπου } z = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ και } \bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & A_n \end{bmatrix} \text{ με } n \text{ το συνολικό αριθμό χωρών που συμμετέχουν στον}$$

αγωγό. Για χάρη ευκολίας όμως είναι προτιμότερο να αναλυθεί το κάθε υποσύστημα ξεχωριστά.

4.3.2 Επίλυση συστήματος

Για την εξαγωγή μιας γενικής λύσης και για την ποιοτική μελέτη του συστήματος θα αναλυθεί από τις πιο απλές περιπτώσεις που το σύστημα δεν μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η γενική λύση θα αποτελέσει βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το ενεργειακό μοντέλο, μιας και σαν λύση αναφέρεται η ποιοτική ανάλυση και η λύση της διαφορικής ή διαφοροξίσωσης που περιέχει το σύστημα, όταν προσαρμοσθεί κατάλληλα το πλαίσιο του αρχικού συστήματος για να υπακούει την μορφολογία και τους νόμους του ενεργειακού μοντέλου. Θεωρείται το γραμμικό χρονικά αναλλοίωτο σύστημα με τη μορφή εξισώσεων κατάστασης

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (4.11)$$

Όπου A, B, C, D πίνακες $n \times n, n \times p, q \times n, q \times p$ με $x \in \mathbb{R}^n$ και $u \in \mathbb{R}^p$ και $y \in \mathbb{R}^q$ σταθεροί πίνακες. Το πρόβλημα βρίσκεται στην εξαγωγή λύσης βάσει της αρχικής συνθήκης $x(0)$ και της εισόδου $u(t)$. Για την επίλυση χρειάζεται να επικαλεστεί η ιδιότητα της εκθετικής συνάρτησης του πίνακα A

$$\frac{de^{At}}{dt} = Ae^{At} \quad (4.12)$$

Από την πρώτη εξίσωση πολλαπλασιάζοντας με e^{-At} :

$$e^{-At}\dot{x}(t) = Ae^{-At}x(t) + e^{-At}Bu(t)$$

$$\frac{d(e^{-At}x(t))}{dt} = e^{-At}Bu(t)$$

$$e^{-At}x(t) - e^0x(0) = \int_0^t e^{-A\tau}Bu(\tau)d\tau$$

$$x(t) = e^{At}x(0) + \int_0^t e^{A(t-\tau)}Bu(\tau)d\tau \quad (4.13)$$

Η (4.13) αποτελεί τη γενική λύση του γραμμικού χρονικά αναλλοίωτου συστήματος με αρχική συνθήκη $x(0)$ όπως μπορεί να επαληθευτεί παραγωγίζοντας το $x(t)$. Παρατηρείται η σημαντικότητα του πίνακα e^{At} στη λύση του προβλήματος καθώς μπορούν να εξαχθούν πολλά ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα από την μελέτη αυτού του πίνακα. Το κυριότερο χαρακτηριστικό του πίνακα αυτού είναι ότι μπορεί να δείξει αν το σύστημα αποκλίνει ή συγκλίνει προς μία τιμή. Αν όλες οι ιδιοτιμές του πίνακα είναι αρνητικές τότε το σύστημα συγκλίνει και ακολουθεί την είσοδο όσο περνάει ο χρόνος. Αν έστω και μία είναι θετική το σύστημα αποκλίνει και γίνεται ασταθές.

Όσον αφορά το σύστημα διακριτού χρόνου

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$y(k) = Cx(k) + Du(k)$$

Μπορεί να δειχθεί υπολογίζοντας

$$x(1) = Ax(0) + Bu(0)$$

$$x(2) = Ax(1) + Bu(1) = A^2x(0) + ABu(0) + Bu(1)$$

Επομένως εξάγεται ο τύπος επίλυσης του συστήματος:

$$x(k) = A^k x(0) + \sum_{m=0}^{k-1} A^{k-1-m} Bu(m)$$

$$y(k) = CA^k x(0) + \sum_{m=0}^{k-1} CA^{k-1-m} Bu(m) + Du(k) \quad (4.14)$$

Σε αυτή την εξίσωση παρατηρείται ότι το ρόλο του πίνακα e^{At} παίζει ο πίνακας A^k . Στο σύστημα η απόκριση μηδενικής εισόδου είναι ζωτικής σημασίας και ισούται με $A^k x(0)$. Για να μελετηθεί και για να εκτυλιχθούν οι ιδιότητες του συστήματος υποθέεται, χωρίς βλάβη της γενικότητας, ότι ο A έχει ιδιοτιμή λ_1 πολλαπλότητας 4 και ιδιοτιμή λ_2 πολλαπλότητας 1. Η μήτρα A^k μπορεί να γραφεί ως:

$$A^k = Q \begin{pmatrix} \lambda_1^k & k\lambda_1^{k-1} & k(k-1)\lambda_1^{k-2} & k(k-1)(k-2)\lambda_1^{k-3} & 0 \\ 0 & \lambda_1^k & k\lambda_1^{k-1} & k(k-1)\lambda_1^{k-2} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_1^k & k\lambda_1^{k-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_1^k & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_2^k \end{pmatrix} Q^{-1} \quad (4.15)$$

Όπου Q είναι ο πίνακας που έχει ως στήλες τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα A . Όπως παρατηρείται η κάθε τιμή της απόκρισης μηδενικής εισόδου θα είναι γραμμικός συνδυασμός των $\{\lambda_1^k, k\lambda_1^{k-1}, k(k-1)\lambda_1^{k-2}, k(k-1)(k-2)\lambda_1^{k-3}\}$. Αν κάθε ιδιοτιμή έχει μέγεθος μικρότερο από 1 τότε κάθε απόκριση μηδενικής εισόδου θα προσεγγίζει το μηδέν καθώς το k τείνει στο άπειρο. Αν όμως ο A έχει ιδιοτιμή, απλή ή πολλαπλή, με μέγεθος μεγαλύτερο από ένα τότε οι περισσότερες μεταβλητές κατάστασης θα μεγαλώνουν απεριόριστα καθώς το k τείνει στο άπειρο. Όταν όμως μία ιδιοτιμή έχει τιμή ένα δεν είναι σίγουρο το αποτέλεσμα. Αν η ιδιοτιμή έχει πολλαπλότητα μεγαλύτερη του ένα και στο μονικό πολυώνυμο (monic polynomial) τότε μπορεί κάποιες καταστάσεις να τείνουν στο άπειρο [31].

Σύμφωνα με την ανάλυση κάθε σύστημα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιοτιμές του. Στο ενεργειακό μοντέλο, όπως έχει αναφερθεί, οι μεταβλητές κατάστασης είναι τα τέσσερα κοινωνικοοικονομικά ρίσκα: το κοινωνικό, το πολιτικό, το ενεργειακό και το οικονομικό. Με άλλα λόγια οι ιδιοτιμές του ενεργειακού συστήματος επηρεάζουν τις μεταβολές των μεταβλητών κατάστασης, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται, το μέγεθος της μεταβολής και δηλώνουν αν η κάθε μεταβλητή κατάσταση είναι ασταθής (αυξάνει συνεχώς με τη πάροδο του

χρόνου). Επομένως οι ιδιοτιμές του ενεργειακού μοντέλου επηρεάζουν το επίπεδο του ρίσκου και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο για το συνολικό ρίσκο του αγωγού.

Η λύση και η ανάλυση του συστήματος όπως παρουσιάστηκε χρειάζεται να εφαρμοστεί κατάλληλα στο ενεργειακό μοντέλο. Ένας αγωγός αποτελείται από ένα σύνολο χωρών και η κάθε χώρα έχει το δικό της σετ μεταβλητών κατάστασης, επομένως και τις αντίστοιχες εξισώσεις που περιγράφουν τις καταστάσεις αυτές. Κατά αυτό τον τρόπο η κάθε χώρα μπορεί να θεωρηθεί υποσύστημα του συνολικού ενεργειακού συστήματος με τις δικές της μεταβλητές κατάστασης και εξισώσεις και να μελετηθεί ξεχωριστά με σκοπό την εξαγωγή ενός συνολικού ρίσκου του υποσυστήματος. Τα υποσυστήματα αυτά, δηλαδή οι χώρες που απαρτίζουν τον αγωγό, συνεχίζουν να αποτελούν τα συστατικά του ενεργειακού συστήματος και τα αποτελέσματά τους θα συνδυαστούν για να παράγουν το επιθυμητό συνολικό ρίσκο του αγωγού.

4.3.3 Παραγωγή αποτελέσματος κοινωνικοοικονομικού ρίσκου χώρας

Στο συγκεκριμένη φάση στόχος είναι η εξαγωγή του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου της χώρας μέσα από τη συστημική προσέγγιση που παρουσιάστηκε. Το αποτέλεσμα αυτό πρέπει να παράγεται μέσω λογικών διαδικασιών που παρέχει η ανάλυση του συστήματος του ενεργειακού μοντέλου.

Το μοντέλο του συστήματος της χώρας είναι όπως δείχνει η σχέση 4.9:

$$x(k+1) = Ax(k)$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (4.9)$$

Επιλύοντας το συγκεκριμένο σύστημα ως προς $x(k)$ και εφαρμόζοντας τον τύπο 4.14:

$$x(k) = A^k x(0) \quad (4.48)$$

Παρατηρείται ότι η μεταβολή του διανύσματος κατάστασης εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες και από τη μήτρα A . Το διάνυσμα κατάστασης όμως αντιπροσωπεύει τις τέσσερις κατηγορίες ρίσκου που χαρακτηρίζουν μια χώρα. Οι μεταβλητές αυτές χρειάζεται να συνδυαστούν μεταξύ τους για να παράξουν το συνολικό ρίσκο της χώρας. Σκοπός της παραγωγής του συνολικού ρίσκου της χώρας είναι η δημιουργία μιας διαβαθμισμένης λίστας που θα περιέχει τον σχετικό ενεργειακό κίνδυνο των χωρών που έχουν μελετηθεί. Για να μπορέσει να επιτευχθεί αυτό είναι αναγκαίο να μελετηθεί σε τι βαθμό επηρεάζει η κάθε μεταβλητή κινδύνου το σύστημα της χώρας και να σταθμιστεί ανάλογα.

Επομένως η σχέση 4.48 αποτελεί το κλειδί για τη μελέτη του ενεργειακού μοντέλου. Η σχέση αυτή μπορεί να μετασχηματιστεί σύμφωνα με τον τύπο 4.15 και να δώσει:

$$x(k) = Q\Lambda^k Q^{-1}x(0) \quad (4.49)$$

Τώρα φαίνεται ότι το ρίσκο εξαρτάται από τις αρχικές τιμές και τη μήτρα Λ των ιδιοτιμών. Οι ιδιοτιμές δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται ένα σύστημα, δηλαδή αν συγκλίνει σε κάποια τιμή ή αν αποκλίνει και αυξάνεται συνεχώς. Όπως αναφέρθηκε, η πιο αντιπροσωπευτική ιδιοτιμή είναι η μέγιστη και σύμφωνα με αυτήν χαρακτηρίζεται ένα σύστημα ευσταθές ή ασταθές. Δηλαδή κάθε μεταβλητή κατάστασης μεταβάλλεται σύμφωνα με την μεγαλύτερη ιδιοτιμή και τον παράγοντά της (σχέση 4.50), ο οποίος εξαρτάται με τη σειρά του από τις αρχικές τιμές.

$$\begin{aligned}x(k)_1 &= w_{11}(0)\lambda_1^k + w_{12}(0)\lambda_2^k + w_{13}(0)\lambda_3^k + w_{14}(0)\lambda_4^k \\x(k)_2 &= w_{21}(0)\lambda_1^k + w_{22}(0)\lambda_2^k + w_{23}(0)\lambda_3^k + w_{24}(0)\lambda_4^k \\x(k)_3 &= w_{31}(0)\lambda_1^k + w_{32}(0)\lambda_2^k + w_{33}(0)\lambda_3^k + w_{34}(0)\lambda_4^k \\x(k)_4 &= w_{41}(0)\lambda_1^k + w_{42}(0)\lambda_2^k + w_{43}(0)\lambda_3^k + w_{44}(0)\lambda_4^k \quad (4.50)\end{aligned}$$

Λαμβάνοντας υπ όψη ότι οι μεταβλητές κατάστασης είναι παράγοντες ρίσκου μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι όσο περισσότερο τείνουν να αυξηθούν τόσο περισσότερο επηρεάζουν τη συνολική οντότητα της χώρας και κατ' επέκταση του αγωγού. Αυτό το βλέπουμε και στις εξισώσεις του συστήματος και επίσης ισχύει το γεγονός ότι αν έστω και μία μεταβλητή κατάσταση αποκλίνει, αποκλίνει και όλο το σύστημα. Με άλλα λόγια κάθε μεταβλητή κατάσταση επηρεάζει το σύστημα τόσο όσο ο ρυθμός με τον οποίο αποκλίνει ή συγκλίνει. Όμως όπως αναφέρεται και προηγουμένως και φαίνεται στις εξισώσεις (4.50) οι ιδιοτιμές του συστήματος ευθύνονται για την σύγκλιση ή την απόκλιση της κάθε μεταβλητής κατάστασης. Συγκεκριμένα για κάθε μεταβλητή κατάσταση τον πιο σημαντικό ρόλο παίζει η μεγαλύτερη ιδιοτιμή με μη μηδενικό παράγοντα. Αυτό γίνεται προφανές στη σχέση (4.50). Γενικά για μια μεταβλητή κατάσταση $x(k)_i$, η απόκλιση της εξαρτάται από τη μέγιστη ιδιοτιμή λ_j και από τον παράγοντά της w_{ij} ο οποίος είναι μη μηδενικός. Είναι φανερό ότι δεν μπορούν να υπάρξουν πιο κατάλληλοι σταθμιστές από την ιδιοτιμή και τον παράγοντά της, οπότε έχουμε τη σχέση ρίσκου της χώρας ως:

$$R_c = \sum_{i=1}^4 \text{abs}(x_i * (\max_j\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\} * w_{ij})) \quad w_{ij} \neq 0 \quad (4.25)$$

4.4 Αντιμετώπιση αβεβαιότητας στα συστήματα

4.4.1 Στοχαστική ανάλυση

Πέρα από το πρόβλημα καθορισμού του τρόπου υπολογισμού του ρίσκου ενεργειακού εφοδιασμού του αγωγού υπάρχουν τα προβλήματα της αβεβαιότητας της κατάστασης, μιας και πρόκειται για εφαρμογή πραγματική και όχι ιδεατή, και της πρόβλεψης των μελλοντικών

καταστάσεων των μεταβλητών ρίσκου. Τα προβλήματα αυτά όμως δεν μπορούν να διαχωριστούν τελείως από την συστηματική προσέγγιση που έχει γίνει για τον υπολογισμό του ρίσκου για αυτό και η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για την αντιμετώπισή τους πρέπει να συμβαδίζει με το πρότυπο σύστημα που έχει προταθεί.

Σε προηγούμενη ενότητα είχαν προταθεί τρεις τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος: ο στοχαστικός έλεγχος, ο ασαφής έλεγχος και ο εύρωστος έλεγχος. Και οι τρεις λύσεις μπορούν να αντιμετωπίσουν την αβεβαιότητα του μελετούμενου συστήματος. Όμως η μέθοδος του ασαφούς ελέγχου για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας δεν είναι η κατάλληλη για την μορφή του προβλήματος. Οι ενδιάμεσες τιμές που προτείνει ο ασαφής έλεγχος δεν ταιριάζουν στο δομημένο σύστημα που έχουμε δημιουργήσει.

Από την άλλη μεριά ο εύρωστος έλεγχος ταιριάζει όσο και ο στοχαστικός στη φύση του προβλήματός και μπορεί να ανταπεξέλθει εξίσου καλά στην αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Όμως όσον αφορά τη δυνατότητα πρόβλεψης ο εύρωστος έλεγχος δεν έχει κάτι άλλο να προτείνει πέρα από το περπατημένο μοτίβο του ελέγχου όπως έχει εξεταστεί ως τώρα. Ο στοχαστικός έλεγχος βοηθά επίσης στην παραγωγή βέλτιστου προβλέπτη της κατάστασης του συστήματος και αποτελεί την καλύτερη λύση και αυτή που θα υλοποιηθεί.

4.4.2 Στοχαστικές ανελίξεις και ιδιότητες

Ουσιώδης έννοια η οποία μας εισάγει στον στοχαστικό έλεγχο είναι αυτή της στοχαστικής ανελίξης. Στον στοχαστικό έλεγχο οποιοδήποτε σήμα ή κατάσταση συμπεριφέρεται σαν μια στοχαστική ανελίξη επομένως και τα κοινωνικοοικονομικά ρίσκα θα πρέπει να επεκταθούν και να θεωρηθούν στοχαστικές ανελίξεις εφόσον αποτελούν τις μεταβλητές κατάστασης του ενεργειακού συστήματος. Με άλλα λόγια το ενεργειακό σύστημα από ντετερμινιστικό θα πρέπει να μετατραπεί σε στοχαστικό θεωρώντας όλα τα σήματά του στοχαστικές ανελίξεις. Μια βαθμωτή στοχαστική ανελίξη διακριτού χρόνου εκτεινόμενη σε n βήματα $x(1), x(2) \dots x(n)$ συμβολιζόμενη x παίρνει τιμές $x(k) \in \mathbb{R}$ για $k=1, 2, \dots, n$ με μια πιθανότητα που καθορίζεται από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p_x(x)$. Συνήθως είναι αναγκαίο να βρεθεί μια σχέση ανάμεσα σε μια συλλογή τυχαίων μεταβλητών. Μια απλή ειδική περίπτωση είναι να είναι πλήρως ασυσχέτιστες. Λέγεται ότι μια στοχαστική ανελίξη διακριτού χρόνου αποτελείται από n ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές x_1, x_2, \dots, x_n τότε και μόνο τότε εάν η σύνθετη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας έχει τη μορφή

$$p_x(x) = \prod_{k=1}^n p_{x_k}(x_k) \quad (4.27)$$

Η στοχαστική ανεξαρτησία είναι μια ακραία περίπτωση. Συνήθως, οι συνιστώσες μιας διανυσματικής τυχαίας μεταβλητής ή μιας βαθμωτής στοχαστικής ανελίξης διακριτού χρόνου είναι συσχετισμένες. Ένας τρόπος παράστασης της συσχέτισης αυτής είναι με τη βοήθεια της δεσμευμένης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας

$$p_{x_1|x_2}(x_1|x_2) = \frac{p_x(x)}{p_{x_2}(x_2)} \quad (4.28)$$

Όπου $x \in \mathbb{R}^n$, $x_1 \in \mathbb{R}^m$ και $x_2 \in \mathbb{R}^{n-m}$.

Τις περισσότερες φορές στην πράξη δεν χρησιμοποιείται απ' ευθείας η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αλλά η μέση τιμή ή αλλιώς αναμενόμενη τιμή. Η μέση ή αναμενόμενη τιμή μιας βαθμωτής τυχαίας μεταβλητής συμβολίζεται με $E[x]$ ή m , και ορίζεται

$$m = E[x] = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx \quad (4.29)$$

Αν εφαρμοστεί ο ορισμός αυτός στην k συνιστώσα μιας στοχαστικής ανέλιξης διακριτού χρόνου λαμβάνεται:

$$m(k) = E(x(k)) = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} x(k)p_x(x)dx_1 \dots dx_n \quad (4.30)$$

Όμως η μέση τιμή μόνη της δεν αρκεί για να μας δώσει αρκετά στοιχεία για την στοχαστική ανέλιξη. Μία άλλη σημαντική έννοια είναι αυτή της διακύμανσης. Η διακύμανση ή διασπορά των βαθμωτών τυχαίων μεταβλητών $x_k = x(k)$ και $x_l = x(l)$ συμβολίζεται με r_{kl} ορίζεται με τη σχέση

$$r_{kl} = E[(x_k - m(k))(x_l - m(l))] = \iint_{-\infty}^{\infty} (x_k - m(k))(x_l - m(l))p_{x_1x_2}(x_k, x_l)dx_k dx_l \quad (4.31)$$

Εφαρμόζοντας αυτή τη σχέση σε κάθε ζεύγος $x(k)$, $x(l)$ της βαθμωτής στοχαστικής ανέλιξης διακριτού χρόνου x , το αποτέλεσμα είναι η συλλογή n^2 στοιχείων r_{kl} . Για να δηλωθεί η χρονική εξάρτηση γράφεται:

$$r(k, l) = r_{kl}$$

Δύο βασικές ιδιότητες της συνάρτησης $r(k, l)$ που ονομάζεται συνάρτηση συνδιακύμανσης της στοχαστικής ανέλιξης x είναι

$$r(k, l) = r(l, k) \text{ για όλα τα } k, l$$

$$r(k, k) \geq 0 \text{ για όλα τα } x$$

Η συνάρτηση συνδιακύμανσης $r(k, l)$ γράφεται σε συμπαγή μορφή μήτρας

$$R = \begin{pmatrix} r(1,1) & \dots & r(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r(n,1) & \dots & r(n,n) \end{pmatrix} \quad (4.32)$$

Και ονομάζεται μήτρα διακύμανσης.

Μια ειδική κατηγορία στοχαστικής ανέλιξης είναι ο λευκός θόρυβος ο οποίος βοηθά στην μοντελοποίηση σφαλμάτων μετρήσεων και γενικά στον στοχαστικό έλεγχο. Ο λευκός θόρυβος

είναι μια βαθμωτή δευτεροβάθμια στοχαστική ανέλιξη διακριτού χρόνου $x_{(-\infty, +\infty)}$ τότε και μόνο τότε εάν [35]:

$$\begin{aligned} m(k) &= E(x_k) = 0 \text{ για όλα τα } k \\ r(k) &= E[x_{l+k}, x_l] = r\delta(k) \text{ για όλα τα } k, l \text{ με } r > 0 \end{aligned}$$

4.4.3 Το πολυμεταβλητό μοντέλο Gauss-Markov

Βάση της σχεδίασης βέλτιστων φίλτρων και στοχαστικών ελεγκτων αποτελεί το πολυμεταβλητό γραμμικό στοχαστικό μοντέλο. Παρέχει ένα πρώτο μοντέλο όσον αφορά τη μορφή των εξισώσεων των στοχαστικών ελεγκτων που στη συνέχεια θα καταλήξει στο φίλτρο Kalman. Το ενεργειακό μοντέλο θα χρειαστεί, αφού αποκτήσει στοχαστικό χαρακτήρα θεωρώντας όλα τα σήματα στοχαστικές ανελίξεις, να μετατραπεί στη μορφή του μοντέλου Gauss-Markov για να γίνει δυνατή η εφαρμογή του φίλτρου Kalman.

Έστω $\{w(k), k \in I\}$ μια p -διάστατη γκαουσιανή λευκή ακολουθία με γνωστή μέση τιμή

$$E[w(k)] = \bar{w}(k)$$

Και διακύμανση

$$E[(w(j) - \bar{w}(j))(w(k) - \bar{w}(k))^T] = Q(k)\delta_{jk} \quad (4.33)$$

Για $j, k = 0, 1, 2, \dots$ όπου δ_{jk} είναι το δέλτα του Kronecker και $Q(k)$ είναι μια θετική ημιορισμένη $p \times p$ μήτρα. Επί πλέον έστω $x(0)$ μια n -διάστατη διανυσματική γκαουσιανή τυχαία μεταβλητή με γνωστή μέση τιμή και διακύμανση

$$E[x(0)] = \bar{x}(0)$$

$$E[(x(0) - \bar{x}(0))(x(0) - \bar{x}(0))^T] = \Sigma(0) \quad (4.34)$$

Όπου $\Sigma(0)$ είναι μια θετική ημιορισμένη $n \times n$ μήτρα. Επίσης έστω ότι η στοχαστική ανέλιξη $\{w(k), k \in I\}$ είναι ανεξάρτητη του $x(0)$ έτσι ώστε

$$E[(x(0) - \bar{x}(0))(w(k) - \bar{w}(k))^T] = 0 \quad k \in I \quad (4.35)$$

Το μοντέλο Gauss-Markov διακριτού χρόνου είναι

$$x(k+1) = A(k)x(k) + \Gamma(k)w(k) \quad k \in I \quad (4.36)$$

Όπου $x \in \mathbb{R}^n$, $A(k) \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $w \in \mathbb{R}^p$, $\Gamma(k) \in \mathbb{R}^{n \times p}$.

Το μοντέλο μέτρησης έχει τη μορφή

$$y(k) = C(k)x(k) + v(k) \quad k \in I \quad (4.37)$$

Όπου $y \in \mathbb{R}^m$ είναι το μετρούμενο διάνυσμα, $C \in \mathbb{R}^{m \times n}$ είναι η μήτρα μέτρησης και $v(k) \in \mathbb{R}^n$ είναι το σφάλμα ή θόρυβος μέτρησης το οποίο υποθέεται ότι είναι μια γκαουσιανή λευκή ακολουθία με μέση τιμή

$$E[v(k)] = v(k)$$

Και διακύμανση

$$E[(v(j) - \bar{v}(j))(v(k) - \bar{v}(k))^T] = R(k)\delta_{jk} \quad (4.38)$$

Για $j, k = 0, 1, 2, \dots$ όπου δ_{jk} είναι το δέλτα του Kronecker και $R(k)$ είναι μια θετική ημιορισμένη $m \times m$ μήτρα. Υποθέτουμε επίσης ότι η ανάλυση $\{v(k), k \in I\}$ είναι ανεξάρτητη από την τυχαία μεταβλητή $x(0)$ για όλα τα k , δηλαδή ισχύει [35]:

$$E[(x(0) - \bar{x}(0))(v(k) - \bar{v}(k))^T] = 0 \quad \forall k \in I \quad (4.39)$$

4.4.4 Στοχαστικοί εκτιμητές και Φίλτρα Kalman

Εκτιμητής ονομάζεται κάθε μέθοδος, αλγόριθμος ή σύστημα που δίνει κάποια εκτίμηση μιας παραμέτρου ή σήματος. Για απλότητα θεωρείται εδώ η περίπτωση που η προς εκτίμηση παράμετρος είναι μια διανυσματική παράμετρος x . Οι ιδιότητες τις οποίες πρέπει να έχει κάθε εκτιμητής του x προκειμένου να είναι αποδεκτός έχουν ως εξής:

- Να μην είναι πολωμένος (unbiased)
- Να είναι συνεπής (consistent)
- Να είναι αποδοτικός (efficient)
- Να είναι ικανοποιητικός (sufficient)

1) Μη πολωμένος εκτιμητής

Έστω \hat{x} η εκτίμηση της διανυσματικής παραμέτρου που δίνει ο εκτιμητής με βάση τις μετρήσεις. Ο εκτιμητής ονομάζεται μη πολωμένος (απροκατάληπτος) εάν:

$$E[\hat{x}] = E[x] = \bar{x} \quad (4.40)$$

Διαφορετικά η ποσότητα:

$$\xi = E[\hat{x}] - \bar{x} \quad (4.41)$$

Ονομάζεται πόλωση

2) Συνεπής εκτιμητής

Ο εκτιμητής καλείται συνεπής εάν το \hat{x} συγκλίνει στην αληθινή τιμή x με βάση την πιθανότητα, δηλαδή

$$\lim Prob[\|\hat{x}_n - x\| \geq \varepsilon] = 0 \quad (4.42)$$

Για αυθαίρετα μικρό ε . Προφανώς ένας συνεπής εκτιμητής είναι ασυμπτωτικά απροκάλυπτος

3) Αποδοτικός εκτιμητής

Αποδοτικός εκτιμητής καλείται ο μη πολωμένος εκτιμητής που δίνει εκτίμηση \hat{x} με την ελάχιστη διακύμανση, ήτοι εάν

$$\sigma_x = E\{\|\hat{x} - x\|^2\} \leq E\{\|\hat{y} - x\|^2\} \quad (4.43)$$

Για οποιαδήποτε άλλη εκτίμηση \hat{y} του x .

4) Ικανοποιητικός εκτιμητής

Ένας εκτιμητής λέγεται ικανοποιητικός εάν η εκτίμηση \hat{x} που δίνει περιέχει όλη τη στατιστική πληροφορία, ως προς το x , η οποία περιέχεται στο δείγμα μετρήσεων Y^m . Εάν το Y^N είναι μια πεπερασμένη ακολουθία μετρήσεων για το x με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p(Y^N, x)$, τότε \hat{x} είναι η εκτίμηση του x . Κάθε άλλη εκτίμηση \hat{y} του x που βρίσκεται με βάση το \hat{x} δεν εξαρτάται στατιστικά από το \hat{x} γιατί όλη η διατιθέμενη στατιστική πληροφορία για το x περιλαμβάνεται στην εκτίμηση \hat{x} . Κάθε στατιστική η οποία σχετίζεται με έναν ικανοποιητικό εκτιμητή ονομάζεται ικανοποιητική στατιστική.

Οι εκτιμητές χρησιμοποιούνται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες που επιτάσσει το γενικό πρόβλημα εκτίμησης της κατάστασης ενός στοχαστικού συστήματος Gauss-Markov. Έστω ένα σύστημα Gauss-Markov διακριτού χρόνου και έστω ότι οι μετρήσεις που υπάρχουν στη διάθεσή μας είναι $y(1), y(2) \dots y(j)$ και ότι επιθυμείται η εκτίμηση της κατάστασης $x(k)$ $k \in I = \{k: k = 0, 1, 2, \dots, N\}$, η οποία δεν είναι άμεσα μετρήσιμη, με βάση κάποια κριτήρια βέλτιστης εκτίμησης. Η έννοια του βέλτιστου προσδιορίζεται και εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο κριτήριο, εκ των οποίων τα πιο διαδεδομένα είναι:

- Μεγιστοποίηση της πιθανότητας. Εδώ η παράμετρος /σήμα x είναι εκείνη η τιμή ή σήμα που μεγιστοποιεί τη μεταγενέστερη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $p(x|Y^N)$, όπου Y^N είναι το δείγμα των N μετρήσεων
- Ελαχιστοποίηση του συνολικού ή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Εδώ η βέλτιστη παράμετρος/σήμα προσδιορίζεται ελαχιστοποιώντας το κριτήριο του συνολικού ή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος
- Μεγιστοποίηση της συνάρτησης πιθανοφάνειας. Εδώ η προς μεγιστοποίηση συνάρτηση είναι η συνάρτηση πιθανοφάνειας

$$L(Y^N, x) = \ln(p(Y^N|x)) \quad (4.44)$$

των m μετρήσεων της παραμέτρου/σήματος x . Στην περίπτωση που τυχαίνουν ίσες προγενέστερες πιθανότητες, η μέθοδος αυτή οδηγεί στο ίδιο αποτέλεσμα με τη μέθοδο μεγιστοποίησης της μεταγενέστερης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα κριτήρια πλέον μπορεί να δοθεί μια απάντηση στο πρόβλημα της εκτίμησης της κατάστασης ενός στοχαστικού συστήματος Gauss-Markov το οποίο διακρίνεται σε τρεις περιπτώσεις:

- Εάν $k > j$ τότε έχουμε το πρόβλημα πρόβλεψης της κατάστασης (state prediction)
- Εάν $k = j$ τότε έχουμε το πρόβλημα του φιλτραρίσματος της κατάστασης (state filtering)
- Εάν $k < j$ τότε έχουμε το πρόβλημα της εξομάλυνσης (smoothing) ή παρεμβολής (interpolation) της κατάστασης

Η εύρεση των εξισώσεων που διέπουν την εκτίμηση της κατάστασης μπορεί να γίνει με βάση όλα τα κριτήρια βέλτιστης εκτίμησης και στην περίπτωση ενός συστήματος Gauss-Markov, ή γενικά μέχρι στατιστική δεύτερης τάξης, οδηγούν όλα στο ίδιο αποτέλεσμα. Ειδικά στην περίπτωση $k = j$ ο εκτιμητής κατάστασης που δίνει την παρούσα τιμή της κατάστασης με βάση τις μετρήσεις μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή είναι γνωστός ως φίλτρο Kalman-Bucy.

Η γενική επίλυση του προβλήματος της εκτίμησης δίνεται με το φίλτρο Kalman το οποίο με αρχικό σύστημα (Gauss-Markov)

$$x(k+1) = A(k)x(k) + \Gamma(k)w(k) \quad k \in I$$

$$y(k) = C(k)x(k) + v(k) \quad k \in I \quad (4.45)$$

Με διαθέσιμες μετρήσεις $\{y(1), y(2), \dots, y(k)\}$. Έστω $\hat{x}(k+1|k)$ και $\hat{x}(k+1|k+1)$ η εκτίμηση του $x(k+1)$ με μετρήσεις μέχρι το $y(k)$ και $y(k+1)$ αντίστοιχα. Τότε το διακριτού χρόνου φίλτρο Kalman περιγράφεται από τις αναδρομικές εξισώσεις:

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+1|k) &= A(k)\hat{x}(k|k) + K(k+1)[y(k+1) - C(k+1)A(k)\hat{x}(k|k)], \hat{x}(0|0) = 0 \\ K(k+1) &= \Sigma(k+1|k)C^T(k+1)[C(k+1)\Sigma(k+1|k)C^T(k+1) + R(k+1)]^{-1} \\ \Sigma(k+1|k+1) &= \Sigma(k+1|k) - K(k+1)C(k+1)\Sigma(k+1|k) \\ \Sigma(k+1|k) &= A(k)\Sigma(k|k)A^T(k) + \Gamma(k)Q(k)\Gamma^T(k), \Sigma(0|0) = \Sigma_0 \end{aligned} \quad (4.46)$$

Όπου :

$$\begin{aligned} \Sigma(k|k) &= E[\tilde{x}(k|k)\tilde{x}^T(k|k)] \\ \Sigma(k+1|k) &= E[\tilde{x}(k+1|k)\tilde{x}^T(k+1|k)], \tilde{x}(k+1|k) = x(k+1) - \hat{x}(k+1|k) \end{aligned} \quad (4.47)$$

Όμως για να έχει λύση το φίλτρο Kalman πρέπει να πληρούνται 3 προϋποθέσεις

- Σταθερές μήτρες A, Γ, C, Q, R και $S=0$
- Ζεύγος (A, Γ) σταθεροποιήσιμο
- Ζεύγος (A, C) ανιχνεύσιμο

Έτσι με τις παραπάνω προϋποθέσεις η αλγεβρική εξίσωση Riccati διακριτού χρόνου έχει μοναδική θετική ορισμένη συμμετρική λύση και το αντίστοιχο φίλτρο είναι ασυμπτωτικά ευσταθές [35].

Είναι φανερό ότι για να χρησιμοποιηθούν τα φίλτρα Kalman στο ενεργειακό μοντέλο είναι αναγκαίο η μορφή του συστήματος από την εξίσωση (4.9) ή (4.10) να καταλήξει στη μορφή των

εξισώσεων (4.46) και (4.47). Σύμφωνα με αυτές τις εξισώσεις εκτιμάται το διάνυσμα κατάστασης, δηλαδή τα τέσσερα κοινωνικοοικονομικά ρίσκα, χρησιμοποιώντας τη βέλτιστη εκτίμηση λάθους. Με άλλα λόγια αίρεται η αβεβαιότητα του αρχικού συστήματος το οποίο έχει μετατραπεί από ντετερμινιστικό σε στοχαστικό. Επίσης το φίλτρο Kalman παρέχει στο ενεργειακό σύστημα μια βέλτιστη πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών του διανύσματος κατάστασης, η οποία όμως είναι ακριβής για προβλέψεις σύντομης διάρκειας καθώς ακολουθεί τη συμπεριφορά του στοχαστικού συστήματος και όχι την τάση των μετρήσεων που αποτελεί τη βάση των μακροπρόθεσμων προβλέψεων. Τελικά τα αποτελέσματα του φίλτρου Kalman, που είναι η εκτίμηση της κατάστασης και η πρόβλεψη των μελλοντικών καταστάσεων, χρησιμοποιούνται αντί των ντετερμινιστικών τους ομολόγων στις εξισώσεις (4.25) και (4.26) για την παραγωγή του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου της χώρας και του συνολικού ρίσκου του αγωγού αντίστοιχα.

4.5 Ανάπτυξη συστήματος για τον υπολογισμό ρίσκου αγωγού

Ως τώρα χρησιμοποιήθηκαν τα ενδογενή χαρακτηριστικά του κάθε υποσυστήματος για να εξαχθεί ένας δείκτης ρίσκου χώρας. Το κάθε υποσύστημα-χώρα όμως ανήκει στην οντότητα αγωγός ενέργειας και είναι αναπόσπαστο κομμάτι της όπως έχουμε δει στη σχέση 4,10 που δίνει τη μορφή του συστήματος του αγωγού:

$$z(k + 1) = \bar{A}z(k)$$

$$y(k) = Cz(k) \quad (4.10)$$

Όπου $z = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ και $\bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & A_n \end{bmatrix}$ με n το συνολικό αριθμό χωρών που συμμετέχουν στον

αγωγό. Για να μπορέσει να υπολογιστεί το συνολικό επίπεδο ενεργειακού κινδύνου του αγωγού πρέπει να συνυπολογιστεί η συνεισφορά κάθε χώρας στο ρίσκο του αγωγού.

Η κάθε χώρα συμμετέχει ισόποσα στον αγωγό με την έννοια ότι κάθε χώρα μπορεί να γίνει αιτία διακοπής της ροής της ενέργειας. Οι κίνδυνοι της κάθε χώρας αφορούν ολόκληρο τον αγωγό και όχι κομμάτι του εφόσον μελετάμε τον αγωγό σαν μια οντότητα και όχι ως τμήματα ανταλλαγής καυσίμου μεταξύ δύο χωρών. Επομένως δεν μπορεί να υπάρξει μία στάθμιση για το ρίσκο της κάθε χώρας σε σχέση με τη θέση που έχει στον αγωγό (αν είναι χώρα παραγωγής, αν από την χώρα παραγωγής μεσολαβούν 2 χώρες κτλ). Η ερώτηση που τίθεται είναι: οι κίνδυνοι της κάθε χώρας έχουν τις ίδιες συνέπειες για τον αγωγό; Η απάντηση βρίσκεται στα επίπεδα συνεισφοράς της χώρας στον αγωγό και το αντίστροφο. Όταν μια χώρα εξαρτάται ολοκληρωτικά από έναν αγωγό ενέργειας η διακοπή λειτουργίας του έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο υποσύστημα της από μια χώρα η οποία έχει ελάχιστη εξάρτηση από τον αγωγό. Επομένως για να μπορέσει να εξαχθεί ένα συνολικό ρίσκο του αγωγού είναι αναγκαίο να «δούμε τον αγωγό

μέσα από τα μάτια» της κάθε χώρας που συμμετέχει. Αυτή είναι η σχέση υποσυστήματος με το σύστημα και μπορεί να μεταφραστεί ως το ποσοστό του φυσικού αερίου που εισάγεται στην κάθε χώρα σε σχέση με το συνολικό εισαγόμενο φυσικό αέριο, αν η χώρα είναι χώρα καταναλωτής, και αντίστοιχα αν η χώρα είναι χώρα παραγωγής. Τελικά ο δείκτης ενεργειακού ρίσκου του αγωγού είναι:

$$R_{cor} = \sum_{i=1}^n q_i R_{c_i} \quad (4.26)$$

Όπου q_i είναι το ποσοστό εισαγωγής ή εξαγωγής προς τη συνολική εισαγωγή ή εξαγωγή της χώρας και R_{c_i} το συνολικό ενεργειακό ρίσκο της χώρας.

4.6 Σύνοψη μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου στο ενεργειακό σύστημα παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 4.3 και αναλύεται περαιτέρω παρακάτω:



Εικόνα 4.3: Βήματα υπολογισμού συνολικού ρίσκου αγωγού

Βήμα 1: Συλλογή δεδομένων χρονοσειρών

Για να υπάρξει η δυνατότητα εξαγωγής διαφοροξίσωσης από τα δεδομένα πρέπει να υπάρχουν αρκετά δεδομένα διαφορετικών χρονικών στιγμών. Συγκεκριμένα χρειάζεται να υπάρχουν δεδομένα διαφορετικών χρονικών στιγμών όσα και η τάξη του διανύσματος κατάστασης συν ένα για ένα γραμμικό χρονικά αμετάβλητο σύστημα. Αυτό συμβαίνει γιατί αν η τάξη του διανύσματος κατάστασης είναι μεγαλύτερη από τον αριθμό χρονικών δειγμάτων τότε η λύση που δίνει την διαφοροξίσωση είναι παραμετρική και επομένως υπάρχουν άπειρες λύσεις. Από την άλλη αν είναι διαθέσιμα πλεονάζοντα στοιχεία και χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν τότε αναγκαστικά όσες παραπάνω εξισώσεις προκύπτουν από αυτά πρέπει να είναι γραμμικές εξαρτώμενες από τις υπόλοιπες καθώς σε διαφορετική περίπτωση δεν υπάρχει λύση.

Βήμα 2: Υπολογισμός μήτρας A

Αφού τα απαραίτητα δεδομένα είναι πλέον διαθέσιμα το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της μήτρας A. Η μήτρα A είναι πάντα διαστάσεων 4x4 αφού το διάνυσμα κατάστασης ανήκει στον R^4 και μπορεί να αναπαρασταθεί:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{123} & a_{24} \\ a_{31} & a_{23} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{24} & a_{134} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Είναι αναγκαίο να υπάρχουν δεδομένα 4+1=5 χρονικών στιγμών, εφόσον οι μεταβλητές κατάστασης είναι τέσσερις, έστω: $x[0], x[1], x[2], x[3], x[4]$. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (4.9) :

$$x(1) = Ax(0)$$

$$x(2) = Ax(1)$$

$$x(3) = Ax(2)$$

$$x(4) = Ax(3) \quad (4.17)$$

Θεωρώντας ως αγνώστους τα περιεχόμενα του πίνακα A οι εξισώσεις αυτές καταλήγουν σε τέσσερα συστήματα 4x4 εξισώσεων κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$x(1)_1 = a_{11}x(0)_1 + a_{12}x(0)_2 + a_{13}x(0)_3 + a_{14}x(0)_4$$

$$x(2)_1 = a_{11}x(1)_1 + a_{12}x(1)_2 + a_{13}x(1)_3 + a_{14}x(1)_4$$

$$x(3)_1 = a_{11}x(2)_1 + a_{12}x(2)_2 + a_{13}x(2)_3 + a_{14}x(2)_4$$

$$x(4)_1 = a_{11}x(3)_1 + a_{12}x(3)_2 + a_{13}x(3)_3 + a_{14}x(3)_4 \quad (4.18)$$

Παρόμοια συντάσσονται και οι υπόλοιπες εξισώσεις των μεταβλητών κατάστασης και κατά αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ο πίνακας A.

Βήμα 3: Υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων

Για να μελετηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος αναγκαίος είναι ο υπολογισμός των ιδιοτιμών του πίνακα A γιατί όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη ενότητα οι ιδιοτιμές είναι αυτές που καθορίζουν ένα σύστημα ή μια μεταβλητή του συστήματος αν συγκλίνει στο μηδέν ή σε μια τιμή ή αν αποκλίνει τελείως. Επομένως λύνουμε την εξίσωση

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (4.19)$$

Από την οποία προκύπτουν τέσσερις ιδιοτιμές που μπορεί να είναι όλες διαφορετικές ή να υπάρχει και πολλαπλότητα. Για κάθε ιδιοτιμή, απλή ή πολλαπλή, υπάρχει αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα το οποίο προκύπτει από:

$$(A - \lambda I)q = 0 \quad (4.20)$$

Για απλή ιδιοτιμή και για πολλαπλή, πολλαπλότητας n

$$(A - \lambda I)^n q = 0 \quad (4.21)$$

Και

$$(A - \lambda I)^{n-1} q \neq 0$$

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι πίνακες των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων

$$Q = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

Ο πίνακας Λ των ιδιοτιμών είναι ή σε διαγώνια μορφή ή σε μορφή Jordan αν οι ιδιοτιμές είναι πολλαπλές.

Βήμα 4: Μετατροπή μήτρας A σε γινόμενο ιδιοτιμών-ιδιοδιανυσμάτων

Για να μπορέσει να γίνει το επόμενο βήμα της στάθμισης πρέπει οι μεταβλητές κατάστασης να πάρουν τέτοια μορφή ώστε να είναι δυνατή η εξήγηση της ευστάθειας του καθενός. Για τον λόγο αυτό είναι προτιμότερο να αναλυθεί η μήτρα A στη μορφή:

$$A = Q\Lambda Q^{-1}$$

Και όπως είναι γνωστό από τις ιδιότητες των πινάκων

$$A^k = Q\Lambda^k Q^{-1}$$

Και επομένως κάθε μεταβλητή κατάσταση αποτελεί γραμμικό συνδυασμό των περιεχομένων της μήτρας ιδιοτιμών, δηλαδή του συνόλου $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$ και μπορεί να γραφεί:

$$\begin{aligned} x(k+1)_1 &= w_{11}(k)\lambda_1 + w_{12}(k)\lambda_2 + w_{13}(k)\lambda_3 + w_{14}(k)\lambda_4 \\ x(k+1)_2 &= w_{21}(k)\lambda_1 + w_{22}(k)\lambda_2 + w_{23}(k)\lambda_3 + w_{24}(k)\lambda_4 \\ x(k+1)_3 &= w_{31}(k)\lambda_1 + w_{32}(k)\lambda_2 + w_{33}(k)\lambda_3 + w_{34}(k)\lambda_4 \\ x(k+1)_4 &= w_{41}(k)\lambda_1 + w_{42}(k)\lambda_2 + w_{43}(k)\lambda_3 + w_{44}(k)\lambda_4 \end{aligned} \quad (4.23)$$

Ή

$$\begin{aligned} x(k)_1 &= w_{11}(0)\lambda_1^k + w_{12}(0)\lambda_2^k + w_{13}(0)\lambda_3^k + w_{14}(0)\lambda_4^k \\ x(k)_2 &= w_{21}(0)\lambda_1^k + w_{22}(0)\lambda_2^k + w_{23}(0)\lambda_3^k + w_{24}(0)\lambda_4^k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x(k)_3 &= w_{31}(0)\lambda_1^k + w_{32}(0)\lambda_2^k + w_{33}(0)\lambda_3^k + w_{34}(0)\lambda_4^k \\
 x(k)_4 &= w_{41}(0)\lambda_1^k + w_{42}(0)\lambda_2^k + w_{43}(0)\lambda_3^k + w_{44}(0)\lambda_4^k \quad (4.24)
 \end{aligned}$$

Βήμα 5: Στάθμιση παραγόντων ρίσκου

Ως τώρα αναλύεται το ενεργειακό σύστημα ποιοτικά και κυρίως σε επίπεδο χώρας. Σκοπός είναι να συνδυαστούν σε αρχικό στάδιο οι τέσσερις διαφορετικοί κίνδυνοι της κάθε χώρας και να παράγουν το συνολικό ρίσκο της και έπειτα να χρησιμοποιηθούν αυτά τα αποτελέσματα για τον υπολογισμό του συνολικού ρίσκου του αγωγού. Με άλλα λόγια σε πρώτη φάση πρέπει να σταθμιστούν οι κοινωνικοοικονομικοί κίνδυνοι με τρόπο που να είναι φυσικός και να λαμβάνει υπ' όψη ότι οι παράγοντες που εξετάζονται είναι παράγοντες κινδύνου.

Γενικά για μια μεταβλητή κατάσταση $x(k)_i$, η απόκλιση της εξαρτάται από τη μέγιστη ιδιοτιμή λ_j και από τον παράγοντά της w_{ij} ο οποίος είναι μη μηδενικός. Είναι φανερό ότι δεν μπορούν να υπάρξουν πιο κατάλληλοι σταθμιστές από την ιδιοτιμή και τον παράγοντά της, οπότε έχουμε τη σχέση ρίσκου της χώρας ως:

$$R_c = \sum_{i=1}^4 abs(x_i * (\max_j\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\} * w_{ij})) \quad w_{ij} \neq 0 \quad (4.25)$$

Βήμα 6: Εφαρμογή φίλτρου Kalman

Στην κατεύθυνση αντιμετώπισης της αβεβαιότητας εφαρμόζεται το φίλτρο Kalman πάνω στο σύστημα. Η διαδικασία εφαρμογής του φίλτρου εξηγήθηκε στην παράγραφο 4.5 όμως στην ουσία δεν κάνουν τίποτε άλλο από την αντικατάσταση των τιμών των μεταβλητών κατάστασης από ομαλοποιημένες τιμές. Οι νέες αυτές τιμές παράγονται μέσω ελαχιστοποίησης του λάθους μεταξύ προσδοκώμενου αποτελέσματος και παρατηρήσιμων τιμών των μεταβλητών κατάστασης. Επομένως χρειάζεται ο τύπος υπολογισμού του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου της χώρας να μεταβληθεί σύμφωνα με τα νέα επίπεδα ρίσκου, δηλαδή:

$$R_c(k) = \sum_{i=1}^4 abs(\hat{x}(k|k)_i * (\max_j\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\} * w_{ij})) \quad w_{ij} \neq 0 \quad 4.51$$

Βήμα 7: Υπολογισμός συνολικού ρίσκου συστήματος

Το κάθε υποσύστημα-χώρα όμως ανήκει στην οντότητα αγωγός ενέργειας και είναι αναπόσπαστο κομμάτι της. Για να μπορέσει να υπολογιστεί το συνολικό επίπεδο ενεργειακού κινδύνου του αγωγού πρέπει να συνυπολογιστεί η συνεισφορά κάθε χώρας στο ρίσκο του αγωγού. Τελικά ο δείκτης ενεργειακού ρίσκου του αγωγού είναι:

$$R_{cor} = \sum_{i=1}^n q_i R_{c_i} \quad (4.26)$$

Όπου q_i είναι το ποσοστό εισαγωγής ή εξαγωγής προς τη συνολική εισαγωγή ή εξαγωγή της χώρας και R_{c_i} το συνολικό ενεργειακό ρίσκο της χώρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

5.1 Ανασκόπηση μεθοδολογίας

Στο παρών κεφάλαιο θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια με σκοπό τον υπολογισμό του συνολικού ενεργειακού ρίσκου αγωγού φυσικού αερίου για κάθε ενεργειακή διαδρομή που ενδιαφέρει την χώρα της Ελλάδας. Με άλλα λόγια θα υπολογιστεί το κοινωνικοοικονομικό ρίσκο κάθε χώρας που εμπλέκεται στο ενεργειακό δίκτυο της Ελλάδας, δηλαδή των χωρών παραγωγής και των χωρών διαμετακόμισης όπως και της Ελλάδας, και έπειτα σύμφωνα με την μεθοδολογία θα παραχθεί το ρίσκο για κάθε αγωγό σύμφωνα με τις χώρες που περιλαμβάνει αυτός. Ο αγωγός South Stream δεν θα αποτελέσει μέρος της έρευνας καθώς είναι υπό κατασκευή, ωστόσο θα μπορούσε να μελετηθεί σύμφωνα με τη συστηματική προσέγγιση σε κάποια νέα εξειδικευμένη έρευνα.

Πίνακας 5.1: Δίκτυο εφοδιασμού φυσικού αερίου της Ελλάδας

Δίκτυο	Καθεστώς Λειτουργίας	Χώρα Παραγωγής	Χώρα Διαμετακόμισης 1	Χώρα Διαμετακόμισης 2	Χώρα Διαμετακόμισης 3	Προορισμός στην Ελλάδα
LNG	Σε Λειτουργία	Αλγερία	-	-	-	Ρεβουθούσα
Αγωγός TGI	Σε Λειτουργία	Αζερμπαϊτζάν	Γεωργία	Τουρκία	-	Κομοτηνή
Ρώσικος αγωγός	Σε Λειτουργία	Ρωσία	Ουκρανία	Ρουμανία	Βουλγαρία	Σιδηρόκαστρο
South Stream	Υπό Κατασκευή	Ρωσία	Βουλγαρία	-	-	Υπό Μελέτη

Όπως έχει γίνει κατανοητό και από το προηγούμενο κεφάλαιο, ο υπολογισμός του συνολικού ρίσκου αγωγού αποτελείται από επιμέρους στάδια και επιμέρους συστήματα, τα οποία έχουν ως εξής:

1. Υπολογισμός ρίσκου ανά κατηγορία κινδύνου

- Συλλογή Δεδομένων

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η συλλογή όλων των δεδομένων, από διαφορετικές πηγές, που θα χρησιμοποιηθούν με σκοπό τον υπολογισμό των δεικτών κινδύνου κάθε χώρας. Τα δεδομένα αυτά πρόκειται να αφορούν τους επιμέρους κινδύνους, σχετικούς με τον ενεργειακό της εφοδιασμό της κάθε χώρας, σε χρονικό ορίζοντα πενταετίας, , όπως ορίστηκαν στο κεφάλαιο 3. Κατά τη συλλογή των δεδομένων παρουσιάστηκαν προβλήματα προσβασιμότητας έχοντας ως αποτέλεσμα την ελλιπή συμπλήρωση ομάδων δεικτών. Προκειμένου να αποφευχθεί η απώλεια των δεικτών αυτών εφαρμόστηκε η μέθοδος της μέσης τιμής αφήνοντας το μέσο όρο των

δειγμάτων σταθερό και υπολογίζοντας τα ελλειπή στοιχεία σύμφωνα με τις τιμές που παρουσιάζει διαχρονικά ο δείκτης.

- Εφαρμογή της PCA

Η PCA θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή της τιμής ρίσκου της κάθε κατηγορίας κινδύνου. Πρώτα όμως οι τιμές που έχουν συλλεχθεί πρέπει να κανονικοποιηθούν όπως έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το αποτέλεσμα της PCA είναι ένας πίνακας δεδομένων που περιέχει το ρίσκο των τεσσάρων κατηγοριών κινδύνου για κάθε χώρα σε χρονικό ορίζοντα 5 ετών (2005 – 2009).

2. Δημιουργία συστήματος για τον υπολογισμό κοινωνικοοικονομικού ρίσκου χώρας

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της PCA δημιουργούνται χρονοσειρές από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν τα απαραίτητα συστήματα εξισώσεων για την συστηματοποίηση του ενεργειακού μοντέλου. Στο σημείο αυτό υπολογίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την στάθμιση των παραγόντων κινδύνου με στόχο την παραγωγή του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου της κάθε χώρας.

3. Εφαρμογή φίλτρου Kalman

Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman για την αντιμετώπιση αβεβαιότητας των συστημάτων των χωρών και για την πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων κινδύνου. Οι τιμές κινδύνου ομαλοποιούνται μέσω διαδικασιών που ελαχιστοποιούν το σφάλμα μεταξύ της παραγόμενης τιμής του συστήματος και της παρατηρούμενης τιμής. Οι νέες αυτές τιμές αντικαθιστούν τις υπάρχουσες και δίνουν τον τελικό τύπο υπολογισμού του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου χώρας.

4. Υπολογισμός συνολικού ρίσκου αγωγού

Στο τελικό αυτό στάδιο σταθμίζονται τα αποτελέσματα της κάθε χώρας σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναλύεται στο κεφάλαιο 4 και παράγεται το τελικό αποτέλεσμα, το ενεργειακό ρίσκο του κάθε αγωγού φυσικού αερίου.

5.2 Υπολογισμός ρίσκου ανά κατηγορία κινδύνου

5.2.1 Συλλογή δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, κατηγοριοποίηση των κινδύνων που σχετίζονται με τον ενεργειακό εφοδιασμό, απαρτίζεται από κοινωνικούς, πολιτικούς, οικονομικούς και ενεργειακούς παράγοντες κινδύνου. Οι δείκτες που περιγράφουν τους ενεργειακούς και τους οικονομικούς παράγοντες χαρακτηρίζονται από αυτοτέλεια, υπό την έννοια ότι οι οικονομικές και ενεργειακές μεταβλητές είναι ξεκάθαρες ως προς το περιεχόμενο τους. Το ίδιο δεν ισχύει, όμως, για τους κοινωνικούς και πολιτικούς παράγοντες κινδύνου. Σε αυτές τις κατηγορίες θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η επιλογή των δεικτών είναι σχετική, κυρίως εξαιτίας της φύσης καθεαυτής των δεικτών. Για παράδειγμα, η κατηγορία των κοινωνικών δεικτών περιλαμβάνει μεταβλητές, που αν τις εξέταζε κανείς μεμονωμένα, θα τις κατηγοριοποιούσε ως πολιτικές. Υπό το πλαίσιο, όμως, της συγκεκριμένης μελέτης, οι

μεταβλητές αυτές, ουσιαστικά, επηρεάζουν και διαμορφώνουν την κοινωνία, ενώ αν έχουν αρνητικό αντίκτυπο μπορούν να οδηγήσουν στη διάλυση της κοινωνικής συνοχής. Όσον αφορά στους πολιτικούς παράγοντες, περιλαμβάνονται μεταβλητές που απώτερος σκοπός είναι η αποσταθεροποίηση του πολιτικού συστήματος.

Επιλογή Κοινωνικών Δεικτών

1. Δικαιώματα συνεταιρισμού και οργάνωσης (Associational and Organizational Rights)

Η μεταβλητή αυτή αξιολογεί την ελευθερία της συνέλευσης, των επιδείξεων και της ανοικτής δημόσιας συζήτησης. Παράλληλα αξιολογείται η ελευθερία για των μη κυβερνητικών οργανώσεων και η ελευθερία των συνδικάτων, των οργανώσεων των αγροτών και άλλες επαγγελματικές και ιδιωτικών οργανώσεων. Οι χώρες βαθμολογούνται μεταξύ 0 (η χειρότερη) και 12 (η καλύτερη) [55].

2. Πολιτικές ελευθερίες (Civil Liberties)

Οι πολιτικές ελευθερίες αφορούν στην ελευθερία έκφρασης και πεποίθησης και στην ύπαρξη συνεταιριστικών και οργανωτικών δικαιωμάτων, κανόνων δικαίου και προσωπικής αυτονομίας χωρίς παρέμβαση από το κράτος. Παρόλα αυτά, ο κατάλογος των εξεταζόμενων δικαιωμάτων ποικίλλει κατά τη διάρκεια των ετών. Το έτος 2006 το Freedom House, μία διεθνής μη κυβερνητική οργάνωση που διεξάγει τις έρευνες για την δημοκρατία, την πολιτική ελευθερία και τα ανθρώπινα δικαιώματα, δημοσίευσε τα αποτελέσματα για κάθε υποκατηγορία ξεχωριστά. Οι χώρες βαθμολογούνται μεταξύ 1 (περισσότερες ελευθερίες) και 7 (λιγότερες ελευθερίες) [55].

3. Ελευθερία δημοκρατίας (Democracy freedom)

Ο δείκτης του Economist Intelligence Unit για τη μέτρηση της δημοκρατίας καλύπτει 167 ανεξάρτητες χώρες, δηλαδή σχεδόν ολόκληρο τον πληθυσμό της γης. Το πλεονέκτημα του δείκτη αυτού είναι ότι βαθμολογεί τις χώρες (σε μια κλίμακα απ το 0 έως το 10) και τις ταξινομεί αναλόγως, κατατάσσοντάς τις σε 4 κατηγορίες: τις πλήρως δημοκρατικές χώρες (full democracies) με βαθμολογία 8 - 10, τις ατελείς δημοκρατίες (flawed democracies) με βαθμολογία 6 - 7,9, τα υβριδικά καθεστώτα (hybrid regimes) με βαθμολογία 4 - 5,9 και τα απολυταρχικά καθεστώτα (authoritarian regimes) με βαθμολογία μικρότερη του 4. Τα κριτήρια αξιολόγησης της δημοκρατίας στηρίζονται στις εκτιμήσεις 60 δεικτών που ομαδοποιούνται σε πέντε επιμέρους κατηγορίες και συγκεκριμένα στην εκλογική διαδικασία που ακολουθούν οι χώρες και στην ύπαρξη πλουραλισμού σε αυτές, στο καθεστώς πολιτικών ελευθεριών που απολαμβάνουν οι πολίτες, στον τρόπο λειτουργίας της κυβέρνησης, στο βαθμό συμμετοχής στα πολιτικά ζητήματα, καθώς και στον πολιτικό πολιτισμό της κάθε χώρας. Ο συγκεκριμένος δείκτης είναι και αυτός που χρησιμοποιήθηκε, εξαιτίας της πληρότητας του [56].

4. Οικονομικές επιρροές στα Μέσα Ενημέρωσης (Economic Influences over Media Content)

Ο δείκτης ελευθερίας Τύπου (Press Freedom index) υπολογίζεται με την προσθήκη τεσσάρων συστατικών εκτιμήσεων:

- Νόμοι και κανονισμοί (Laws and regulations).
- Πολιτικές πιέσεις και έλεγχοι (Political pressures and controls).
- Οικονομικές επιρροές (Economic Influences).
- Κατασταλτικές ενέργειες (Repressive actions).

Η εκτίμηση που ενδιαφέρει είναι οι οικονομικές επιρροές, η οποία εξετάζει το οικονομικό περιβάλλον για τα μέσα. Αυτό περιλαμβάνει τη δομή της ιδιοκτησίας των μέσων, τη διαφάνεια και τη συγκέντρωση του κεφαλαίου, τις δαπάνες ίδρυσης των μέσων καθώς επίσης και τις δαπάνες παραγωγής και διανομής. Επιπλέον, αναφέρεται στην επιλεκτική παρακράτηση της διαφήμισης ή των επιχορηγήσεων από το κράτος ή άλλους φορείς, στον αντίκτυπο της διαφθοράς και της δωροδοκίας στο περιεχόμενο και στον βαθμό τον οποίο η οικονομική κατάσταση μιας χώρα έχει επίπτωση στην ανάπτυξη των μέσων. Το 1993-1995 η κλίμακα κυμαινόταν από 0-20, ενώ από το 1996 και μετά από 0-30. Το 0 δείχνει ότι η ενημέρωση είναι περισσότερο ελεύθερη [55].

5. Εκλογικές Διαδικασίες (Electoral Process)

Η μεταβλητή μετράει μέχρι ποιο σημείο οι εθνικοί νομοθετικοί αντιπρόσωποι και η εθνική κύρια αρχή εκλέγονται μέσω ελεύθερων και δίκαιων εκλογικών διαδικασιών. Οι χώρες βαθμολογούνται μεταξύ 0 (ακολουθούν λιγότερο δημοκρατικές διαδικασίες) και 12 (ακολουθούν περισσότερο δημοκρατικές διαδικασίες) [55].

6. Δείκτης Δικαιωμάτων Ενδυνάμωσης (Empowerment Rights Index)

Ο δείκτης αυτός είναι ένας πρόσθετος δείκτης που προκύπτει από την ελευθερία μετακίνησης των πολιτών από και προς τη χώρα τους (Foreign Movement), την ελευθερία πολιτών να ταξιδέψουν μέσα στη χώρα τους (Domestic Movement), την ελευθερία λόγου, την ελευθερία του συνέρχεσθαι και συνεταιρίζεσθαι (Freedom of Assembly & Association), τα δικαιώματα των εργαζομένων (Workers' Rights), την εκλογική αυτοδιάθεση (Electoral Self-Determination), και τους δείκτες θρησκευτικής ελευθερίας (Freedom of Religion). Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 (κανένας κυβερνητικός σεβασμός αυτών των επτά δικαιωμάτων) ως 14 (πλήρης κυβερνητικός σεβασμός των επτά δικαιωμάτων) [57].

7. Έλεγχος Διαφθοράς και Δωροδοκίας (Control of Corruption)

Η μεταβλητή αυτή μετράει την αντίληψη της διαφθοράς (perceptions of corruption), η οποία ορίζεται συμβατικά ως η άσκηση της δημόσιας δύναμης για ιδιωτικό κέρδος. Η έννοια της δωροδοκίας μετριέται από διάφορες πηγές και διαφέρει, κυμαινόμενη από τη συχνότητα των δωροδοκιών, τα αποτελέσματα της δωροδοκίας στο επιχειρησιακό περιβάλλον, τις «μεγάλες δωροδοκίες» στη πολιτική αρένα ή την τάση της ελίτ «να εμπλέκεται» σε κυβερνητικές διαδικασίες (state capture). Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από -2.5 έως 2.5, με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν σε καλύτερες διακυβερνητικά αποτελέσματα [58].

8. Περίοδος Υποχρεωτικής Εκπαίδευσης (Duration of compulsory education)

Πρόκειται για τον αριθμό ετών που ένα παιδί πρέπει νόμιμα να εγγράφεται στο σχολείο [59]. Το υψηλό υποχρεωτικό μορφωτικό επίπεδο συμβάλλει στην καταπολέμηση του κοινωνικού

αποκλεισμού και κατα συνέπεια η πιθανότητα εμφάνισης κοινωνικών συγκρούσεων είναι μικρότερη. Επομένως, όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης τόσο μικρότερος ο ενεργειακός κίνδυνος.

9. Ελευθερία του Συνέρχασθαι και Συνεταιρίζεσθαι (Freedom of Assembly and Association)

Είναι το διεθνώς αναγνωρισμένο δικαίωμα της συγκέντρωσης και του συνδικαλισμού σε πολιτικά κόμματα, συνδικάτα, πολιτιστικές οργανώσεις κ.τ.λ.. Η μεταβλητή δείχνει το βαθμό στον οποίο οι ελευθερίες αυτές υπόκεινται σε πραγματικούς κυβερνητικούς περιορισμούς (σε αντιδιαστολή με τις αυστηρά νομικές προστασίες). Όσον αφορά την βαθμολόγηση, το αποτέλεσμα 0 δείχνει ότι το δικαίωμα (των πολιτών) της ελευθερία της συνέλευσης ή του συνδικαλίζεσθαι είναι σοβαρά περιορισμένο ή αμφισβητήσιμο εντελώς σε όλους τους πολίτες. Το αποτέλεσμα 1 δείχνει ότι αυτό το δικαίωμα περιορίζεται για όλους τους πολίτες, ή περιορίζεται σοβαρά ή αφαιρείται σε επίλεκτες ομάδες. Το αποτέλεσμα 2 δείχνει ότι αυτό το δικαίωμα είναι ουσιαστικά απεριόριστο και ελεύθερο σχεδόν σε όλους τους πολίτες σε ένα δεδομένο έτος [57].

10. Ελευθερία Έκφρασης και Πίστης (Freedom of Expression and Belief)

Η μεταβλητή μετράει την ελευθερία και την ανεξαρτησία των μέσων και άλλων εκφράσεων πολιτισμού. Επίσης μετράει την ελευθερία των θρησκευτικών ομάδων να ασκήσουν την πίστη τους και να εκφραστούν, την ακαδημαϊκή ελευθερία και την ελευθερία από εκτενή πολιτική κατήχηση στο εκπαιδευτικό σύστημα και τη δυνατότητα των ανθρώπων να συμμετέχουν στις ιδιωτικές (πολιτικές) συζητήσεις χωρίς το φόβο της παρενόχλησης ή της σύλληψης από τις αρχές. Οι χώρες βαθμολογούνται μεταξύ 0 (λιγότερες ελευθερίες) και 16 (περισσότερες ελευθερίες) [55].

11. Δείκτης Ανθρώπινης Ανάπτυξης (Human Development Index - HDI)

Ο δείκτης ανθρώπινης ανάπτυξης είναι ένας σύνθετος δείκτης που μετρά τα μέσα επιτεύγματα μιας χώρας σε τρεις βασικές διαστάσεις της ανθρώπινης ανάπτυξης:

- Τη μακροχρόνια και υγιή ζωή, σύμφωνα με το προσδόκιμο επιβίωσης κατά τη γέννηση.
- Τη γνώση, μετρημένη σύμφωνα με το ποσοστό αναλφαβητισμού στους ενήλικες και το ποσοστό εγγραφής των παιδιών στην πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτογενή εκπαίδευση.
- Ένα αξιοπρεπές βιοτικό επίπεδο, όπως μετριέται από το κατά κεφαλήν ΑΕΠ (Ισοτιμία Αγοραστικής Δύναμης) σε δολάρια ΗΠΑ.

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται ως εξής: 0-0.499 για χαμηλό HDI, 0.500-0.799 για μέσο HDI, 0.800-0.899 για υψηλό HDI και 0.900-1.000 για πολύ υψηλό HDI. Οι χώρες που έχουν επιτύχει HDI ίσο με 0.9 ή υψηλότερο θεωρούνται αναπτυγμένες, και εκείνες που έχουν χαμηλότερο θεωρούνται αναπτυσσόμενες [60].

Πίνακας 5.2: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2005

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	8	10	10	10	6	7
civil liberties	5	5	2	3	2	2	2	5	3
democracy freedom	3.31	3.17	7.1	4.9	8.13	6.94	7.06	5.02	5.7
Economic influences over media content	72	64	35	56	28	59	47	68	48
Electoral Process	3	5	12	9	12	8	10	3	9
Empowerment rights index	3	2	5	8	3	4	5	3	8
Control of Corruption - Estimate	-1.03	-0.41	0.115	-0.33	0.469	-0.65	-0.16	-0.75	0.02
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	1	0	1	2	1	1	2	2	1
Freedom of Expression and Belief	7	8	14	11	15	13	13	8	12
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.448	2.503	1.936		1.791	2.15	1.682	2.903	2.272
Human Development Index	0.746	0.733	0.824	0.754	0.926	0.788	0.813	0.802	0.775

Πίνακας 5.3: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2006

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	8	10	10	10	6	7
civil liberties	5	5	2	3	2	2	2	5	3
democracy freedom	3.31	3.17	7.1	4.9	8.13	6.94	7.06	5.02	5.7
Economic influences over media content	73	61	34	57	28	53	44	72	48
Electoral Process	3	5	12	9	12	8	10	3	9
Empowerment rights index	2	7	5	6	7	5	6	4	8
Control of Corruption - Estimate	-0.97	-0.43	-0.02	-0.09	0.425	-0.62	-0.09	-0.78	0.051
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	1	1	1	2	1	0	2	2	1
Freedom of Expression and Belief	7	8	14	11	15	13	13	8	12
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.448	2.503	1.936		1.791	2.15	1.682	2.903	2.272
Human Development Index	0.773	0.749	0.835	0.768	0.938	0.789	0.832	0.811	0.802

Πίνακας 5.4: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2007

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	8	10	10	11	4	7
civil liberties	5	5	2	3	2	2	2	5	3
democracy freedom	3.19	3.32	7.02	4.62	8.13	6.94	7.06	4.48	5.69
Economic influences over media content	75	62	34	57	25	53	42	75	49
Electoral Process	3	4	12	9	12	9	11	3	9
Empowerment rights index	5	5	6	6	7	5	5	3	8
Control of Corruption - Estimate	-1	-0.4	-0.12	-0.16	0.319	-0.71	-0.1	-0.91	0.114
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	0	1	1	1	1	0	1	2	1
Freedom of Expression and Belief	7	7	14	12	15	13	14	8	12
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.448	2.503	1.936		1.791	2.15	1.682	2.903	2.272
Human Development Index	0.787	0.754	0.84	0.778	0.942	0.796	0.837	0.817	0.806

Πίνακας 5.5: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2008

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	7	11	10	11	4	7
civil liberties	5	5	2	4	2	2	2	5	3
democracy freedom	3.19	3.32	7.02	4.62	8.13	6.94	7.06	4.48	5.69
Economic influences over media content	22	17	11	18	5	20	15	24	11
Electoral Process	3	4	12	8	12	10	11	3	10
Empowerment rights index	3	3	10	10	6	7	7	2	3
Control of Corruption - Estimate	-1.03	-0.44	-0.2	-0.2	0.156	-0.73	-0.03	-1.02	0.094
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	0	0	1	2	0	1	1	0	0
Freedom of Expression and Belief	6	7	14	11	15	13	14	8	12
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.378	2.287	1.903		1.867	2.096	1.611	2.777	2.403
Human Development Index	0.746	0.733	0.824	0.754	0.926	0.788	0.813	0.802	0.775

Πίνακας 5.6: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2009

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	7	12	11	11	4	7
civil liberties	3	4	15	6	15	13	14	3	12
democracy freedom	3.15	3.44	6.84	4.59	7.92	6.3	6.6	4.26	5.73
Economic influences over media content	22	17	11	17	6	20	15	24	11
Electoral Process	2	4	12	6	12	10	12	2	10
Empowerment rights index	2	3	9	8	7	8	9	2	6
Control of Corruption - Estimate	-1.1	-0.49	-0.12	-0.23	0.119	-0.9	-0.13	-1.12	0.093
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	0	0	1	0	0	1	1	0	0
Freedom of Expression and Belief	6	7	14	11	14	13	14	8	11
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.212	2.327	1.775	2.736	1.778	2.01	1.591	2.75	2.389
Human Development Index	0.787	0.754	0.84	0.778	0.942	0.796	0.837	0.817	0.806

Πίνακας 5.7: Δείκτες κοινωνικού ρίσκου 2010

Δείκτες	Χώρες								
	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Associational and Organizational Rights	3	6	11	7	12	11	11	4	7
civil liberties	21	25	47	34	50	45	49	20	36
democracy freedom	3.15	3.44	6.84	4.59	7.92	6.3	6.6	4.26	5.73
Economic influences over media content	22	17	10	18	6	20	15	24	11
Electoral Process	2	4	12	6	12	10	12	1	10
Empowerment rights index	2	3	9	8	7	8	9	2	6
Control of Corruption - Estimate	-1.1	-0.49	-0.12	-0.23	0.119	-0.9	-0.13	-1.12	0.093
Duration of compulsory education	11	9	8	9	9	9	8	10	9
Freedom of assembly and association	6	7	14	11	14	13	14	6	11
Freedom of Expression and Belief	6	7	14	11	14	13	14	8	11
Nurses (density per 1000 population)	8.41	1.95	4.68	3.89	3.48	8.45	4.19	8.52	1.89
Global Peace Index (GPI)//Scale 1-5	2.367	2.277	1.785	2.97	1.887	2.115	1.749	3.013	2.42
Human Development Index	0.713	0.677	0.743	0.698	0.855	0.71	0.767	0.719	0.679

Επιλογή Πολιτικών Δεικτών

1. Μακροπρόθεσμη Αξιολόγηση κρατικού συναλλάγματος

Οι εκτιμήσεις κινδύνου μιας χώρας αποτελούν κύριο μέρος ανάλυσης που σχετίζονται με τις αξιολογήσεις της πιστοληπτικής της ικανότητας σε οποιοδήποτε χώρα ή ζήτημα. Το νόμισμα αποπληρωμής αποτελεί παράγοντα κλειδί σε αυτήν την ανάλυση. Η ικανότητα του υπόχρεου να αποπληρώσει υποχρεώσεις σε ξένο νόμισμα μπορεί να είναι χαμηλότερη από την ικανότητά του να αποπληρώσει τις υποχρεώσεις του σε τοπικό νόμισμα, λόγω αδυναμίας του Δημοσίου για εξόφληση του εξωτερικού χρέους έναντι του εσωτερικού του χρέους (sovereign risk) [61]. Η αξιολόγηση πιστοληπτικής ικανότητας συνοψίζεται κατωτέρω :

AAA: Η χώρα έχει εξαιρετικά ισχυρή ικανότητα στην εκπλήρωση των οικονομικών της υποχρεώσεων. (Υψηλότερη εκτίμηση).

AA: Η χώρα έχει πολύ ισχυρή ικανότητα στην εκπλήρωση των οικονομικών της υποχρεώσεων.

A: Η χώρα έχει ισχυρή ικανότητα στην εκπλήρωση των οικονομικών της υποχρεώσεων, αλλά είναι κάπως ευαίσθητη σε δυσμενείς οικονομικές καταστάσεις και τις αλλαγές.

BBB: Η χώρα έχει επαρκή ικανότητα στην εκπλήρωση των οικονομικών της δεσμεύσεων, αλλά είναι περισσότερο ευαίσθητη σε δυσμενείς οικονομικές καταστάσεις.

BBB-: Η χώρα έχει χαμηλότερο βαθμό επενδύσεων από άλλους φορείς δραστηριοποίησης στην αγορά.

BB+: Η χώρα έχει υψηλότερο βαθμό κερδοσκοπίας από τους συμμετέχοντες στην αγορά.

BB-: Η χώρα είναι λιγότερο τρωτή σε βραχυπρόθεσμες υποχρεώσεις αλλά αντιμετωπίζει σημαντικές τρέχουσες αβεβαιότητες υπό δυσμενείς επιχειρηματικές, χρηματοοικονομικές και οικονομικές καταστάσεις.

B: Η χώρα είναι περισσότερο τρωτή στις δυσμενείς επιχειρηματικές, χρηματοοικονομικές και οικονομικές καταστάσεις αλλά αυτήν την περίοδο έχει την ικανότητα να εκπληρώσει τις οικονομικές υποχρεώσεις.

CCC: Η χώρα είναι, αυτήν την περίοδο, ευάλωτη και εξαρτάται από τις ευνοϊκές επιχειρηματικές, χρηματοοικονομικές και οικονομικές συνθήκες για την εκπλήρωση των οικονομικών υποχρεώσεων.

CC: Η χώρα, αυτήν την περίοδο, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη.

C: Υψηλή πιθανότητα πτώχευσης ή αναστολής των επιχειρηματικών διαδικασιών.

D: Πτώχευση ή μόνιμη ανικανότητα να ικανοποιηθούν πιθανές πληρωμές.

Οι εκτιμήσεις από το AA μέχρι το CCC μπορούν να τροποποιηθούν με την προσθήκη ενός συν (+) ή μείον (-) για την ανάλογη παρουσίαση της σχετικής πιστοληπτικής ικανότητας των σημαντικότερων κατηγοριών [25-26].

2. Μέση τιμή ιδιοκτησίας των δημόσιων εθνικών εταιριών που περιλαμβάνονται στις 50 μεγαλύτερες εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου (Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies)

Για τον υπολογισμό της συγκεκριμένης μεταβλητής, αρχικά, έγινε αναζήτηση των εθνικών εταιριών πετρελαίου (national oil companies - NOCs) που ανήκουν στις 50 μεγαλύτερες εταιρίες πετρελαίου και φυσικού αερίου στον κόσμο [62]. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν για μελέτη όσες εταιρίες δεν ήταν ιδιωτικές και υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ποσοστών κρατικής ιδιοκτησίας των εταιριών αυτών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ύπαρξη εταιριών ελεγχόμενων από το κράτος συνεπάγεται αύξηση του ενεργειακού κινδύνου, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εταιριών που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αγορά.

3. Κλίμακα Πολιτικής Τρομοκρατίας (Political Terror Scale)

Ο δείκτης Political Terror Scale (PTS) μετρά τα επίπεδα πολιτικής βίας και τρομοκρατίας σε μια χώρα κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς σύμφωνα με μια «κλίμακα πολιτικής τρομοκρατίας» πέντε επιπέδων. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη σύνταξη αυτού του δείκτη προέρχονται από δύο διαφορετικές πηγές: τις ετήσιες εκθέσεις που υποβάλλει η Διεθνής Αμνηστία για κάθε χώρα και τις εκθέσεις που υποβάλλει το υπουργείο εξωτερικών των Η.Π.Α σχετικά με τις πρακτικές ανθρώπινων δικαιωμάτων. Τα πέντε επίπεδα PTS είναι:

v: Επέκταση του τρόμου σε ολόκληρο τον πληθυσμό. Οι ηγέτες αυτών των κοινωνιών δεν τοποθετούν κανένα όριο στα μέσα, τα οποία χρησιμοποιούν για την επίτευξη προσωπικών ή ιδεολογικών στόχων.

iv: Επέκταση των παραβιάσεων των ατομικών και πολιτικών δικαιωμάτων σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Οι δολοφονίες, οι εξαφανίσεις, και τα βασανιστήρια αποτελούν μέρος της ζωής του. Παρόλα αυτά, σε αυτό το επίπεδο, η τρομοκρατία έχει επιπτώσεις σε εκείνους που δραστηριοποιούνται στη πολιτική ή στη διάδοση ιδεών.

iii: Ύπαρξη εκτενής πολιτική φυλάκιση ή ύπαρξη πρόσφατα τέτοιο είδος φυλάκισης. Οι εκτελέσεις ή άλλες πολιτικές δολοφονίες και βιαιότητες μπορούν να είναι συνηθισμένα φαινόμενα. Η απεριόριστη κράτηση, με ή χωρίς δικαστικές διαδικασίες, λόγω πολιτικών πεποιθήσεων είναι αποδεκτή.

ii: Ύπαρξη ένας περιορισμένος αριθμός φυλακίσεων για μη βίαιη πολιτική δραστηριότητα. Εντούτοις, λίγα άτομα επηρεάζονται και τα βασανιστήρια και οι ξυλοδαρμοί αποτελούν ιδιάζουσες περιπτώσεις. Η πολιτική δολοφονία είναι σπάνια.

i: Ύπαρξη ένα ασφαλές κράτος δικαίου, όπου οι άνθρωποι δεν φυλακίζονται για την άποψή τους, και τα βασανιστήρια είναι σπάνια ή εφαρμόζονται σε ειδικές περιπτώσεις. Οι πολιτικές δολοφονίες είναι εξαιρετικά σπάνιες [63].

4. Πολιτική Σταθερότητα και Απουσία Βίας/Τρομοκρατίας (Political Stability & Absence of Violence/Terrorism)

Η μεταβλητή αυτή μετράει τις αντιλήψεις για την πιθανότητα μια κυβέρνηση να αποσταθεροποιηθεί ή να ανατραπεί με αντισυνταγματικά ή βίαια μέσα, συμπεριλαμβανομένων της κοινωνικής βίας και της τρομοκρατίας. Οι τιμές κυμαίνονται από -2.5 έως 2.5, με τις υψηλότερες τιμές που αντιστοιχούν στις καλύτερες εκβάσεις διακυβέρνησης [58].

5. Άθροισμα Ένοπλων Συγκρούσεων ανά χώρα (Sum of all armed conflicts by primary country)

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Δεδομένων Συγκρούσεων της Uppsala (Uppsala Conflict Data Program (UCDP)), η σύγκρουση [41] ορίζεται ως: «ένα ασύμβατο που προβληματίζει την κυβέρνηση ή/και την επικράτεια, όπου η χρήση οπλισμένης δύναμης μεταξύ δύο συμβαλλόμενων μερών, από τα οποία το ένα είναι η κυβέρνηση του κράτους, οδηγεί σε τουλάχιστον 25 θανάτους στο πεδίο μάχης.» [64].

6. Δείκτης Δωροδοκίας (Corruption Perceptions Index)

Ο Δείκτης Δωροδοκίας (Corruption Perceptions Index - CPI) [65] εστιάζει στη δωροδοκία στο δημόσιο τομέα και την καθορίζει ως την κατάχρηση της δημόσιας εξουσίας για ιδιωτικό κέρδος. Για τη σύνταξη του δείκτη υποβάλλονται ερωτήσεις σύμφωνα με την κακή χρήση της δημόσιας δύναμης για ιδιωτικό όφελος, εστιάζοντας, για παράδειγμα, στην δωροληψία στις δημόσιες συμβάσεις από τη δημόσια διοίκηση. Οι πηγές δεν αναφέρουν διάκριση μεταξύ γραφειοκρατικής και πολιτικής διαφθοράς. Τα αποτελέσματα του δείκτη αφορούν τις αντιλήψεις για το βαθμό δωροδοκίας σύμφωνα με τους επιχειρηματίες, τους αναλυτές κινδύνου και το ευρύ κοινό και κυμαίνονται μεταξύ 10 και 0. Μηδέν έχουν τα κράτη όπου το φαινόμενο της δωροδοκίας ανθεί [66].

7. Ευκολία Υλοποίησης Επενδύσεων (Ease of Doing Business Rank)

Ο δείκτης Ease of Doing Business προορίζεται να μετρήσει τους κανονισμούς που έχουν άμεσες επιπτώσεις στις επιχειρήσεις και δεν μετράει άμεσα γενικότερες καταστάσεις όπως είναι η εγγύτητα του κράτους στις μεγάλες αγορές, ο πληθωρισμός ή η εγκληματικότητα. Ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται στο μέσο όρο δέκα υποδεικτών, οι οποίοι είναι κανονισμοί που επηρεάζουν άμεσα τις επενδύσεις και που εξασφαλίζουν την προστασία δικαιωμάτων ιδιοκτησίας. Η ταξινόμηση των χωρών κυμαίνεται από 1 έως 183. Μια υψηλή ταξινόμηση του δείκτη σημαίνει ότι το ρυθμιστικό περιβάλλον είναι ευνοϊκό για τη λειτουργία μιας επιχείρησης και την πρώτη θέση καταλαμβάνει η χώρα με την καλύτερη οικονομία [67].

8. Ταξινόμηση κινδύνου των χωρών – μελών του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) βάσει του διακανονισμού για τις εξαγωγικές πιστώσεις που τυγχάνουν δημόσιας στήριξης (OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits)

Η μέθοδος ταξινόμησης μιας χώρας ανάλογα με τον κίνδυνο (Country Risk Classifications) μετρά τον πιστωτικό κίνδυνο των χωρών, δηλαδή την πιθανότητα μια χώρα να εξοφλήσει το εξωτερικό χρέος της και ταξινομεί τις χώρες σε οκτώ κατηγορίες κινδύνου (0 - 7). Το επτά συμβολίζει τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα [68].

9. Δείκτης Παγκόσμιας Ειρήνης (Global Peace Index - GPI)

Ο δείκτης παγκόσμιας ειρήνης αποτελείται από 24 δείκτες. Οι 24 δείκτες της ύπαρξης ή της απουσίας της ειρήνης κατατάσσονται σε τρεις κύριες θεματικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει πέντε δείκτες που έχουν σχέση με τις συγκρούσεις και την τάση για σύγκρουση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει δέκα δείκτες που αξιολογούν τα επίπεδα ασφάλειας σε μια κοινωνία (χώρα), εξετάζοντας από το επίπεδο δυσπιστίας σε άλλους πολίτες μέχρι το επίπεδο σεβασμού των ανθρωπίνων δικαιωμάτων και το ποσοστό ανθρωποκτονιών και βίαιων εγκλημάτων. Οι υπόλοιποι εννέα από τους δείκτες στο GPI συσχετίζονται το επίπεδο συγκέντρωσης στρατιωτικών δυνάμεων μιας χώρας - τονίζοντας ότι το επίπεδο στρατιωτικοποίησης και η πρόσβαση στα όπλα συνδέεται άμεσα με πώς αισθάνεται διεθνώς μια χώρα στην ειρήνη. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 1 έως 5 και όσο μικρότερος προκύπτει ο δείκτης τόσο πιο ειρηνική είναι η χώρα [65].

10. Συνολικός Αριθμός Τρομοκρατικών Επιθέσεων (Total number of terrorist attacks (1998-2009))

Οι πληροφορίες για τις τρομοκρατικές επιθέσεις που έχει δεχθεί κάθε χώρα βρέθηκαν στην ιστοσελίδα της Global Terrorism Database (GTD). Η GTD αποτελεί μία ανοιχτή βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες για τα τρομοκρατικά γεγονότα αν το κόσμο από το 1970 μέχρι το 2008. Επιπλέον, σε αντίθεση με άλλες βάσεις δεδομένων, περιλαμβάνει συστηματικές πληροφορίες τόσο για εθνικές όσο και για διεθνείς τρομοκρατικές επιθέσεις που έχουν λάβει χώρα κατά την εξεταζόμενη περίοδο [69].

Πίνακας 5.7: Πολιτικοί Δείκτες 2005

Χώρες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D			4	6	3	7	5	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	3	4	2.5	3	2	2.5	2.5	4	3.5
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	-1.29	-1.02	0.24	-0.63	0.557	-0.24	0.224	-0.89	-0.45
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	6	30	1	8	4	1	4	17	25
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	2.2	2.8	4	2.3	4.3	2.6	3	2.4	3.5
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	100	123	59	112	111	132	71	97	84
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	6	4	4	7	6	6	4	4	5
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	2.448	2.503	1.936		1.791	2.15	1.682	2.903	2.272
Total number of terrorist attacks 1998-Present	0	11	0	6	7	0	0	63	38

Πίνακας 5.8: Πολιτικοί Δείκτες 2006

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D			4	6	3	7	5	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	2	4	2.5	3	2.5	3	2.5	4	-0.53
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	-1.05	-1.05	0.463	-0.84	0.632	0.05	0.246	-0.73	
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	8	16	2	9	5	2	1	46	27
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	2.4	3.1	4	2.8	4.4	2.8	3.1	2.5	3.8
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	98	128	62	100	80	124	78	79	93
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	6	3	4	6	6	6	4	4	5
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	0.773	0.749	0.835	0.768	0.938	0.789	0.832	0.811	0.802
Total number of terrorist attacks 1998-Present	0	23	0	2	23	0	0	58	37

Πίνακας 5.9: Πολιτικοί Δείκτες 2007

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D			4	6	3	7	5	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	2.5	3.5	2.5	3	2.5	3	2.5	4	4
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	-0.71	-1.08	0.429	-0.62	0.533	0.176	0.261	-0.67	-0.74
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	10	17	4	9	6	2	7	47	30
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	2.1	3	4.1	3.4	4.6	2.7	3.7	2.3	4.1
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	99	116	54	37	109	128	49	96	91
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	5	3	3	6	6	5	3	3	5
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	2.448	2.503	1.936		1.791	2.15	1.682	2.903	2.272
Total number of terrorist attacks 1998-Present	1	22	0	0	16	1	0	52	35

Πίνακας 5.10: Πολιτικοί Δείκτες 2008

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D	6		4	8	3	8	6	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	2.5	3	2	3.5	2.5	3	3	4	3.5
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	-0.39	-1.01	0.431	-0.88	0.339	0.092	0.263	-0.61	-0.68
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	12	17	6	11	7	2	11	46	31
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	1.9	3.2	3.6	3.9	4.7	2.5	3.8	2.1	4.6
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	96	125	46	18	100	139	48	106	57
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	5	3	3	6	6	5	3	3	4
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	2.378	2.287	1.903		1.867	2.096	1.611	2.777	2.403
Total number of terrorist attacks 1998-Present	2	39	2	32	52	1	2	173	36

Πίνακας 5.11: Πολιτικοί Δείκτες 2009

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D	6		4	8	4	9	6	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3	2.5	4	3.5
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	-0.39	-1.2	0.471	-0.99	-0.06	-0.27	0.401	-0.72	-0.88
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	14	19	8	14	8	3	14	48	34
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	2.3	2.8	3.8	4.1	3.8	2.2	3.8	2.2	4.4
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	38	134	42	16	100	146	45	118	63
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	5	3	4	6	6	7	4	3	4
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	2.212	2.327	1.775	2.736	1.778	2.01	1.591	2.75	2.389
Total number of terrorist attacks 1998-Present	2	39	2	32	52	1	2	173	36

Πίνακας 5.12: Πολιτικοί Δείκτες 2010

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Ratings "Standard & Poors" (Long-term foreign currency sovereign rating)///Scale AAA-D	6		4	8	6	8	6	4	7
Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies///%	100	100	0	0	0	0	0	62.58	0
Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State)///Scale 1-5	2.4	2.9	3.6	3.8	3.5	2.4	3.7	2.1	4.4
Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)///Scale -2.5 a 2.5	38	136	44	11	109	142	55	120	73
Sum of all annual armed conflicts by primary country///Sum of all annual armed conflicts	5	3	4	6	6	7	4	4	4
Corruption Perceptions Index (CPI)///Scale 0-10	2.367	2.277	1.785	2.97	1.887	2.115	1.749	3.013	2.42
Ease of Doing Business Rank///Ranking 1-178	2	39	2	32	52	1	2	173	36
OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits ///Scale 0-7	2.5	2.5	2	2.5	2.5	3	2.5	4	3.5
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	-0.39	-1.2	0.471	-0.99	-0.06	-0.27	0.401	-0.72	-0.88
Total number of terrorist attacks 1998-Present	14	19	8	14	8	3	14	48	34

Επιλογή Οικονομικών Δεικτών

1. Μέσος ετήσιος πραγματικός ρυθμός ανάπτυξης του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (Annual average growth rates of real gross domestic product)

Το πραγματικό ποσοστό αύξησης του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος [59] δείχνει την αύξηση της αξίας όλων των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται μέσα σε ένα έθνος σε ένα συγκεκριμένο έτος – χωρίς να ληφθεί υπόψη η ισοτιμία αγοραστικής δύναμης, αλλά λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό.

2. Πληθυσμός (Population)

Αναφέρεται στο de facto πληθυσμό, ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους ανθρώπους μιας δεδομένης περιοχής, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, συμπεριλαμβανομένων των επισκεπτών αλλά αποκλείοντας τους κατοίκους, που είναι προσωρινά απόντες από τη χώρα [60].

3. Ρυθμός αύξησης Πληθυσμού (Population growth rate) – Αναμενόμενος ρυθμός αυξησης Πληθυσμού(Population growth rate forecast)

Αναφέρεται στο μέσο ετήσιο εκθετικό ρυθμό αύξησης του πληθυσμού κατά τη διάρκεια μια χρονικής περιόδου [60]. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί, ότι η ζήτησης της ενέργειας αυξάνεται αναλογικά με το ρυθμό αύξησης του πληθυσμού. Λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση αυτή, ένας υψηλός δείκτης έχει ως απόρροια την αυξητική τάση του ενεργειακού κινδύνου.

4. Κατανάλωση ενέργειας ανά ΑΕΠ (Total Primary Energy Consumption per Dollar of Gross Domestic Product)

Η κατανάλωση ενέργειας ανά ΑΕΠ [70] είναι το ποσό πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιείται ανά μονάδα εισοδήματος που παράγεται από την οικονομία μιας χώρας. Ως πηγές ενέργειας θεωρούνται ο άνθρακας και τα προϊόντα του, το πετρέλαιο και τα πετρελαιοειδή, το φυσικό αέριο, η πυρηνική ενέργεια, η υδροηλεκτρική κ.λ.π..

5. Εισαγωγές καυσίμων ως ποσοστό των συνολικών εισαγωγών (Fuels imports as percentage of total imports)

Ως καύσιμα θεωρούνται ο άνθρακας και τα προϊόντα του, το πετρέλαιο και τα πετρελαιοειδή και το φυσικό αέριο (υγροποιημένο ή μη). Για τον υπολογισμό του δείκτη, βρέθηκαν οι εισαγωγές σε καύσιμα [71] λαμβάνοντας υπόψη τους ανωτέρω κωδικούς και οι συνολικές εισαγωγές [72]. Εφόσον υπολογίστηκε το άθροισμα των εισαγωγών της κάθε χώρας σε καύσιμα, εκφράστηκε σαν ποσοστό επί τοις εκατό των συνολικών εισαγωγών.

6. Αριθμός διμερών εμπορικών σχέσεων με την Ε.Ε. (Number of bilateral trade agreements with EU)

Η Ε.Ε. είναι σταθερά δεσμευμένη στην προώθηση του ανοικτού και δίκαιου εμπορίου με όλους τους εμπορικούς εταίρους της. Εκτός από τις πολύπλευρες διαπραγματεύσεις του Οργανισμού Παγκόσμιου Εμπορίου (World Trade Organization - WTO), η Ε.Ε. συνάπτει διμερείς συμφωνίες και ελέγχει συγκεκριμένες πολιτικές εμπορικών συναλλαγών με τις Τρίτες χώρες και τις περιφερειακές περιοχές. Οι διμερείς συμφωνίες είναι συμφωνίες μεταξύ δύο πολιτικών οντοτήτων, κατά συνέπεια δεσμευτικές νομικά αυτά τα δύο μόνο. Οι σχέσεις διμερούς εμπορίου αφορούν τις τελωνειακές συμφωνίες, το ελεύθερο εμπόριο, τη σύζευξη, τη συνεργασία και την εταιρική σχέση των δύο μερών [73].

7. Ποσοστό εισαγωγής καυσίμων στην ΕΕ 27 (Percentage of imports to EU-27)

Ο δείκτης αναφέρεται στο ποσοστό εισαγωγής καυσίμων στην ΕΕ 27, από ένα κράτος μη μέλος ως προς τις συνολικές εισαγωγές της Ε.Ε. [52].

Πίνακας 5.13: Οικονομικοί Δείκτες 2005

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Annual average growth rates of real gross domestic product	26.4	5.5	5.5	9.3	3.7	2.6	4.1	6.4	7.4
Population	8453	32855	7739	4465	11064	46936	21635	143170	71169
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.59	1.22	-0.89	-0.35	0.19	-0.63	-0.12	-0.37	1.09
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Total Primary Energy Consumption per Dollar of Gross Domestic Product. Using Market Exchange Ra	0.69	1.431	0.919	0.151	1.435	6.323	1.697	30.06	3.733
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current	3	2		3		2		3	4
Percentage of imports to EU-27	0.2		0.45	0.02		0.7			

Πίνακας 5.14: Οικονομικοί Δείκτες 2006

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Annual average growth rates of real gross domestic product	34.5	2.9	6.1	9.4	4.3	7.1	7.7	6.7	6.1
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.66	1.22	-0.86	-0.34	0.18	-0.6	-0.12	-0.37	1.06
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Total Primary Energy Consumption per Dollar of Gross Domestic Product. Using Market Exchange Ra	0.699	1.536	0.897	0.136	1.487	5.871	1.678	30.386	3.907
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current	4	2		3		2		3	4
Percentage of imports to EU-27	0.4		0.49	0.03		0.7			

Πίνακας 5.15: Οικονομικοί Δείκτες 2007

Χώρες \ Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Annual average growth rates of real gross domestic product	23.4	4.5	6.2	12	4	7.7	6	8.1	4.5
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.688	1.216	-0.837	-0.329	0.163	-0.675	-0.127	-0.484	1.04
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current	4	3		3		2		3	4
Percentage of imports to EU-27	0.37					0.9			

Πίνακας 5.16: Οικονομικοί Δείκτες 2008

Χώρες \ Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Annual average growth rates of real gross domestic product	31	4.6	6.1	10	3.7	6.9	5.9	7.4	5.1
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.723	1.209	-0.813	-0.325	0.146	-0.651	-0.136	-0.474	1.013
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current	6	3		6		3		3	4
Percentage of imports to EU-27						0.9			

Πίνακας 5.17: Οικονομικοί Δείκτες 2009

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Annual average growth rates of real gross domestic product	11.6	3	6	2.4	2.8	2.1	7.6	6	1.5
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.76	1.2	-0.79	-0.33	0.13	-0.63	-0.15	-0.47	1.31
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current	7	3		7		3		3	4

Πίνακας 5.18: Οικονομικοί Δείκτες 2010

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Population_2005⇒2007	8934	35423	7497	4219	11183	45433	21190	140367	75705
Population growth rate (five years average)_ 2005-2010	0.76	1.2	-0.79	-0.33	0.13	-0.63	-0.15	-0.47	1.31
Population growth rate forecast	-0.07	0.36	-0.95	-0.84	-0.2	-0.67	-0.68	-0.51	0.2
Fuels imports as percentage of total imports [SITC rev.3 codes 321, 333, 343]	11.91	0.94	5.39	19.94	17.92	29.61	14.11	1.64	14.03
Number of bilateral trade agreements with EU_Current (09/08)	7	3		7		3		3	4

Επιλογή Ενεργειακών Δεικτών

1. Δείκτης συγκέντρωσης/διαφοροποίησης εισαγωγών φυσικού αερίου (Herfindahl-hirschman index of gas imports)

Ο δείκτης Herfindahl-hirschman (HHI) είναι δείκτης συγκέντρωσης/διαφοροποίησης και ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των μεριδίων της αγοράς του φυσικού αερίου που κατέχει κάθε προμηθευτής και δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$HHI = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

όπου n είναι ο αριθμός των χωρών από τις οποίες προμηθεύεται μια χώρα φυσικό αέριο και s_i είναι το ποσοστό των εισαγωγών από τη χώρα i σε σχέση με τις συνολικές εισαγωγές. Το άθροισμα όλων των s_i πρέπει να είναι ίσο με 1. Αν μία χώρα εισάγει φυσικό αέριο μόνο από ένα προμηθευτή, δηλαδή $s_i = 1$, τότε ο $HHI = 1$ και η συγκέντρωση είναι η μέγιστη. Αντίθετα, αν η χώρα έχει πολλούς μικρούς προμηθευτές τότε ο HHI τείνει στο μηδέν και υποδεικνύει τη μέγιστη διαφοροποίηση. Όσο η συγκέντρωση πλησιάσει τη μέγιστη τιμή τόσο μεγαλύτερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος [42]

Για τον υπολογισμό του δείκτη, βρέθηκαν οι εισαγωγές από τις χώρες – προμηθευτές κάθε χώρας και έπειτα εκφράστηκαν σε ποσοστό επί τοις εκατό.

2. Λόγος Αποθεμάτων προς Παραγωγή: πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας (Reserves/production ratio: oil, gas, coal)

Ο λόγος των αποθεμάτων προς την παραγωγή χρησιμοποιείται συχνά στη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας για να εκτιμηθεί ο αριθμός των ετών που θα διαρκέσουν τα αποθέματα μιας χώρας σε σχέση με το τρέχον ρυθμό παραγωγής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ετών, τόσο μικρότερος είναι ο ενεργειακός κίνδυνος [43]. Οι αντίστοιχοι δείκτες του πετρελαίου και του άνθρακα εξετάζονται για να δοθεί μια εκτίμηση του χρονικού περιθωρίου ασφαλείας, σε περίπτωση εξάντλησης των αποθεμάτων του φυσικού αερίου.

Πίνακας 5.19: Ενεργειακοί Δείκτες 2005

Χώρες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Δείκτες									
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	81.13	0	55.71	429.86	13.52	526.35	29.4
Reserves/production ratio: gas	237.1121	51.05645	25.997	1061.875	141.571	53.65854	50.64516	74.60218	6.735
Reserves/production ratio: oil	22219.14	6090.638	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	4034.292	8015.225	6614.777

Πίνακας 5.20: Ενεργειακοί Δείκτες 2006

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	78.89	0	60.65	422.35	12.1	506.64	27.95
Reserves/production ratio: gas	200.9566	53.32497	25.997	1061.875	141.571	53.04251	52.58751	72.70488	6.735
Reserves/production ratio: oil	15485.02	6124.485	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	4570.049	7521.619	6614.777

Πίνακας 5.21: Ενεργειακοί Δείκτες 2007

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	70.78	0	58.55	441	11.78	500.82	23.68
Reserves/production ratio: gas	126.4584	53.0963	25.997	1061.875	141.571	53.04251	54.4997	73.16325	6.735
Reserves/production ratio: oil	10701.25	6052.9	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	4836.89	7423.074	6614.777

Πίνακας 5.22: Ενεργειακοί Δείκτες 2008

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	69.54	0	60.27	426	11.75	477.81	21.75
Reserves/production ratio: gas	88.67836	52.48255	25.997	1061.875	141.571	51.77714	55.32589	71.9633	6.735
Reserves/production ratio: oil	8059.446	6121.967	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	4886.621	7511.979	6614.777

Πίνακας 5.23: Ενεργειακοί Δείκτες 2009

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	69.354	0	58.37613	567.9886	12.1495	485.9104	23.95037
Reserves/production ratio: gas	86.956	52.046	25.997	1061.875	141.571	52.075	5.516	65.388	6.735
Reserves/production ratio: oil	6916.996	6949.541	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	5405.405	7963.71	6614.777

Πίνακας 5.24: Ενεργειακοί Δείκτες 2010

Χώρες Δείκτες	Αζερμπαϊτζάν	Αλγερία	Βουλγαρία	Γεωργία	Ελλάδα	Ουκρανία	Ρουμανία	Ρωσία	Τουρκία
Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	1	0	1	0.78125	0.647987	1	1	0.33533	0.359118
Reserves/production ratio: coal	0	0	74	0	62	460	14	526.7	22
Reserves/production ratio: gas	88.75333	55.31403	25.997	1061.875	141.571	51.04789	57.9259	84.12421	6.735
Reserves/production ratio: oil	7650.575	6736.991	4468.275	35823.95	2044.572	4863.933	5181.865	7396.606	6614.777

5.2.2 Εφαρμογή της PCA

Εφαρμόζεται η ανάλυση κυρίων συνιστωσών με σκοπό την μείωση των παραγόντων ρίσκου σε τέσσερις δείκτες που ο καθένας αντικατοπτρίζει μια κατηγορία κινδύνου. Ωστόσο για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να διενεργηθεί κανονικοποίηση όλων των δεικτών ώστε να υπάρχει ομοιομορφία. Με αυτό τον τρόπο όλες οι μεταβλητές θα έχουν τιμές που θα κυμαίνονται στο διάστημα [0,1]. Σε περίπτωση που ο δείκτης με το τελικό αποτέλεσμα έχει θετική συσχέτιση , δηλαδή όσο αυξάνει ο δείκτης τόσο αυξάνει και το τελικό αποτέλεσμα του κινδύνου χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$x_{ik} = \frac{x_{ik} - \text{Min}(x_i)}{\text{Max}(x_i) - \text{Min}(x_i)}$$

και αντίθετα αν υπάρχει αρνητική συσχέτιση χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$x_{ik} = \frac{\text{Max}(x_i) - x_{ik}}{\text{Max}(x_i) - \text{Min}(x_i)}$$

Η συσχέτιση όλων των δεικτών δίνεται στη συνέχεια:

Πίνακας 5.25: Συσχέτιση Κοινωνικών και Πολιτικών Δεικτών

Κοινωνικοί Δείκτες	Συσχέτιση κινδύνου	Πολιτικοί Δείκτες	Συσχέτιση κινδύνου
Associational and Organizational Rights	-	Long-term foreign currency sovereign rating	-
civil liberties	+	Average state ownership in NOCs included in the 50 major oil & gas companies	+
democracy freedom	-	Corruption Perceptions Index (CPI)	-
Economic influences over media content	+	Ease of Doing Business Rank	+
Electoral Process	-	OCDE Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits	+
Empowerment rights index	-	Global Peace Index (GPI)	-
Control of Corruption - Estimate	-	Total number of terrorist attacks	+
Duration of compulsory education	-	Political Terror Scale (Average AI & US Dep.State	+
Freedom of assembly and association	-	Political Stability & Absence of Violence/Terrorism (Estimate)	-
Freedom of Expression and Belief	-	Sum of all annual armed conflicts by primary country	+

Nurses (density per 1000 population)	-		
Global Peace Index (GPI)///Scale 1-5	-		
Human Development Index	-		

Πίνακας 5.26: Συσχέτιση Οικονομικών και Ενεργειακών Δεικτών

Οικονομικοί Δείκτες	Συσχέτιση κινδύνου	Ενεργειακοί Δείκτες	Συσχέτιση κινδύνου
Annual average growth rates of real gross domestic product_2000-2005	+	Herfindahl-Hirschman Index of Energy Imports (SITC Rev 3 group 3)	+
Population	+	Reserves/production ratio: coal	-
Population growth rate	+	Reserves/production ratio: gas	-
Population growth rate forecast	+	Reserves/production ratio: oil	-
Total Primary Energy Consumption per Dollar of GDP	+		
Fuels imports as percentage of total imports	-		
Number of bilateral trade agreements with EU	-		
Percentage of imports to EU-27	-		

Η διαδικασία που ακολουθείται στη συνέχεια έχει αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 4. Αρχικά, υπολογίζεται ο $n \times n$ πίνακας συσχέτισης R των ομαλοποιημένων δεικτών. Έπειτα λύνεται η ντετερμινιστική εξίσωση:

$$|R - \lambda I| = 0 \quad (5.1)$$

Όπου λ είναι οι ιδιοτιμές του πίνακα R και ο μοναδιαίος πίνακας. I

Η σχέση 5.1 είναι μια πολυωνυμική εξίσωση n βαθμού ως προς λ , η οποία έχει $m \leq n$ ρίζες. Εφόσον γίνει κατάταξη των ιδιοτιμών λ_i σε φθίνουσα σειρά πλάτους, δηλαδή $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 \dots < \lambda_m$ λύνεται η παρακάτω εξίσωση πινάκων ως προς τα ιδιοδιανύσματα F_i , για κάθε τιμή

$$(R - \lambda I)F_i = 0$$

Επομένως προκύπτουν m ιδιοδιανύσματα για κάθε μία ιδιοτιμή.

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι παραπάνω υπολογισμοί, γίνονται με τη βοήθεια του προγράμματος XLSTAT [51], μια εφαρμογή λογισμικού, που παράλληλα με το Microsoft Excel παρέχει πολλά στατιστικά εργαλεία, ένα εκ των οποίων και η ανάλυση κυρίων συνιστωσών.

Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα m PCs σταθμίζοντας τους κανονικοποιημένους δείκτες με τα διοδιανύσματα σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$PC = (F^T * x^T)^T$$

Όπου PC είναι το διάνυσμα μεγέθους $(1 \times m)$ που δίνει την τιμή του για τη j PC για την k υπό εξέταση χώρα, F είναι το ιδιοδιάνυσμα μεγέθους $(n \times m)$ που δίνει την τιμή του F που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή λ_j για τον i υπό εξέταση δείκτη και x είναι ένα διάνυσμα μεγέθους $(1 \times n)$ που δίνει τον i τυποποιημένο δείκτη για την k χώρα.

Το πρώτο principal component (PC_1) αποτελεί τη μέγιστη διακύμανση των αρχικών δεικτών. Το (PC_2) αποτελεί τη μέγιστη απόκλιση της υπόλοιπης διακύμανσης, και ούτω καθεξής. Η μεγιστοποίηση των διακυμάνσεων βοηθάει στη μεγιστοποίηση των πληροφοριών που περιλαμβάνονται μεταξύ του συνόλου των δεικτών. Όλα τα είναι αμοιβαία ορθογώνια.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι $\lambda_j = var(PC_j)$ και κατά αυτό τον τρόπο το άθροισμα των ιδιοτιμών ισούται με την συνολική απόκλιση του τελικού δείκτη. Επομένως, το κλάσμα $\frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}$ είναι ίσο με το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που αντιστοιχεί σε κάθε PC_j .

Έτσι τελικά ο κίνδυνος που αντικατοπτρίζει την κάθε κατηγορία ορίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των PC, όπου βάρη θεωρούνται οι διακυμάνσεις των διαδοχικών PC:

$$R_k = \frac{\sum_{j=1}^m \lambda_j * PC_{jk}}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}$$

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα νέα δεδομένα μετά την εφαρμογή της PCA

Πίνακας 5.27: Αποτελέσματα PCA

Αζερμπαϊτζάν	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	2.8164	2.2572	1.2551	1.4899
2006	2.8164	2.1803	1.2551	1.4899
2007	2.8712	1.519	1.4439	1.241
2008	2.8599	0.7769	1.5275	1.116
2009	2.4417	1.4364	1.7371	1.9405
2010	2.4585	1.3379	1.4848	0.8178
Αλγερία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	2.2171	2.3754	2.0612	2.3821
2006	2.2171	2.8157	2.0612	2.3821
2007	2.296	1.8307	2.0946	-1.346
2008	2.3296	1.369	2.1043	2.6079
2009	1.9665	2.5682	2.057	2.1778
2010	1.8216	1.975	2.0776	1.8805
Βουλγαρία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	0.1954	0.1039	1.5838	0.8649
2006	0.1954	0.7618	1.5838	0.8649
2007	0.3145	-0.0429	1.6182	0.0281
2008	0.0382	0.2852	1.6171	1.1011
2009	-0.3993	0.3249	1.798	1.0833
2010	-0.3218	0.4112	1.5705	0.9703
Γεωργία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	0.9826	1.4627	0.3134	0.6888
2006	0.9826	1.4464	0.3134	0.6888
2007	1.4219	-0.7259	0.3377	-0.1129
2008	0.4354	1.1006	0.3383	0.4076
2009	1.3235	0.5862	0.4021	0.4982
2010	1.0926	0.214	0.31	0.3194
Ελλάδα	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	-0.2328	0.4321	1.7361	1.1782
2006	-0.2328	0.7121	1.7361	1.1782
2007	-0.0876	0.2215	1.768	-0.6897
2008	0.1497	0.6449	1.7694	1.3372
2009	-0.3484	0.7323	1.8761	1.0946
2010	-0.6218	0.4793	1.7363	0.8906
Ουκρανία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	0.917	1.3998	1.4177	0.2972
2006	0.917	1.1177	1.4177	0.2972

2007	1.026	0.7113	1.4211	0.3086
2008	0.6985	0.3452	1.4206	0.8166
2009	0.2302	0.8357	1.4728	0.3752
2010	0.4007	0.5182	1.405	0.8034
Ρουμανία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	0.4114	0.4454	1.5894	0.9601
2006	0.4114	0.987	1.5894	0.9601
2007	0.4556	-0.1036	1.6167	-0.339
2008	0.1754	0.6138	1.6144	1.1353
2009	-0.3409	0.1895	1.8261	1.2207
2010	-0.3036	0.3752	1.5541	0.9271
Ρωσία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	2.3486	2.1862	1.6458	1.3767
2006	2.3486	2.7401	1.6458	1.3767
2007	2.5574	2.1713	1.6549	-0.2887
2008	2.685	2.659	1.6626	1.7533
2009	2.2683	2.5277	1.6361	1.5347
2010	2.3849	2.5022	1.6689	2.1919
Τουρκία	Κοινωνικός	Πολιτικός	Ενεργειακός	Οικονομικός
2005	1.0285	1.3205	1.8932	1.7356
2006	1.0285	0.8068	1.8932	1.7356
2007	1.0073	0.8391	1.9263	-1.4209
2008	1.3098	1.3863	1.9336	1.875
2009	0.7886	0.8415	1.979	1.6209
2010	0.7097	0.8015	1.9099	1.6297

Οι τέσσερις αυτοί παράγοντες θα αποτελέσουν τις μεταβλητές του συστήματος που θα αναλυθεί και οι τιμές τους την πηγή παραγωγής των εξισώσεων αυτού του συστήματος. Επίσης σαν τιμές από μόνες τους δείχνουν το επίπεδο της εκάστοτε κατηγορίας κινδύνου, δηλαδή όσο πιο μακριά βρίσκεται μια τιμή της μεταβλητής από το μηδέν τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος για αυτή τη μεταβλητή. Οι αρνητικές τιμές, αν και με τον τρόπο αυτό εκφράζουν κίνδυνο, δεν θα μετατραπούν στην απόλυτή τιμή τους καθώς έτσι θα αλλοιώνονταν η μορφολογία του συστήματος.

5.3 Δημιουργία συστήματος και εφαρμογή φίλτρου Kalman για τον υπολογισμό ρίσκου χώρας

5.3.1 Δημιουργία συστήματος για κάθε χώρα

Μετά τη μείωση των μεταβλητών σε τέσσερις παράγοντες κινδύνου σειρά έχει η διάσπαση του προβλήματος ανά χώρα και η συστηματοποίηση του μοντέλου καθώς και η ανάλυσή του. Όπως έχει αναλυθεί και στο κεφάλαιο 4 πρώτα πρέπει να βρεθεί η μήτρα A του συστήματος της κάθε χώρας το οποίο είναι της μορφής:

$$x(k+1) = Ax(k)$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (5.2)$$

$$\text{Όπου } C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ και } x = \begin{pmatrix} R_s \\ R_p \\ R_e \\ R_{ec} \end{pmatrix}$$

Η μήτρα A αποτελείται από 16 στοιχεία εφόσον είναι ένας πίνακας $n \times n$, όπου το n ισούται με το συνολικό αριθμό των μεταβλητών κατάστασης που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τέσσερις και απεικονίζεται:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{123} & a_{24} \\ a_{31} & a_{23} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{24} & a_{134} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Και επομένως χρειάζεται ένα σύστημα 16×16 εξισώσεων για την επίλυσή του. Σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν ισχύει:

$$x(2006) = Ax(2005)$$

$$x(2007) = Ax(2006)$$

$$x(2008) = Ax(2007)$$

$$x(2009) = Ax(2008)$$

Και αυτό αποτελεί ένα κατάλληλο σύστημα εξισώσεων.

Εφόσον υπολογιστεί η μήτρα A για κάθε χώρα σειρά έχει η ανάλυση του συστήματος και αυτό σημαίνει υπολογισμός των ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, δηλαδή:

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (5.4)$$

Από την οποία προκύπτουν τέσσερις ιδιοτιμές που μπορεί να είναι όλες διαφορετικές ή να υπάρχει και πολλαπλότητα. Για κάθε ιδιοτιμή, απλή ή πολλαπλή, υπάρχει αντίστοιχο ιδιοδιάνυσμα το οποίο προκύπτει από:

$$(A - \lambda I)q = 0$$

Για απλή ιδιοτιμή και για πολλαπλή, πολλαπλότητας n

$$(A - \lambda I)^n q = 0$$

Και

$$(A - \lambda I)^{n-1} q \neq 0 \quad (5.5)$$

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι πίνακες των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων

$$Q = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]$$

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Ο πίνακας Λ των ιδιοτιμών είναι είτε σε διαγώνια μορφή είτε σε μορφή Jordan αν οι ιδιοτιμές είναι πολλαπλές.

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αναλυθεί ο πίνακας A σε γινόμενο των πινάκων Λ και Q :

$$A = Q\Lambda Q^{-1} \quad (5.7)$$

Η οποία μορφή έχει το πλεονέκτημα της ιδιότητας

$$A^k = Q\Lambda^k Q^{-1} \quad (5.8)$$

5.3.2 Εφαρμογή φίλτρου Kalman

Σε αυτό το σημείο εφαρμόζεται το φίλτρο Kalman διακριτού χρόνου για να αντιμετωπισθεί η αβεβαιότητα των δεδομένων. Είναι μόνο λογικό ο υπολογισμός του ρίσκου να γίνει με τα φιλτραρισμένα δεδομένα. Επίσης το φίλτρο θα χρησιμοποιηθεί και σαν προβλέπτης, μικρής όμως διάρκειας για όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα. Τα συστήματα εξισώσεων που περιγράφουν το φίλτρο Kalman διακριτού χρόνου είναι:

$$x(k+1) = Ax(k) + \Gamma w(k)$$

$$y(k) = Cx(k) + v(k) \quad (5.9)$$

Με διαθέσιμες μετρήσεις $\{y(1), y(2) \dots y(k)\}$. Έστω $\hat{x}(k+1|k)$ και $\hat{x}(k+1|k+1)$ η εκτίμηση του

$x(k+1)$ με μετρήσεις μέχρι το $y(k)$ και $y(k+1)$ αντίστοιχα. Τότε το διακριτού χρόνου φίλτρο Kalman περιγράφεται από τις αναδρομικές εξισώσεις:

$$\begin{aligned}\hat{x}(k+1|k) &= A(k)\hat{x}(k|k) + K(k+1)[y(k+1) - C(k+1)A(k)\hat{x}(k|k)], \hat{x}(0|0) = 0 \\ K(k+1) &= \Sigma(k+1|k)C^T(k+1)[C(k+1)\Sigma(k+1|k)C^T(k+1) + R(k+1)]^{-1} \\ \Sigma(k+1|k+1) &= \Sigma(k+1|k) - K(k+1)C(k+1)\Sigma(k+1|k) \\ \Sigma(k+1|k) &= A(k)\Sigma(k|k)A^T(k) + \Gamma(k)Q(k)\Gamma^T(k), \Sigma(0|0) = \Sigma_0\end{aligned}\quad (5.10)$$

Όπου :

$$\begin{aligned}\Sigma(k|k) &= E[\tilde{x}(k|k)\tilde{x}^T(k|k)] \\ \Sigma(k+1|k) &= E[\tilde{x}(k+1|k)\tilde{x}^T(k+1|k)], \tilde{x}(k+1|k) = x(k+1) - \hat{x}(k+1|k)\end{aligned}$$

Τα σήματα θορύβου $w(k)$ και $v(k)$ θεωρούνται ακολουθίες λευκού θορύβου με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία μήτρα διακύμανσης. Θέτοντας μηδενική μέση τιμή, εξ' ορισμού, ο στοχαστικός ελεγκτής αποφεύγει την πόλωση. Η μήτρα διακύμανσης επιλέγεται μοναδιαία γιατί είναι η πιο ασφαλής επιλογή καθώς δεν έχουμε κανένα στοιχείο για τις διαταράξεις του συστήματος και επίσης είναι η πιο διαδεδομένη επιλογή. Βέβαια μπορούν να τεθούν διαφορετικά νούμερα στις μήτρες διακύμανσης αν υπάρχει κάποια γνώση επιπλέον για τον θόρυβο που υπεισέρχεται στη συγκεκριμένη μεταβλητή του συστήματος. Επίσης κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να μεταβάλλεται, με κάποιους περιορισμούς που βρίσκονται στη φύση του κάθε προβλήματος, και η διακύμανση του σφάλματος $x(0)$ δηλαδή το Σ_0 . Τέλος εφόσον ο θόρυβος επηρεάζει εξίσου και τις τέσσερις μεταβλητές κατάστασης του συστήματος το διάνυσμα είναι

$$\Gamma(k) = \Gamma = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5.11)$$

Όπως έχει αναφερθεί το πρόβλημα της εκτίμησης της κατάστασης συνίσταται από τα εξής:

- Εάν $k > j$ τότε αντιμετωπίζεται το πρόβλημα πρόβλεψης της κατάστασης (state prediction),
- Εάν $k = j$ τότε αντιμετωπίζεται το πρόβλημα του φιλτραρίσματος της κατάστασης (state filtering),
- Εάν $k < j$ τότε αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της εξομάλυνσης (smoothing) ή παρεμβολής (interpolation) της κατάστασης.

Το πρόβλημα του φιλτραρίσματος της κατάστασης αντιμετωπίζεται ακριβώς από το φίλτρο Kalman διακριτού χρόνου με προφανείς αρχικές συνθήκες $\Sigma(0|0) = \Sigma_0$ και $\hat{x}(0|0) = 0$ (το οποίο παράγεται άμεσα από τον αναδρομικό εκτιμητή).

Το πρόβλημα πρόβλεψης στο διακριτό χρόνο συνίσταται στην εύρεση του αλγόριθμου που θα δίνει μια βέλτιστη εκτίμηση $\hat{x}(k|j), k > j, j = 0, 1, 2, \dots$ της κατάστασης $x(k)$ με βάση διαθέσιμες μετρήσεις μέχρι τη χρονική στιγμή j . Η λύση αυτή παρουσιάζεται στο θεώρημα:

Εάν η βέλτιστη φιλτραρισμένη εκτίμηση Kalman $\hat{x}(j|j)$ και η μήτρα διακύμανσης $\Sigma(j|j)$ του αντίστοιχου σφάλματος εκτίμησης $\tilde{x}(k|k) = x(k|k) - \hat{x}(k|k)$ είναι γνωστές για κάποιο $j = 0, 1, 2, \dots$ τότε για όλα τα $k > j$ ισχύει:

- Η βέλτιστη προβλεπόμενη εκτίμηση $\hat{x}(k|j)$ $k > j$ δίνεται από την έκφραση

$$\hat{x}(k|j) = A(k)A(k-1) \dots A(j+1)A(j)\hat{x}(j|j) \quad (5.12)$$

Και λόγω του γεγονότος $A = \text{σταθερό}$

$$\hat{x}(k|j) = A^{k-j}\hat{x}(j|j)$$

- Η στοχαστική ανέλιξη $\{\tilde{x}(k|j), k = j+1, j+2, \dots\}$ η οποία ορίζεται από το σφάλμα πρόβλεψης $\tilde{x}(k|j) = x(k) - \hat{x}(k|j)$ είναι μια ανέλιξη Gauss-Markov με μέση τιμή μηδέν και μήτρα διακύμανσης που διέπεται από την εξίσωση

$$\Sigma(k|j) = \tilde{A}(k, k-1)\Sigma(k-1|j)\tilde{A}(k, k-1)^T + \Gamma(k-1)Q(k-1)\Gamma(k-1)^T$$

Όπου $\tilde{A}(k, j) = A(k)A(k-1) \dots A(j+1)A(j)$ και $k=j+1, j+2, \dots$, δηλαδή $\tilde{A}(k, j) = A^{k-j}$

Το πρόβλημα της εξομάλυνσης είναι αρκετά δύσκολο να επιλυθεί και σχετικά επουσιώδες όσον αφορά τη διαδικασία παραγωγής φόρμουλας μοντελοποίησης και υπολογισμού του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου.

Για τον υπολογισμό όλων αυτών των πολύπλοκων διαδικασιών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab, για το οποίο αναπτύχθηκε κώδικας που διαχειρίζεται όλα τα δεδομένα και είναι διαθέσιμος στο παράρτημα.

Το τελικό στάδιο αυτής της ενότητας είναι ο υπολογισμός του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου της κάθε χώρας. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο τέσσερα ο τύπος για τον υπολογισμό του κινδύνου είναι:

$$R_c = \sum_{i=1}^4 \text{abs}(x_i * (\max_j\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\} * w_{ij})) \quad w_{ij} \neq 0$$

Όμως το x_i αντικαθίσταται από το αντίστοιχο φιλτραρισμένο διάνυσμα κατάστασης $\hat{x}(j|j)$ όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως. Έτσι ο τύπος παίρνει την εξής μορφή:

$$R_c(k) = \sum_{i=1}^4 \text{abs}(\hat{x}(k|k)_i * (\max_j\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\} * w_{ij})) \quad w_{ij} \neq 0 \quad (5.13)$$

5.3.3 Αποτελέσματα

Κατά τον τρόπο που παρουσιάστηκε προηγουμένως υπολογίστηκαν τα στοιχεία για την κάθε χώρα και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά τους ως εξής:

Αζερμπαϊζάν

Το σύστημα έχει για μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} 0.1049 & 0.9485 & 1.7443 & -1.1286 \\ 2.9141 & -2.6018 & -7.0068 & 5.2210 \\ 0.8091 & -0.4690 & -0.6011 & 0.6324 \\ 2.8332 & -2.2892 & -5.2349 & 3.2372 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$A = \begin{bmatrix} -0.7173 + 1.8271i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.7173 - 1.8271i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9190 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6546 \end{bmatrix}$$

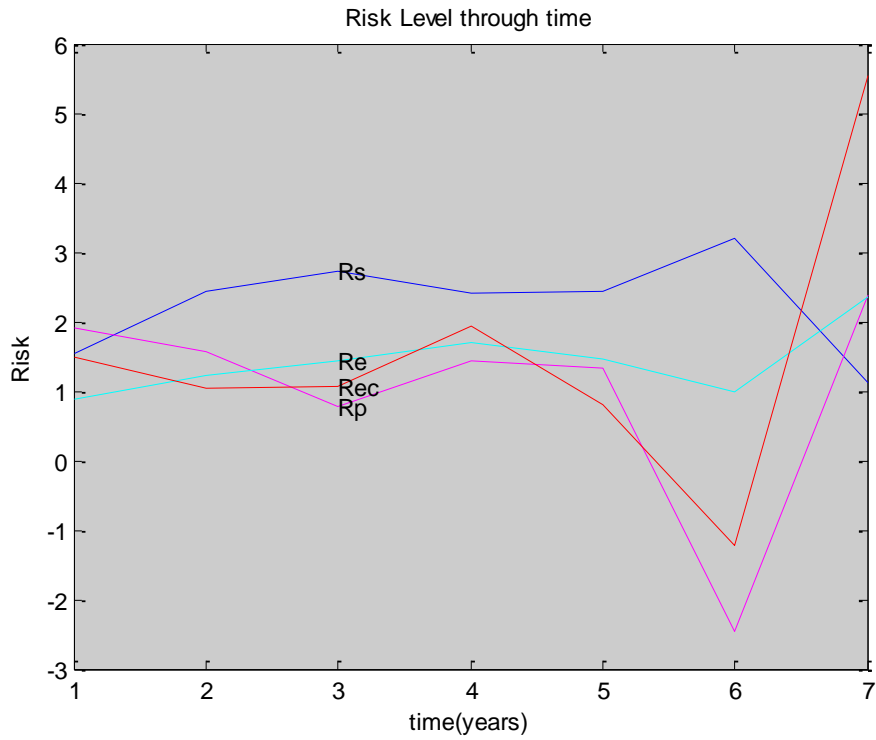
$$Q = \begin{bmatrix} 0.1976 - 0.0681i & -0.1976 + 0.0681i & -0.7723 & -0.4114 \\ 0.7123 & 0.7123 & -0.1261 & 0.6855 \\ 0.1133 + 0.0834i & 0.1133 - 0.0834i & -0.5167 & -0.5865 \\ 0.5194 + 0.3992i & 0.5194 - 0.3992i & -0.3474 & -0.1300 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=0,919$

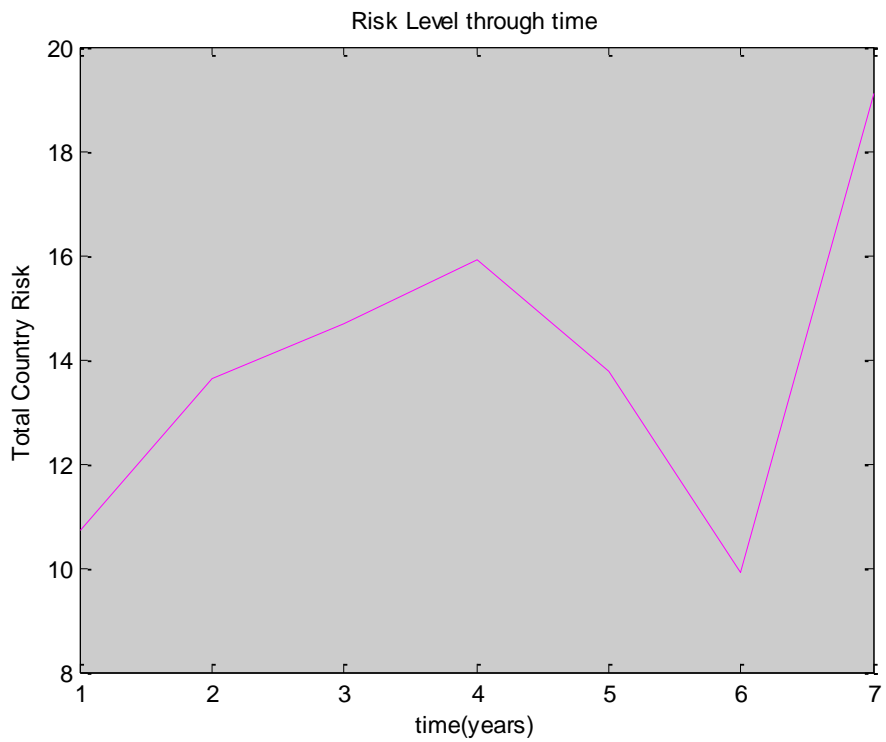
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 3.4290 \\ 0.5599 \\ 2.2938 \\ 1.5422 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.1: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.2: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Αζερμπαϊτζάν

Σχόλια

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα γραφήματα το Αζερμπαϊτζάν έχει δείκτη συνολικού ρίσκου αρκετά υψηλό. Αυτό φαίνεται από το γράφημα 5.2 στο οποίο παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα του συνολικού ρίσκου χώρας είναι μεγαλύτερα του 10 ακόμα και στις χρονολογίες (2005 – 2009) για τις οποίες σχεδιάστηκε το σύστημα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στους μεγάλους συντελεστές των ιδιοτιμών παρά στην ίδια την ιδιοτιμή.

Αλγερία

Το σύστημα έχει μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} -1.4565 & 0.1792 & 2.5105 & -0.0647 \\ -41.0813 & -2.2371 & 47.8162 & 0.2739 \\ 0.5184 & 0.0759 & 0.3646 & -0.0084 \\ -138.1995 & -8.4672 & 159.9304 & -0.3154 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -4.2556 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1960 + 1.7531i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1960 - 1.7531i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0032 \end{bmatrix}$$

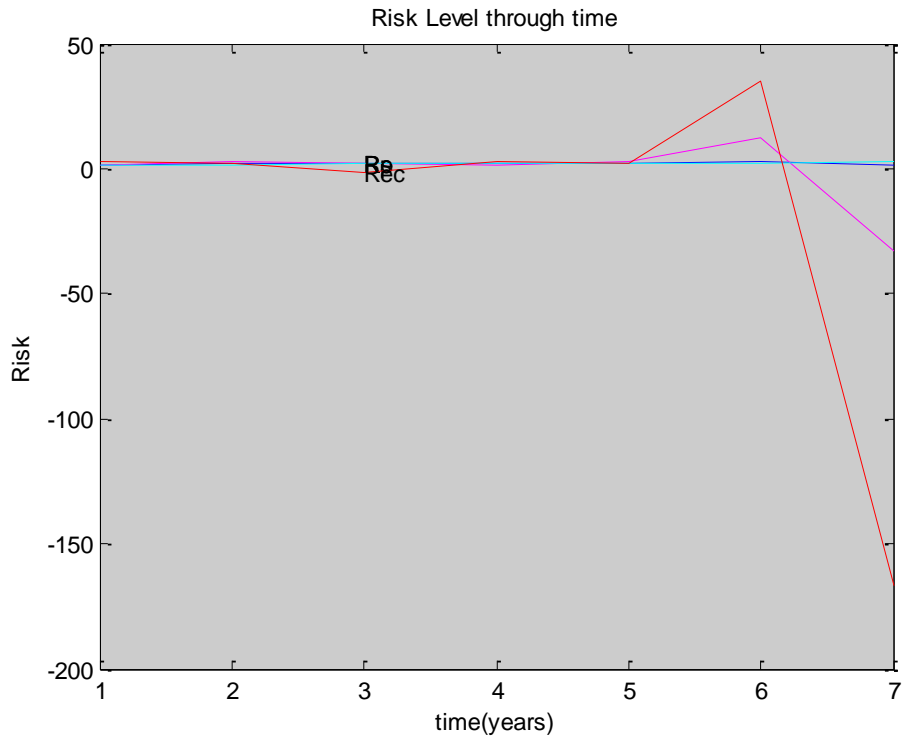
$$Q = \begin{bmatrix} 0.0128 & 0.0222 - 0.0061i & 0.0222 + 0.0061i & 0.5363 \\ 0.1942 & -0.2211 + 0.2263i & -0.2211 - 0.2263i & 0.5549 \\ -0.0028 & 0.0068 - 0.0037i & 0.0068 + 0.0037i & 0.4961 \\ 0.9809 & -0.9483 & -0.9483 & 0.3978 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή -4.2556

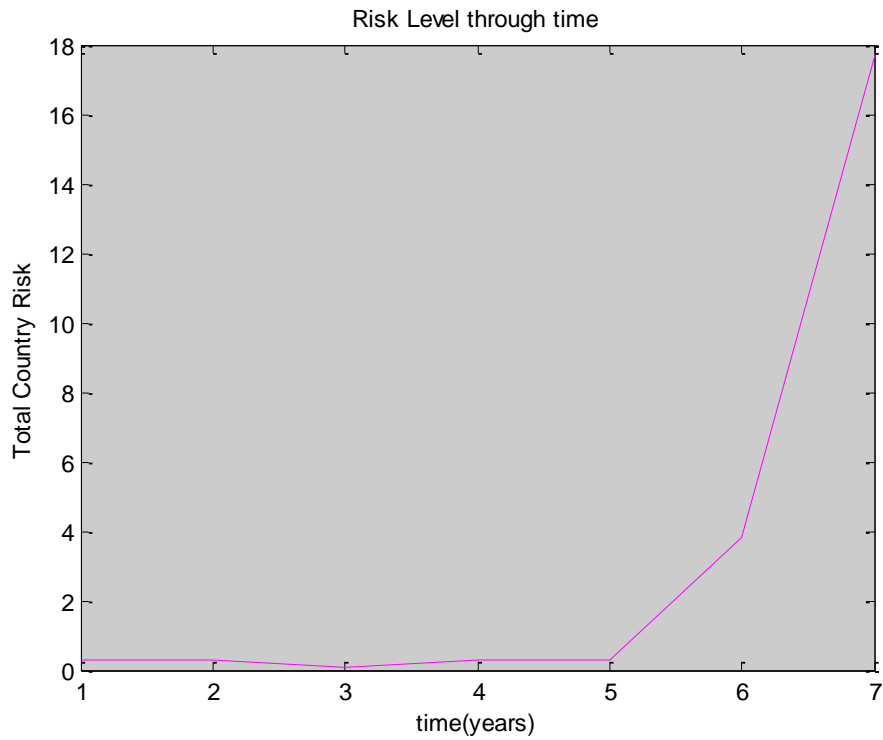
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 0.0013 \\ 0.0202 \\ -0.0003 \\ 0.1022 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.3: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.4: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Αλγερίας

Σχόλια

Για την χώρα της Αλγερίας η αναπαράσταση του συνολικού ρίσκου καθώς και των μεταβλητών κατάστασης δίνουν ενδιαφέροντα στοιχεία. Όσον αφορά το δείκτη συνολικού ρίσκου κινείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα για τα έτη στα οποία υπάρχουν δεδομένα όμως οι προβλέψεις δείχνουν ότι τα επίπεδα κινδύνου θα αυξηθούν στο μέλλον. Αυτό συμβαίνει γιατί δύο μεταβλητές κατάστασης, ο οικονομικός και ο πολιτικός παράγοντας, επηρεάζονται πολύ από την ασταθή ιδιοτιμή, και όπως φαίνεται στο γράφημα 5.3 αποκλίνουν πολύ από το μηδέν.

Βουλγαρία

Το σύστημα έχει μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} 5.0401 & 0.1810 & -0.9656 & 0.8337 \\ 3.0744 & -1.2231 & -0.4746 & 1.2022 \\ -1.3120 & 0.0523 & 1.2589 & -0.1840 \\ -3.2954 & -1.2719 & 1.2954 & -0.4749 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 4.7550 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5763 + 0.7054i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5763 - 0.7054i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9986 \end{bmatrix}$$

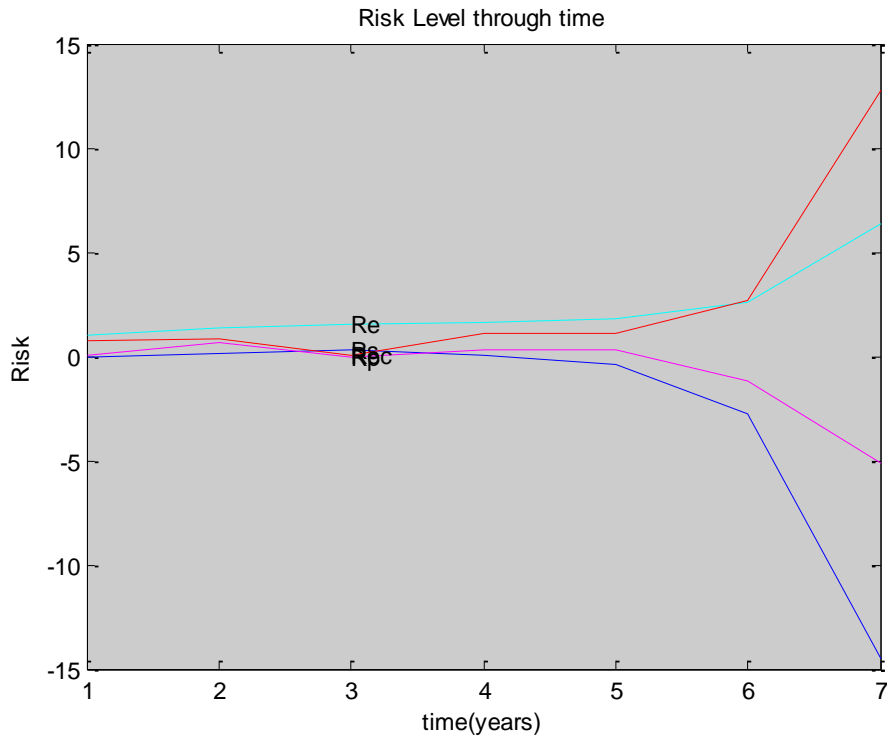
$$Q = \begin{bmatrix} 0.7263 & 0.1357 + 0.0030i & 0.1357 - 0.0030i & -0.1425 \\ 0.2751 & -0.3871 + 0.4364i & -0.3871 - 0.4364i & -0.1804 \\ -0.2377 & 0.0277 + 0.0004i & 0.0277 - 0.0004i & -0.9154 \\ -0.5834 & -0.8003 & -0.8003 & -0.3304 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=4,755$

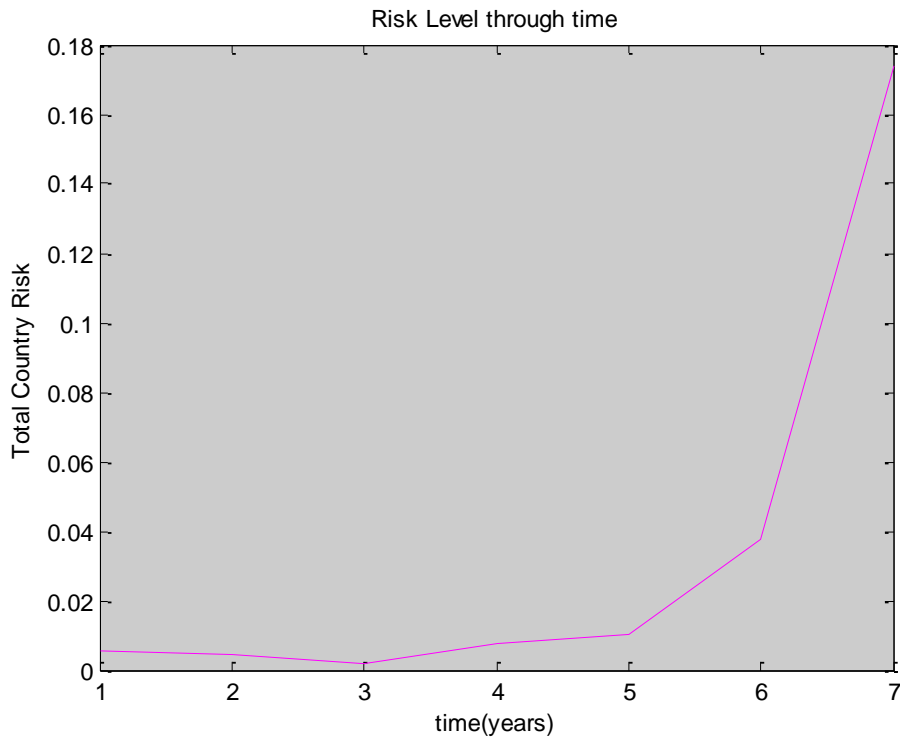
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} -0.0060 \\ -0.0023 \\ 0.0020 \\ 0.0049 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.5: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.6: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Βουλγαρίας

Σχόλια

Το σύστημα της χώρας της Βουλγαρίας είναι σε πολλά σημεία πανομοιότυπο με το σύστημα της Αλγερίας. Και στην Βουλγαρία το συνολικό ρίσκο της χώρας είναι πολύ μικρό για τα έτη στα οποία υπάρχουν δεδομένα και φαίνεται να αυξάνει για τα προβλεπόμενα έτη, κινούμενο όμως σε χαμηλά επίπεδα. Το γεγονός ότι κινείται σε χαμηλά επίπεδα οφείλεται στους πολύ μικρούς συντελεστές της μεγαλύτερης ιδιοτιμής και όχι στην ιδιοτιμή την ίδια. Επομένως η πρόβλεψη για τη Βουλγαρία είναι ότι ο κοινωνικοοικονομικός κίνδυνος της Βουλγαρίας θα ανέβει και σε αυτό συνάδει και το γεγονός ότι όλες οι μεταβλητές κατάστασης επηρεάζονται από την μεγαλύτερη ιδιοτιμή.

Γεωργία

Το σύστημα έχει μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} -15.6130 & -26.9509 & 31.3799 & 66.6530 \\ 74.9711 & 133.2699 & -135.0632 & -326.4014 \\ -0.9098 & -1.4908 & 2.8405 & 3.6263 \\ 27.4346 & 49.1840 & -48.8253 & -120.3660 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -1.5962 + 2.3152i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.5962 - 2.3152i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2.3387 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9851 \end{bmatrix}$$

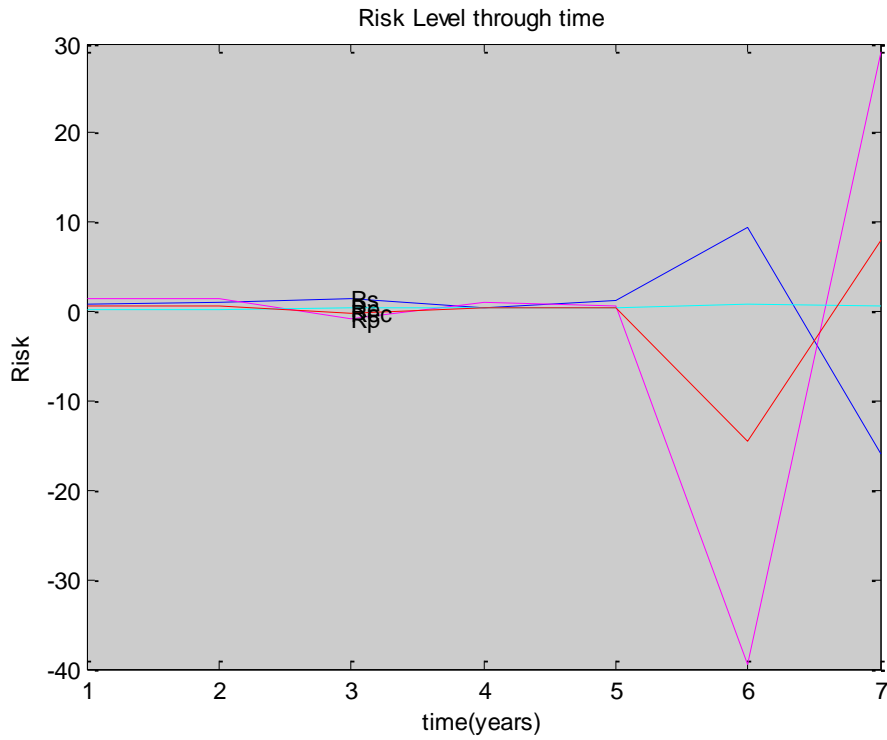
$$Q = \begin{bmatrix} 0.2358 + 0.0872i & 0.2358 - 0.0872i & -0.1111 & -0.4843 \\ -0.9111 & -0.9111 & 0.9272 & -0.7806 \\ 0.0080 + 0.0006i & 0.0080 - 0.0006i & -0.0250 & -0.1514 \\ -0.3256 + 0.0262i & -0.3256 - 0.0262i & 0.3568 & -0.3649 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=2,3387$

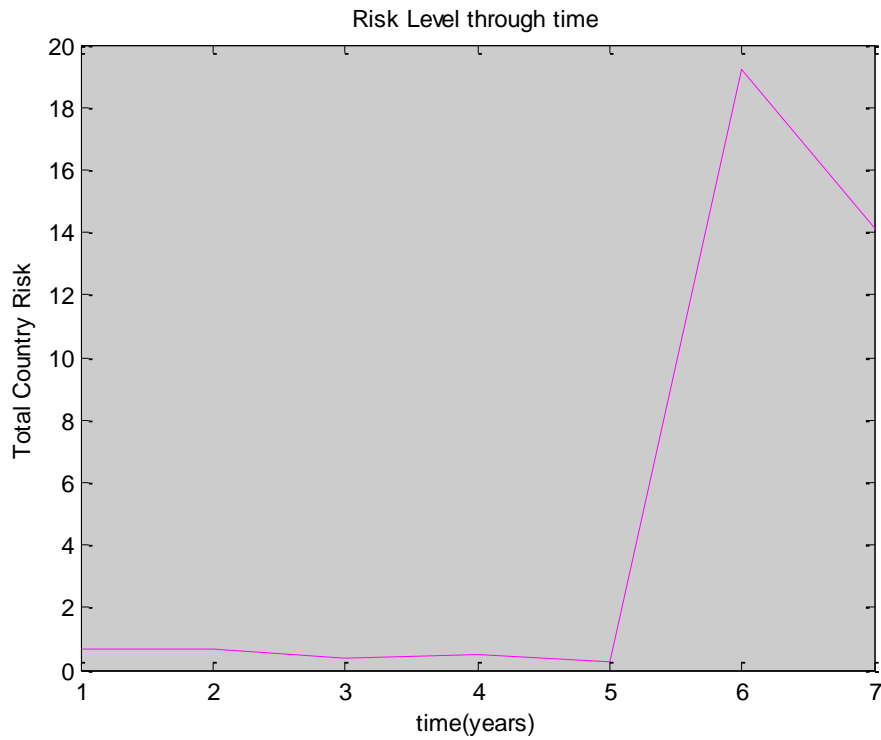
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 0.0497 \\ -0.4150 \\ 0.0112 \\ -0.1597 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.7: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Γράφημα 5.8: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Γεωργίας

Σχόλια

Όσον αφορά τη χώρα της Γεωργίας παρατηρείται ότι ο δείκτης συνολικού ρίσκου της χώρας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα για τα παρατηρούμενα έτη και μετά εμφανίζει ακραία τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί, αν και η ιδιοτιμή της Γεωργίας είναι μικρότερη από αυτή της Βουλγαρίας ή της Αλγερίας, προλαβαίνει (λόγω της μικρότερης ιδιοτιμής) να κάνει την ταλάντωση και να βρεί μέγιστο σημείο. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί για μια δεδομένη χρονική στιγμή να έχει μεγαλύτερη τιμή ρίσκου αλλά σε βάθος χρόνου τα στοιχεία ανατρέπονται.

Ελλάδα

Το σύστημα έχει μήτρα A

$$A = \begin{bmatrix} -0.4553 & 0.5186 & -0.1202 & -0.3007 \\ 0.8333 & -1.7521 & 0.7469 & 0.3111 \\ 0.2144 & 0.1139 & 0.9983 & 0.0030 \\ 2.9234 & -6.6711 & 2.0998 & 0.9301 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$A = \begin{bmatrix} -0.6180 + 0.8913i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.6180 - 0.8913i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0233 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0662 \end{bmatrix}$$

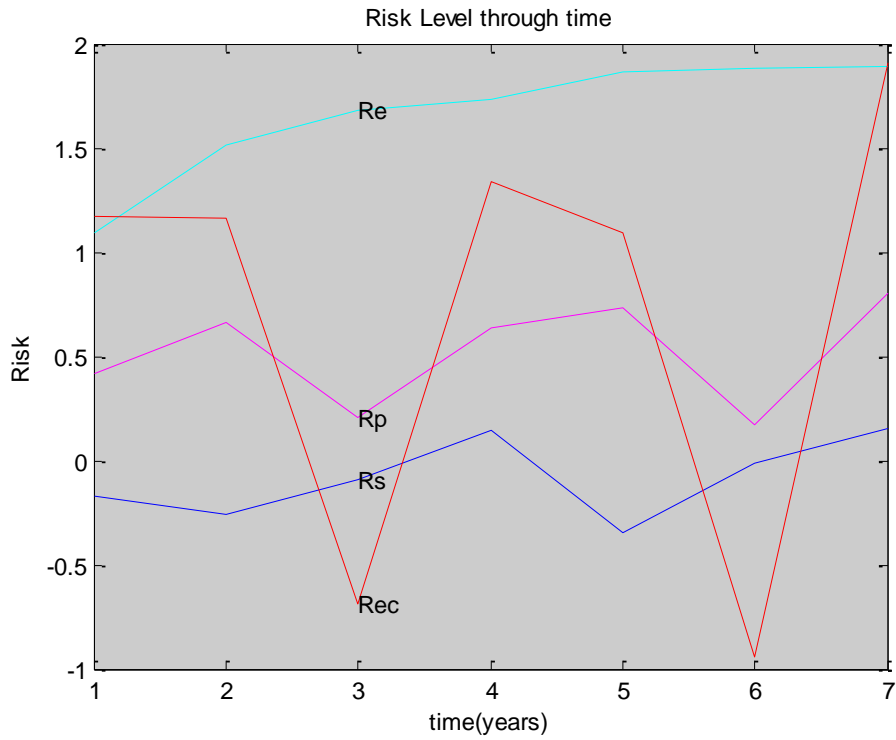
$$Q = \begin{bmatrix} 0.0078 + 0.1900i & 0.0078 - 0.1900i & -0.0396 & -0.7657 \\ 0.2232 - 0.0519i & 0.2232 + 0.0519i & 0.2676 & -0.1931 \\ -0.0051 - 0.0244i & -0.0051 + 0.0244i & 0.9182 & 0.1732 \\ 0.9543 & 0.9543 & 0.2892 & 0.588 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=1,0233$

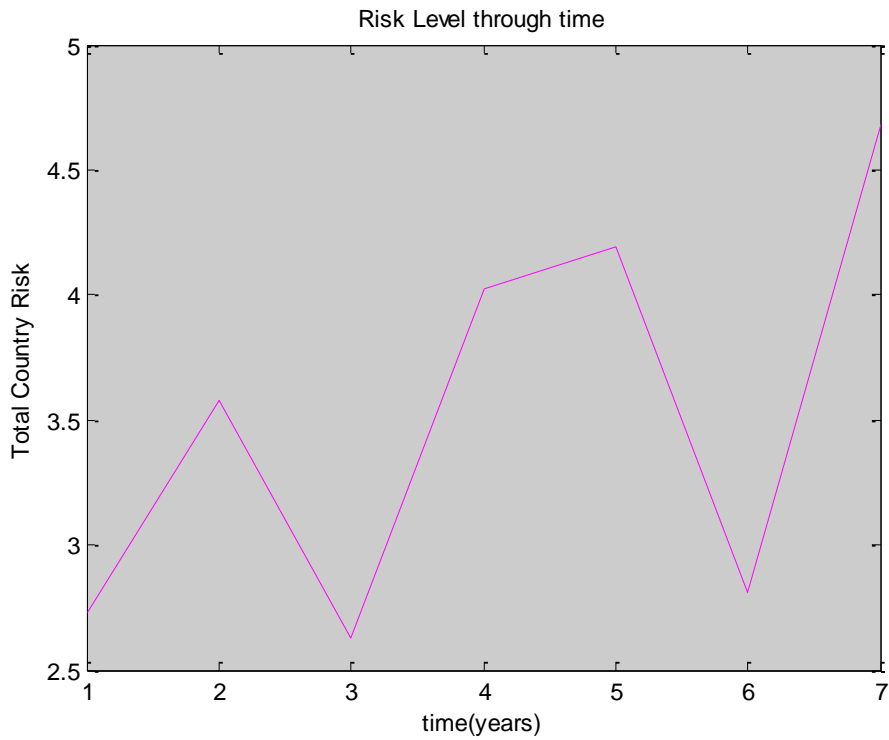
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} -0.0742 \\ 0.5016 \\ 1.7209 \\ 0.5421 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.9: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.10: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Ελλάδας

Σχόλια

Το κύριο στοιχείο που εμφανίζει το κοινωνικοοικονομικό ρίσκο της Ελλάδας είναι η μεγάλη ταλάντωση και η ανοδική τάση, η οποία όμως δεν είναι μεγάλη. Η ταλάντωση οφείλεται στις μιγαδικές ιδιοτιμές του συστήματος οι οποίες είναι σημαντικά μεγάλες σε σχέση πάντα με την μεγαλύτερη ιδιοτιμή και αυτό φαίνεται από τη «αλλοπρόσαλλη» συμπεριφορά των μεταβλητών κατάστασης. Το σύστημα της Ελλάδας είναι πιο ευσταθές από τα υπόλοιπα που παρατηρήθηκαν ως τώρα και για αυτό και οι προβλέψεις του ρίσκου έχουν χαμηλή τιμή.

Ουκρανία

Το σύστημα έχει μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} -4.1801 & -0.3864 & 4.5478 & -3.8907 \\ 1.7604 & 1.4406 & -2.4302 & 3.1362 \\ -0.0867 & -0.0121 & 1.0597 & 0.0392 \\ 4.4010 & -0.0404 & -3.0031 & 1.9363 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -0.9060 + 2.8458i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.9060 - 2.8458i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9587 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.1099 \end{bmatrix}$$

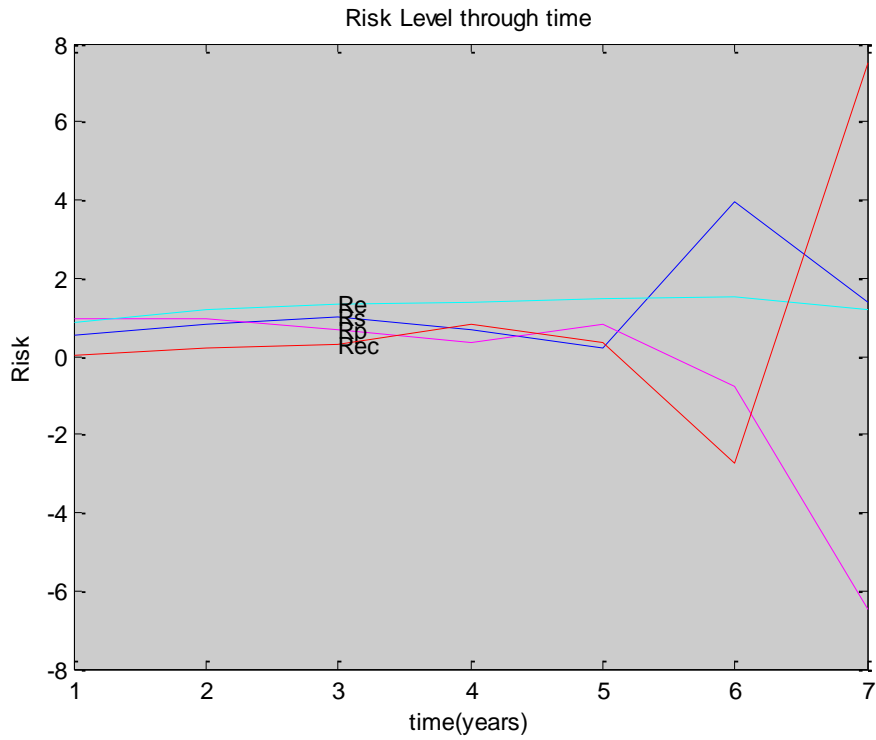
$$Q = \begin{bmatrix} 0.4446 - 0.4210i & 0.4446 + 0.4210i & 0.2302 & 0.1011 \\ 0.0737 + 0.4160i & 0.0737 - 0.4160i & 0.9198 & -0.9467 \\ 0.0183 + 0.0104i & 0.0183 - 0.0104i & 0.3168 & 0.2195 \\ -0.6680 & -0.6680 & -0.0251 & 0.2132 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=1,1099$

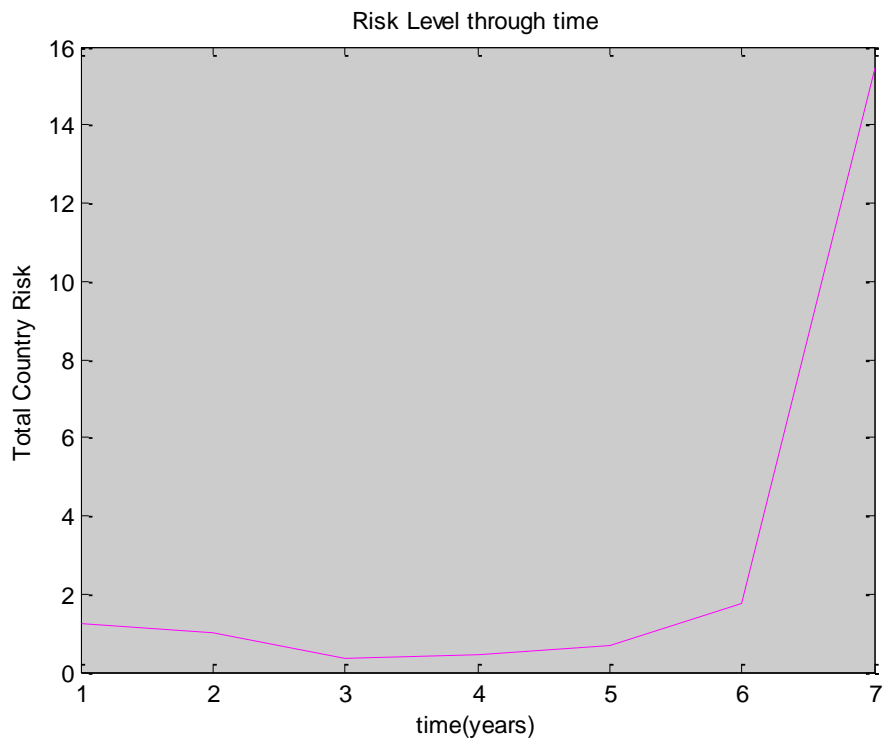
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 0.1925 \\ -1.8038 \\ 0.4182 \\ 0.4062 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.11: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.12: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Ουκρανίας

Σχόλια

Το κοινωνικοοικονομικό ρίσκο της Ουκρανίας μπορεί να χαρακτηριστεί αρκετά χαμηλό σε σχέση με τα υπόλοιπα αν και κατά την περίοδο για την οποία υπάρχουν δεδομένα άλλες χώρες εμφανίζουν χαμηλότερα επίπεδα ρίσκου. Όμως η Ουκρανία έχει μέγιστη ιδιοτιμή αρκετά κοντά στο ένα και έτσι σε βάθος χρόνου δεν αποκλίνει περισσότερο από τις υπόλοιπες χώρες. Η αύξηση στον έβδομο χρόνο προσομοίωσης οφείλεται στην μεγάλη ταλάντωση που προκαλούν οι αρκετά μεγάλες μιγαδικές ιδιοτιμές της μήτρας A.

Ρουμανία

Το σύστημα αυτό έχει μήτρα A

$$A = \begin{bmatrix} 3.3452 & 0.0816 & -0.7777 & 0.2446 \\ 2.8237 & -2.0137 & -0.2876 & 1.2283 \\ -0.8687 & 0.0504 & 1.2374 & -0.0441 \\ -2.0569 & -2.3986 & 1.3035 & 0.8362 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 3.3523 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.4655 + 0.4440i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.4655 - 0.4440i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9837 \end{bmatrix}$$

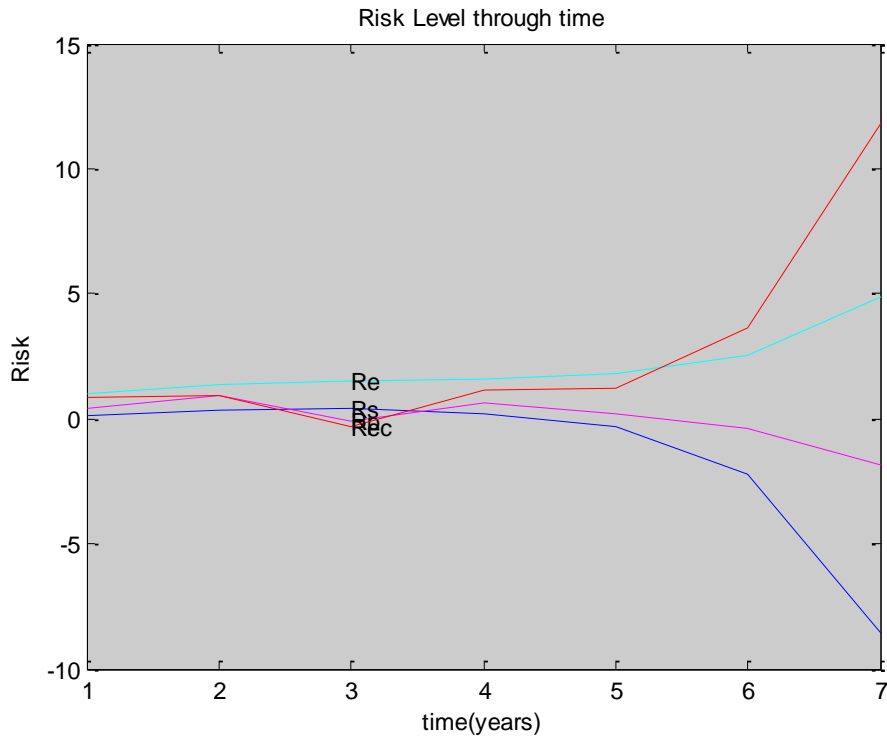
$$Q = \begin{bmatrix} 0.5980 & 0.0700 + 0.0060i & 0.0700 - 0.0060i & -0.2692 \\ 0.1544 & -0.5044 + 0.1545i & -0.5044 - 0.1545i & -0.2499 \\ -0.2262 & 0.0273 + 0.0056i & 0.0273 - 0.0056i & -0.9076 \\ -0.7533 & -0.8462 & -0.8462 & -0.2035 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=3,3523$

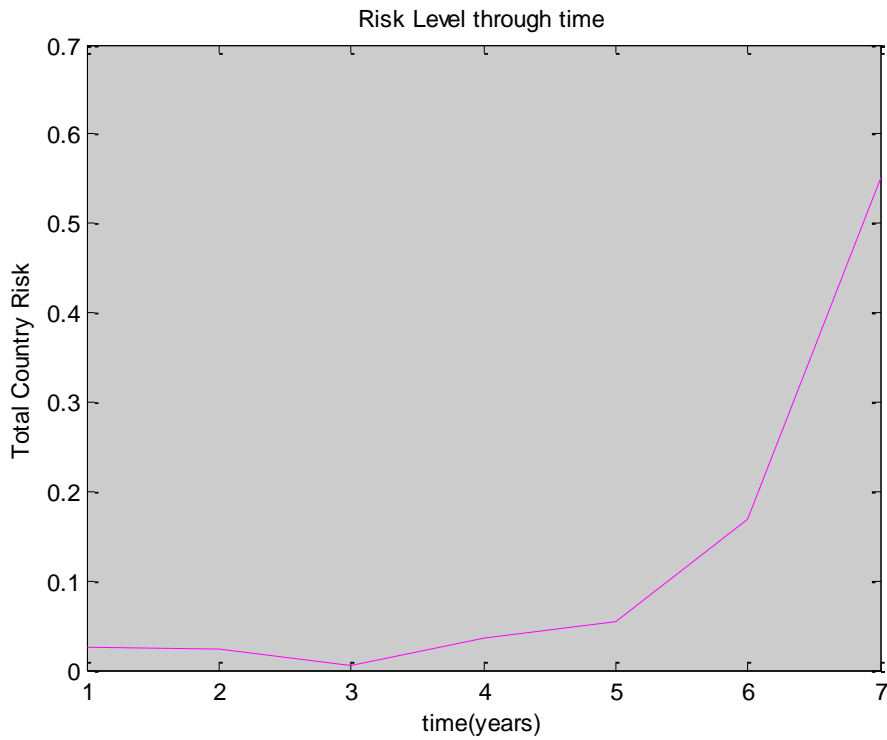
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} -0.0213 \\ -0.0055 \\ 0.0081 \\ 0.0269 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.13: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.14: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Ρουμανίας

Σχόλια

Η Ρουμανία αν και εμφανίζει μεγάλη ιδιοτιμή, στο γράφημα 5.14 φαίνεται ότι έχει πολύ μικρό συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο. Αυτό οφείλεται στις πολύ μικρές τιμές των συντελεστών πράγμα το οποίο σημαίνει ότι αργεί να φανεί η αστάθεια του συστήματος και αυτό είναι αρκετό για να χαρακτηριστεί η Ρουμανία, έστω βραχυπρόθεσμα, κοινωνικοοικονομικά ακίνδυνη.

Ρωσία

Το σύστημα έχει μήτρα A:

$$A = \begin{bmatrix} -0.5687 & 0.3770 & 1.9603 & -0.2660 \\ 0.5505 & -1.0269 & 2.1275 & 0.1385 \\ -0.0906 & 0.0164 & 1.1203 & -0.0155 \\ 4.3983 & -3.0067 & -1.7328 & 0.3427 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0.9990 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2910 + 0.9241i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.2910 - 0.9241i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.5496 \end{bmatrix}$$

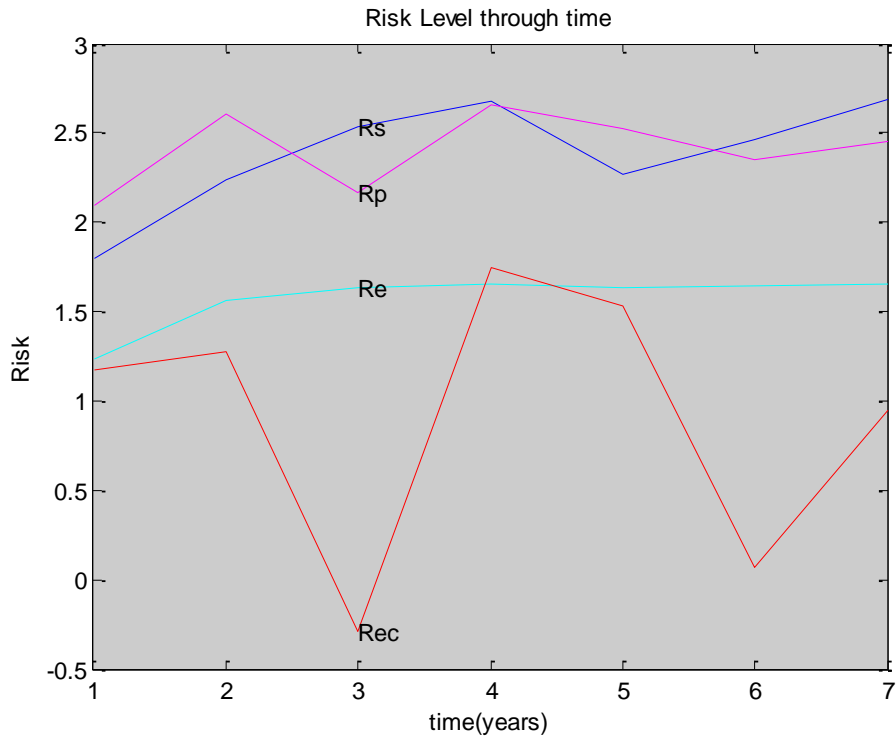
$$Q = \begin{bmatrix} -0.6219 & -0.0360 + 0.2085i & -0.0360 - 0.2085i & -0.1965 \\ -0.6185 & 0.1517 + 0.0012i & 0.1517 - 0.0012i & -0.5255 \\ -0.4119 & -0.0016 + 0.0123i & -0.0016 - 0.0123i & -0.0132 \\ -0.2469 & 0.9654 & 0.9654 & -0.8277 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda=0,999$

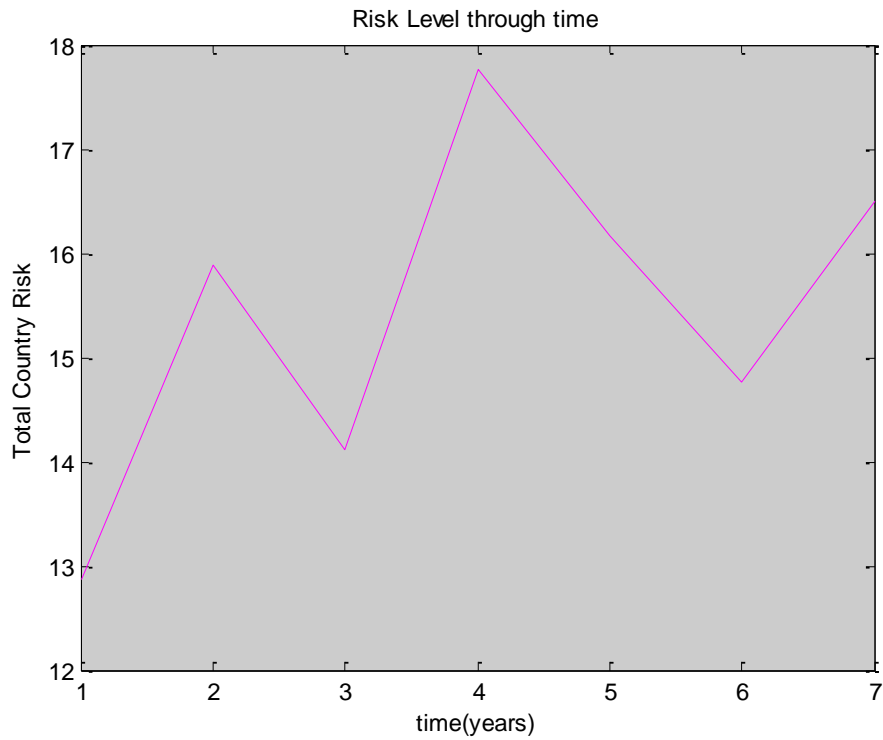
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 2.4969 \\ 2.4830 \\ 1.6538 \\ 0.9913 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.15: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.16: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Ρωσίας

Σχόλια

Η Ρωσία είναι από τις λίγες χώρες με ευσταθής ιδιοτιμές και όμως εμφανίζει αρκετά μεγάλο συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο. Βέβαια η ιδιοτιμή της είναι πολύ κοντά στο ένα και όσο περνάει ο χρόνος θα προσεγγίζει έναν αριθμό ο οποίος όμως δεν θα είναι το άπειρο όπως όλα τα υπόλοιπα συστήματα. Δηλαδή η Ρωσία παρουσιάζει και θα παρουσιάζει ένα σεβαστό κοινωνικοοικονομικό κίνδυνο όμως σαν μακροπρόθεσμη επιλογή ξεπερνάει σε ασφάλεια τις υπόλοιπες χώρες.

Τουρκία

Το σύστημα έχει μήτρα A

$$A = \begin{bmatrix} -0.9852 & 0.0413 & 1.1203 & -0.0770 \\ 0.1433 & -0.0629 & 0.5473 & -0.1692 \\ 0.1822 & -0.0644 & 0.9408 & 0.0057 \\ -1.0842 & 6.1446 & -1.8692 & -0.9936 \end{bmatrix}$$

Οι ιδιοτιμές, η μήτρα ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων είναι:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.0107 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.1774 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.4671 + 0.8892i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.4671 - 0.8892i \end{bmatrix}$$

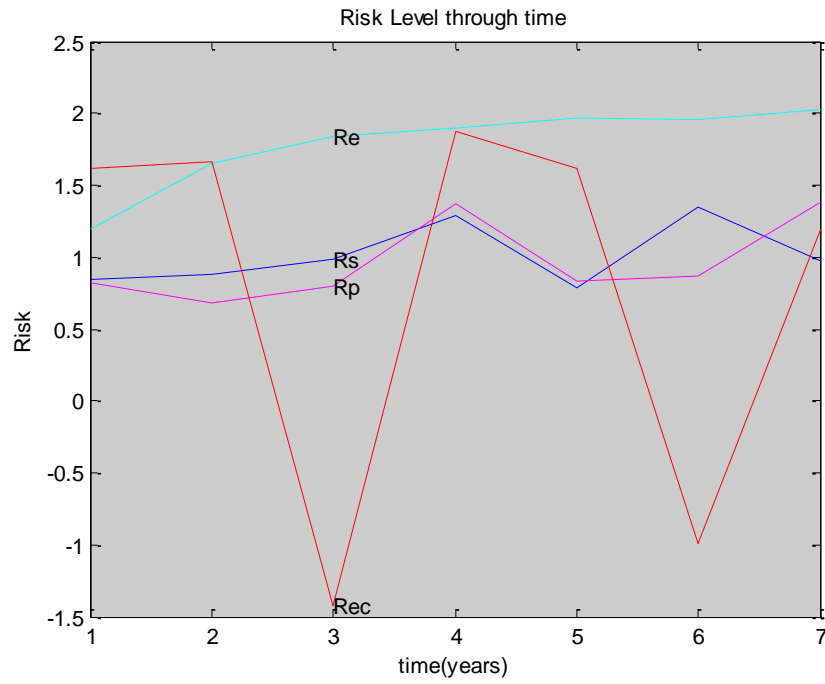
$$Q = \begin{bmatrix} 0.4243 & -0.6070 & 0.0278 - 0.0617i & 0.0278 + 0.0617i \\ 0.3995 & -0.0676 & -0.0801 - 0.1533i & -0.0801 + 0.1533i \\ 0.7608 & 0.0523 & -0.0028 - 0.0008i & -0.0028 + 0.0008i \\ 0.2856 & -0.7901 & -0.9826 & -0.9826 \end{bmatrix}$$

Με μέγιστη ιδιοτιμή $\lambda = -1,1774$

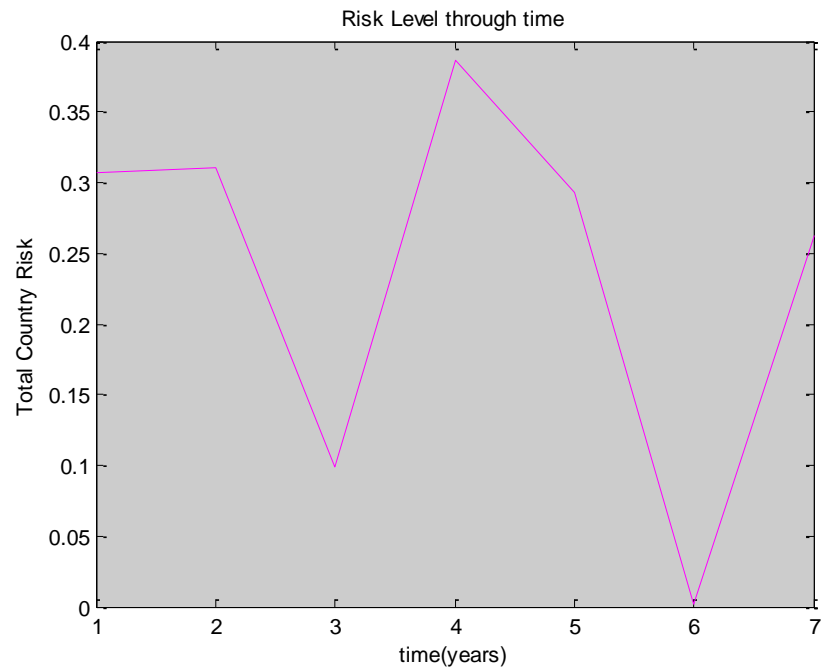
Και διάνυσμα συντελεστών:

$$w = \begin{bmatrix} 0.1041 \\ 0.0116 \\ -0.0090 \\ 0.1355 \end{bmatrix}$$

Απαραίτητες είναι οι προσομοιώσεις του συστήματος και τα γραφήματα που παράγουν:



Εικόνα 5.17: Συνιστώσες ρίσκου (2005-2011)



Εικόνα 5.18: Συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο Τουρκίας

Το σύστημα της Τουρκίας μοιάζει σε πάρα πολλά σημεία με αυτό της Ελλάδας, δηλαδή παρουσιάζει ταλάντωση και ανοδική τάση εξαιτίας των μιγαδικών τιμών και της μέγιστης ιδιοτιμής που είναι μεγαλύτερη από ένα, αλλά έχει πολύ μικρότερο μέγεθος το συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο. Αυτό συμβαίνει λόγω των μικρότερων συντελεστών και λόγω του γεγονότος ότι μόνο μία μεταβλητή κατάστασης παρουσιάζει μεγάλη ταλάντωση (Οικονομικός παράγοντας). Για το λόγο αυτό μπορούμε να πούμε ότι η Τουρκία έχει την καλύτερη αναλογία μορφολογίας του συστήματος και αποτελεσμάτων.

5.4 Υπολογισμός συνολικού ρίσκου αγωγού

Το τελευταίο κομμάτι της μελέτης αυτής είναι ο υπολογισμός του συνολικού ενεργειακού ρίσκου του αγωγού εφόσον έχουν προσδιορισθεί και αναλυθεί τα δεδομένα της κάθε χώρας που λαμβάνει μέρος σε αυτόν. Σύμφωνα με το ενεργειακό μοντέλο που έχει παρουσιασθεί, στο στάδιο αυτό συνδυάζονται τα επιμέρους κοινωνικοοικονομικά ρίσκα των χωρών. Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται οι κίνδυνοι εισάγεται στο κεφάλαιο τέσσερα και βασίζεται στην επιρροή που έχει η κάθε χώρα στον αγωγό όπως επίσης και στην αναγκαιότητα της ύπαρξης του αγωγού για το υποσύστημα της χώρας. Για να μπορέσει να βρεθεί το ρίσκο του αγωγού είναι ανάγκη να υπολογιστεί για κάθε αγωγό το ποσοστό φυσικού αερίου που εισάγει, αν είναι χώρα εισαγωγής, ή εξάγει, αν είναι χώρα παραγωγής, σε σχέση με το συνολικό που εισάγει ή εξάγει. Επομένως ξεχωριστά για κάθε αγωγό θα γίνει η μελέτη.

Αγωγός LNG Ελλάδα-Αλγερίας

Στο συγκεκριμένο δίκτυο συμμετέχουν μόνο δύο χώρες, η Ελλάδα και η Αλγερία. Επομένως για τον υπολογισμό του συνολικού ρίσκου του αγωγού παίρνουμε υπ' όψη τα υποσύστημα της Ελλάδας και της Αλγερίας κατά τον τρόπο που έχουν υπολογιστεί παραπάνω. Το διάνυσμα στάθμισης q για τον αγωγό αυτό είναι:

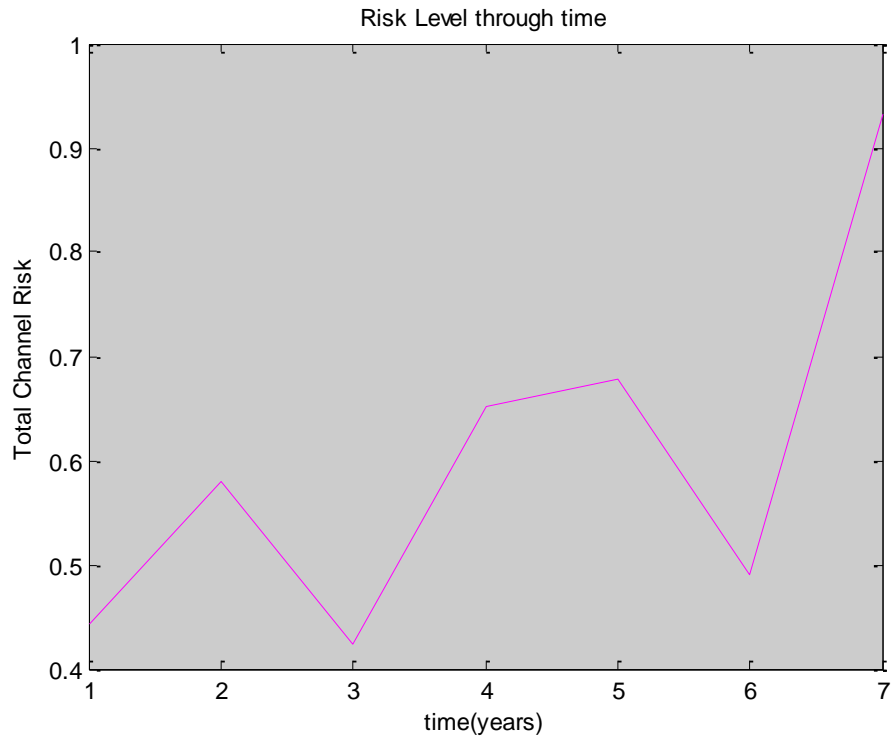
$$q = \begin{bmatrix} q_{Gr} \\ q_{Alg} \end{bmatrix} \rightarrow q = \begin{bmatrix} 0.1611 \\ 0.01006 \end{bmatrix}$$

Και παράγονται τα αποτελέσματα:

Πίνακας 5.28: Χρονοσειρά ρίσκου αγωγού Ελλάδα-Αλγερία

Χρόνος	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ρίσκο	0.4426	0.5799	0.4245	0.6511	0.6782	0.4907	0.9329

Με προσομοίωση:



Εικόνα 5.19: Ρίσκο αγωγού Ελλάδα-Αλγερία σε σχέση με το χρόνο

Σχόλια

Ο συγκεκριμένος αγωγός παρουσιάζει πολύ χαμηλά επίπεδα ρίσκου και αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον και κυριότερο το πολύ μικρό επίπεδο εξάρτησης που έχουν οι δύο χώρες από τον αγωγό το οποίο μειώνει αρκετά το επίπεδο κινδύνου. Δεύτερον ότι συμμετέχουν μόνο δύο χώρες στον αγωγό καθώς ο τύπος υπολογισμού του συνολικού ρίσκου του αγωγού είναι τεχνικά ένα άθροισμα. Και τρίτον στα γενικά χαμηλά επίπεδα κινδύνου που εμφανίζουν και οι δύο χώρες παρόλο που στον χρόνο επτά της προσομοίωσης φαίνεται να δρα η μεγάλη ιδιοτιμή της Αλγερίας.

Αγωγός TGI

Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει τέσσερις χώρες, την Ελλάδα, την Τουρκία, την Γεωργία και τη χώρα παραγωγής το Αζερμπαϊτζάν. Τα υποσυστήματα των χωρών αυτών έχουν αναλυθεί προηγουμένως και τα αποτελέσματά τους είναι διαθέσιμα. Το διάνυσμα στάθμισης q είναι:

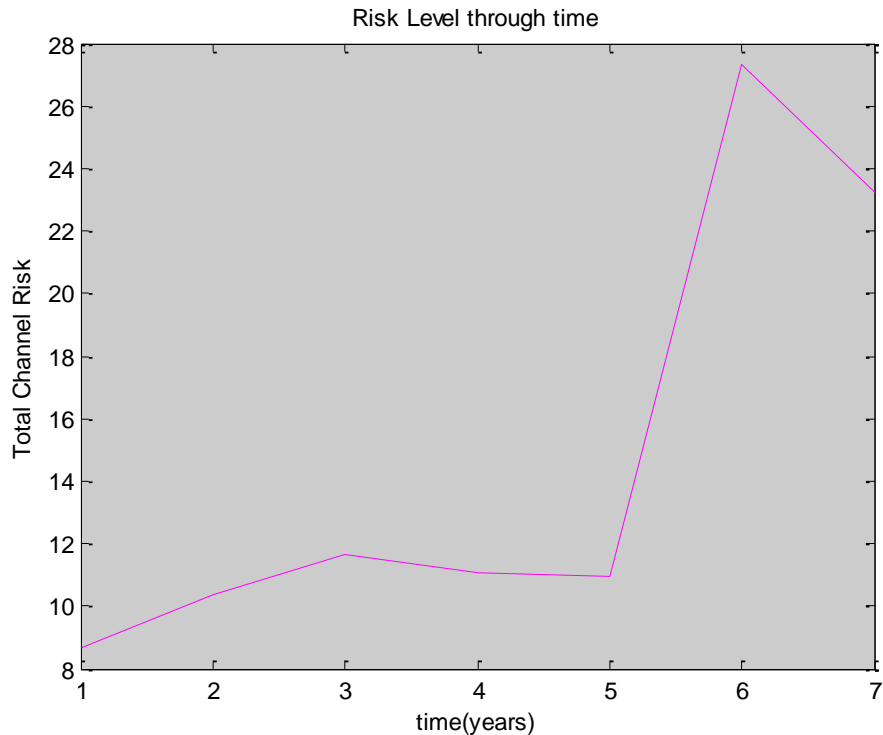
$$q = \begin{bmatrix} q_{Gr} \\ q_{Ge} \\ q_{Tu} \\ q_{Az} \end{bmatrix} \rightarrow q = \begin{bmatrix} 0.15198 \\ 0.875 \\ 0.1495 \\ 0.9444 \end{bmatrix}$$

Και παράγονται τα αποτελέσματα:

Πίνακας 5.29: Χρονοσειρά ρίσκου αγωγού TGI

Χρόνος	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ρίσκο	8.684	10.3941	11.6773	11.0556	10.9592	27.3271	23.2352

Με προσομοίωση:



Εικόνα 5.19: Ρίσκο αγωγού TGI

Σχόλια

Ο αγωγός TGI, όπως φαίνεται και στο γράφημα 5.19, εμφανίζει υψηλό δείκτη συνολικού ρίσκου αγωγού ο οποίος συνεχίζει και αυξάνει όσο αυξάνονται τα έτη. Το αποτέλεσμα αυτό είναι παράξενο με μια πρώτη ματιά καθώς απαρτίζεται από 4 χώρες με αρκετά χαμηλά ρίσκα αντίστοιχα, τουλάχιστον για τα έτη στα οποία υπάρχουν δεδομένα. Όμως αρκεί μία χώρα με υψηλό συντελεστή εξάρτησης και αρκετά ασταθές σύστημα για να ανεβάσει επικίνδυνα το επίπεδο ρίσκου του αγωγού. Αυτό συμβαίνει και στον αγωγό TGI και την χώρα-καταλύτη παίζει το Αζερμπαϊτζαν.

Ρωσικός Αγωγός

Στον Ρωσικό αγωγό συμμετέχουν πέντε χώρες οι οποίες είναι: η Ελλάδα, η Ουκρανία, η Ρουμανία, η Βουλγαρία και η χώρα παραγωγής η Ρωσία. Το διάλυμα στάθμισης για τον αγωγό αυτόν είναι:

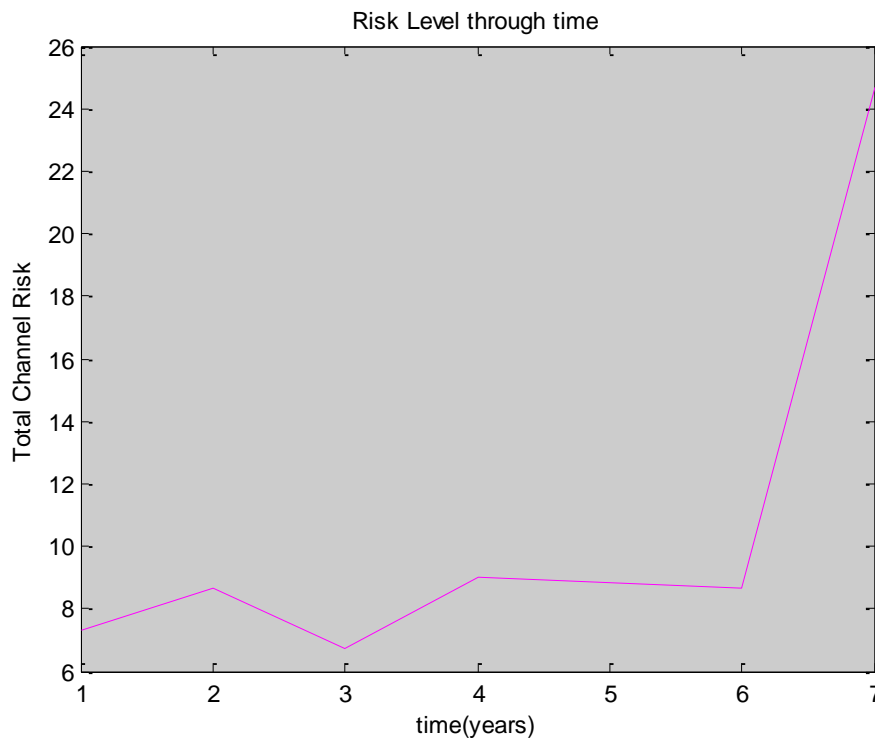
$$q = \begin{bmatrix} q_{Gr} \\ q_{Uk} \\ q_{Rom} \\ q_{Bul} \\ q_{Ru} \end{bmatrix} \rightarrow q = \begin{bmatrix} 0.6231 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0.3374 \end{bmatrix}$$

Και παράγονται τα αποτελέσματα:

Πίνακας 5.30: Χρονοσειρά ρίσκου Ρώσικου αγωγού

Χρόνος	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ρίσκο	7.3362	8.6406	6.7387	8.9867	8.8224	8.6712	24.6894

Με προσομοίωση:



Εικόνα 5.20: Ρίσκο Ρώσικου αγωγού

Σχόλια

Ο Ρώσικος αγωγός εμφανίζει συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο αγωγού, όπως φαίνεται στο γράφημα 5.20, κάτω από την τιμή 9 για όλα τα έτη για τα οποία υπάρχουν δεδομένα όπως και για το πρώτο έτος πρόβλεψης. Συγκριτικά με τον αγωγό TGI με τον οποίο έχουν το κοινό ότι διατρέχουν πολλές χώρες, ο Ρώσικος αγωγός δείχνει να διατηρεί χαμηλότερα επίπεδα κινδύνου παρά το γεγονός ότι διατρέχει χώρες, και μάλιστα τρεις, οι οποίες είναι πλήρως εξαρτώμενες από αυτόν. Αυτό συμβαίνει γιατί οι χώρες που διατρέχει έχουν χαμηλά συνολικά ρίσκα χώρας και χάρη στο γεγονός ότι όλες οι χώρες αυτές έχουν μέγιστες ιδιοτιμές πολύ κοντά στο ένα. Κατά το δεύτερο έτος πρόβλεψης παρατηρείται μια άνοδος της τιμής του ρίσκου η οποία οφείλεται κυρίως στην απόλυτη εξάρτηση των τριών χωρών, Ουκρανίας, Ρουμανίας και Βουλγαρίας από τον αγωγό και καθώς ο τύπος του συνολικού ρίσκου του αγωγού είναι σταθμισμένο άθροισμα των επιπέδων κινδύνου των χωρών αυξάνει κατά πολύ όταν ο συντελεστής στάθμισης είναι 1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Η εργασία αυτή ασχολείται με το κοινωνικοοικονομικό ρίσκο αγωγών φυσικού αερίου και με τον υπολογισμό του κινδύνου των αγωγών που εμπλέκονται με την ενεργειακή ασφάλεια της Ελλάδας. Για τον σκοπό αυτό υλοποιήθηκε μια συστημική προσέγγιση του ενεργειακού ρίσκου των αγωγών και παρουσίασε ενδιαφέροντα αποτελέσματα τα οποία συνοψίζονται στα παρακάτω:

Για να είναι ένα σύστημα μιας χώρας ασταθές και επομένως να παρουσιάζει μεγαλύτερο ενεργειακό κίνδυνο, κυρίως μελλοντικά, δεν είναι ανάγκη οι επιμέρους τιμές των κοινωνικών, πολιτικών, ενεργειακών και οικονομικών να είναι μεγάλες. Σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο, δηλαδή κατά πόσο υπάρχουν βίαιες αλλαγές στην κατάστασή τους ακόμη και αν φαινομενικά βελτιώνονται για κάποια χρονική περίοδο.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τον τύπο υπολογισμού για το συνολικό κοινωνικοοικονομικό ρίσκο του αγωγού καθώς και τα επιμέρους ρίσκα των χωρών που τον απαρτίζουν μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη η εξάρτηση από τον αγωγό μιας χώρας, τόσο αυξάνεται το συνολικό ρίσκο. Αυτό συμβαίνει γιατί αν οι χώρες με υψηλό ενεργειακό κίνδυνο θεωρηθούν σαν πρωτεύοντες όροι, με την έννοια ότι επηρεάζουν περισσότερο τον αγωγό από τις άλλες χώρες, οι συντελεστές τους παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του αποτελέσματος. Και οι συντελεστές αυτοί δεν είναι τίποτα περισσότερο από το συντελεστή ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από τον αγωγό. Για παράδειγμα το γεγονός αυτό θα επηρέαζε κατά πολύ τον Ρωσικό αγωγό αν οι χώρες που εξαρτώνται αποκλειστικά από αυτόν (Ρουμανία, Ουκρανία, Βουλγαρία) είχαν υψηλό επίπεδο κινδύνου.

Ένα άλλο πόρισμα, το οποίο αναφέρεται στο επίπεδο της χώρας, που προκύπτει από τον τύπο του συνολικού υπολογισμού του ενεργειακού ρίσκου του αγωγού είναι ότι σε όσο περισσότερους αγωγούς συμμετέχει μια χώρα τόσο μικρότερο ενεργειακό κίνδυνο διατρέχει. Για παράδειγμα αν μία χώρα εξαρτάται μόνο από έναν αγωγό, όπως η Βουλγαρία, στη συγκεκριμένη εφαρμογή ο ενεργειακός κίνδυνος που τη διακατέχει είναι συνυφασμένος με το ενεργειακό ρίσκο του αγωγού και τον ακολουθεί πιστά. Μία άλλη χώρα όμως η οποία έχει παραπάνω από έναν αγωγούς φυσικού αερίου, όπως η Ελλάδα, δεν είναι απαραίτητο να ακολουθήσει την ενεργειακή επικινδυνότητα ενός αγωγού στον οποίο συμμετέχει. Βέβαια όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η εξάρτηση της χώρας από τον αγωγό επηρεάζει τον ίδιο τον αγωγό και επομένως η συμμετοχή μιας χώρας σε παραπάνω αγωγούς μειώνει και το επιμέρους ρίσκο των αγωγών στους οποίους συμμετέχει.

Επιπλέον ο τελικός τύπος υπολογισμού του κοινωνικοοικονομικού ρίσκου του αγωγού είναι ένα άθροισμα θετικών όρων (επιμέρους ρίσκα χωρών). Αυτό σημαίνει από μόνο του ότι όσο μεγαλύτερο είναι το άθροισμα τόσο μεγαλώνει και ο κίνδυνος ή η πιθανότητα να μεγαλώσει ο κίνδυνος, καθώς είναι πιο πιθανό να εμφανιστεί μια χώρα με υψηλή εξάρτηση και μεγάλο κοινωνικοοικονομικό κίνδυνο σε έναν αγωγό που περιέχει πολλές χώρες παρά σε έναν μικρότερο. Με άλλα λόγια η βέλτιστη επιλογή είναι η προμήθεια φυσικού αερίου απ' ευθείας από την χώρα παραγωγής όποτε αυτό είναι δυνατόν. Βέβαια υπάρχει και η πιθανότητα μία χώρα να

είναι πιο επικίνδυνη από ένα σύνολο άλλων χωρών, όπως συμβαίνει στον Ρώσικο αγωγό, αλλά δεν αποτελεί τον γενικό κανόνα.

6.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το φυσικό αέριο έχει γίνει απαραίτητο ενεργειακό ορυκτό και η χρήση του έχει διευρυνθεί σημαντικά με γοργούς ρυθμούς λόγω των χαμηλότερων ρύπων που παράγει και συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος όπως επίσης λόγω του ότι ενισχύει τη σύνθεση του ενεργειακού μίγματος των χωρών. Η νέα πραγματικότητα που διαμορφώνεται για το φυσικό αέριο και την οποία αντιμετωπίζει η Ευρώπη αποτελείται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Έντονα διογκούμενη ευρωπαϊκή ζήτηση φυσικού αερίου.
- Μείωση του ευρωπαϊκών αποθεμάτων.
- Αυξανόμενη εξάρτηση της Ε.Ε. από τις εισαγωγές φυσικού αερίου.
- Ανάγκη χρήσης τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον και με υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα.

Σύμφωνα με τα νέα αυτά δεδομένα φαίνεται αναγκαία η χάραξη μιας ενεργειακής πολιτικής τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης τόσο σε εθνικό επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση η ενεργειακή αυτή πολιτική θα πρέπει να εξασφαλίζει την αειφορία, την ανταγωνιστικότητα και την ασφάλεια του εφοδιασμού.

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης η ενεργειακή ασφάλεια απειλείται από το γεγονός ότι η Ρωσία έχει κατορθώσει να εισχωρήσει στον ενεργειακό εφοδιασμό πολλών χωρών, μονοπωλιακά σε αρκετές περιπτώσεις, και να καταστήσει τον εαυτό της απαραίτητο για την ομαλή ενεργειακή λειτουργία των χωρών αυτών. Σε αυτή την κατεύθυνση είναι απαραίτητο να αυξηθούν οι χώρες εισαγωγής φυσικού αερίου στην Ευρώπη με πολλαπλούς αγωγούς και να σταματήσει η ενεργειακή εξάρτηση της Ρωσίας.

Όσον αφορά την ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας σε σχέση με το φυσικό αέριο, ο σχεδιασμός που ακολουθήθηκε αποτέλεσε μια ορθή βάση για την ενεργειακή ασφάλεια της Ελλάδας. Αποφεύχθηκε μια εξ' ολοκλήρου εξάρτηση του εφοδιασμού από μια χώρα παραγωγής με τη λειτουργία τριών αγωγών ενέργειας από διαφορετικές χώρες προέλευσης. Από την άλλη όμως το μέγεθος των εισαγωγών είναι συγκριτικά είναι αρκετά μικρό σε σχέση με την αυξανόμενη ζήτηση. Είναι επόμενο λοιπόν, η Ελλάδα να αναζητήσει ενεργειακή διέξοδο σε κάποιον μεγάλο αγωγό από καινούρια ενεργειακή αγορά.

Η μελέτη αυτή όμως εστιάζεται στην παραγωγή του ενεργειακού ρίσκου αγωγών φυσικού αερίου και εφαρμόστηκε στους αγωγούς φυσικού αερίου στους οποίους εμπλέκεται η Ελλάδα. Έτσι, κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μια βαθμολογημένη λίστα αγωγών με κριτήριο το ενεργειακό ρίσκο που φέρει ο καθένας. Στην πρώτη θέση με το μικρότερο ενεργειακό ρίσκο βρίσκεται ο αγωγός LNG μεταξύ Ελλάδας και Αλγερίας με επίπεδα ρίσκου πολύ χαμηλότερα από τους υπόλοιπους. Δεύτερος στη λίστα βρίσκεται ο Ρώσικος αγωγός, και στην τρίτη και τελευταία θέση βρίσκεται ο αγωγός TGI με τιμές ενεργειακού ρίσκου που βρίσκονται κοντά στον

Ρώσικο αγωγό. Με βάση αυτή την βαθμολόγηση μπορούν να αναπτυχθούν ενεργειακές πολιτικές και να αξιολογηθούν μελλοντικές επενδύσεις στο χώρο της κατασκευής νέων αγωγών φυσικού αερίου.

6.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Όπως έχει γίνει φανερό η ενεργειακή ασφάλεια έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής ζωής και είναι ζωτικής σημασίας για κάθε κομμάτι της κοινωνίας είτε σε εθνικό είτε σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Για το λόγο αυτό η μελέτη και ο υπολογισμός του ενεργειακού ρίσκου των αγωγών φυσικού αερίου είναι εξαιρετικής σημασίας καθώς βοηθά στην χάραξη ασφαλέστερων ενεργειακών πολιτικών.

Στην εργασία αυτή συστήθηκε και υπολογίστηκε μια συστημική μέθοδος για τον υπολογισμό των διαδρομών φυσικού αερίου στις οποίες εμπλέκεται η Ελλάδα. Χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν κάθε κοινωνία και έχουν χρησιμοποιηθεί και σε παλαιότερες μελέτες τα οποία ενοποιήθηκαν σε ένα συνολικό παράγοντα ενεργειακού ρίσκου για κάθε αγωγό χρησιμοποιώντας στοιχεία από τη θεωρία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Η συγκεκριμένη μέθοδος θα μπορούσε να αποκτήσει ευρύτερη χρησιμότητα και να χρησιμοποιηθεί σαν βάση για περαιτέρω έρευνα. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η συστημική μέθοδος για τον υπολογισμό αγωγών φυσικού αερίου, όμως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τον κοινωνικοοικονομικό κίνδυνο για οποιοδήποτε αγωγό ενέργειας καθώς δεν συνδέεται με τα φυσικά χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου παρά μόνο με τα χαρακτηριστικά της κάθε χώρας και του ίδιου του αγωγού.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της οργάνωσης της ενεργειακής πολιτικής, η μέθοδος που παρουσιάστηκε θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του ενεργειακού ρίσκου των αγωγών και στην αποφυγή λανθασμένων επιλογών όσον αφορά τις ενεργειακές συμφωνίες. Θα μπορούσε δηλαδή να βοηθήσει στον υπολογισμό του ενεργειακού ρίσκου αγωγών που βρίσκονται υπό μελέτη και να τους αξιολογεί σύμφωνα με το αποτέλεσμα τους και σύμφωνα με την επιρροή που θα έχουν στους υπάρχοντες αγωγούς.

Όσον αφορά τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία για τον υπολογισμό του ενεργειακού ρίσκου αγωγών φυσικού αερίου, υπάρχουν πολλά περιθώρια αλλαγών και βελτίωσης που μπορούν να γίνουν. Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών ο οποίος προϋπήρχε στη βιβλιογραφία. Η μέθοδος όμως επιτρέπει την επεξεργασία των αρχικών αυτών μεταβλητών και μπορεί να ανταπεξέλθει το ίδιο καλά σε οποιαδήποτε αλλαγή τους. Επίσης υπάρχει η πιθανότητα κάποιος ερευνητής να θέλει να εξετάσει το πρόβλημα του ενεργειακού ρίσκου αγωγών φυσικού αερίου από διαφορετική σκοπιά με τελείως διαφορετικά σετ μεταβλητών. Εφόσον η κατηγοριοποίηση των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών είναι ευδιάκριτη, η χρήση της συστημικής μεθόδου είναι ικανή για τον υπολογισμό του ρίσκου των αγωγών. Επίσης μπορεί σε μελλοντική έρευνα να είναι επιθυμητή και η εισαγωγή του τεχνικού ρίσκου των αγωγών για την εξαγωγή του αποτελέσματος ρίσκου των αγωγών. Η συστημική

προσέγγιση που έχει υλοποιηθεί στην εργασία αυτή δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης επιπλέον κατηγοριών κινδύνου εφόσον οι παράμετροι αναλυθούν σαν χρονοσειρές όπως γίνεται σε όλες τις κατηγορίες.

Τέλος στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές που προϋπήρχαν στη διεθνή βιβλιογραφία, θεωρήθηκαν επαρκής και συνδέθηκαν μεταξύ τους για να παράγουν κατηγορίες κοινωνικοοικονομικού ρίσκου σύμφωνα με τον αλγόριθμο της PCA. Υλικό για περαιτέρω έρευνα θα αποτελούσε η μελέτη του βέλτιστου συνδυασμού των αρχικών μεταβλητών, δηλαδή η διεξαγωγή δοκιμών ανάμεσα στις μεθόδους μείωσης πολλών μεταβλητών και η απόδειξη αν όντως η PCA αποτελεί την πιο αξιόπιστη επιλογή ανάμεσα σε αυτές. Επίσης σε τεχνικό επίπεδο οι χρονοσειρές που μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν από τη μέθοδο είναι συγκριτικά λίγες σε σχέση με την πολυπλοκότητα των συστημάτων καθώς η ανεύρεση των δεδομένων είναι εξαιρετικά δύσκολη και πολλές φορές αδύνατη. Επομένως θα ήταν επιθυμητό σε μια πιο ενδεδειγμένη έρευνα, με τα κατάλληλα μέσα, να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες χρονοσειρές για τον υπολογισμό των εξισώσεων κατάστασης, οι οποίες πιθανότατα να οδηγηθούν σε χρονομεταβλητές και μη γραμμικές μορφές εξισώσεων. Επίσης βελτιστοποίηση θα μπορούσε να ερευνηθεί στον τομέα των φίλτρων Kalman και συγκεκριμένα στην αποκάλυψη της ακριβούς μορφής των θορύβων που εισέρχονται στο σύστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES , Green Paper, A European strategy for sustainable , competitive and secure energy, Brussels 8.3.2006
- [2] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Communication from the commission to the European Council and the European Parliament: An energy policy for Europe, Brussels 10.1.2007
- [3] Official Journal of European Union, Regulations: Regulation (EC) No 714/2009, Regulation (EC) No 715/2009, Regulation (EC) No 713/2009., Directives: Directive 2009/72/EC, Directive 2009/73/EC
- [4] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, A European strategic energy technology plan (set plan) “towards a low carbon future”, Brussels 22.11.2007
- [5] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Directive on the Promotion of the use of energy from renewable sources (2009/28/EC), Emission Trading Scheme Directive (2009/29/EC) and the Effort Sharing Decision (406/2009/EC) covering non-ETS sectors
- [6] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Directive on the geological storage of carbon dioxide (2009/31/EC).
- [7] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, Δεύτερη επισκόπηση της ενεργειακής στρατηγικής Σχέδιο δράσης της ΕΕ για την ενεργειακή ασφάλεια και αλληλεγγύη , Brussels 13.11.2008
- [8] Ι.Ν. Γρηγοριάδης, «Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ασφάλεια & Αγωγοί Φυσικού Νοτιοανατολική Ευρώπη: Ένα Νέο Πεδίο Ελληνοτουρκικής Συνεργασίας», ΕΛΙΑΜΕΠ, Policy Paper, nº 12, 2008
- [9] International Energy Agency, “Natural Gas Market Review 2008 - Optimising investments and ensuring security in a high-priced environment”, OCDE/IEA, 2008
- [10] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Μέτρα για την πρόληψη νέων κρίσεων φυσικού αερίου, Euroρα, Ειδήσεις, Ενέργεια και Φυσικοί Πόροι, Ιούλιος 2009
- [11] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Η Ευρώπη ξαναξεσταίνεται, Euroρα, Ειδήσεις, Ενέργεια και Φυσικοί Πόροι, Ιανουάριος 2009
- [12] Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (IOBE), «Νέα κλαδική Μελέτη του IOBE για την «Αγορά Φυσικού Αερίου» », Δελτίο Τύπου «Φυσικό Αέριο», Νοέμβριος 2008
- [13] RAE, “Report on the security of natural gas supply in Greece, According to the provisions of article 4 of Law 3428/2005, concerning the Liberalization of the Natural Gas Market”, 2009

- [14] . Προέδρου, «Η ελληνική πολιτική ενεργειακής ασφάλειας - Οι ελληνικές θέσεις στο πλαίσιο της ΕΕ και η δράση για την εξασφάλιση προμηθειών», ΕΛΙΑΜΕΠ, Κείμενο Εργασίας, n° 4, Οκτώβριος 2009
- [15] .N. Γρηγοριάδης, «Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Ασφάλεια & Αγωγοί Φυσικού Νοτιοανατολική Ευρώπη: Ένα Νέο Πεδίο Ελληνοτουρκικής Συνεργασίας», ΕΛΙΑΜΕΠ, Policy Paper, n° 12, 2008
- [16] ΔΕΠΑ, Εταιρικό Έντυπο 2009
- [17] Επίσημη Ιστοσελίδα της ΔΕΠΑ, <http://www.depa.gr>
- [18] K.E. Maroulis, "Greece's Role as the Emerging Energy Hub of South-Eastern Europe: DESFA's Role and Perspectives", ΔΕΣΦΑ, Δημοσιεύσεις
- [19] ΔΕΠΑ, «Η ΔΕΠΑ πρωτοστατεί στην μετατροπή της Ελλάδος σε ενεργειακό κόμβο της νοτιοανατολικής Ευρώπης - ΔΕΠΑ, Edison ΚΑΙ Bulgarian Energy Holding υπέγραψαν τη συμφωνία διασύνδεσης φυσικού αερίου μεταξύ Ελλάδος-Βουλγαρίας», Δελτίο Τύπου, Μάρτιος 2009
- [20] Risk-Wikipedia the free encyclopedia <http://en.wikipedia.org/wiki/Risk>
- [21] Douglas Hubbard The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It, John Wiley & Sons, 2009
- [22] [22]An Introduction to Factor Analysis of Information Risk (FAIR)", Risk Management Insight LLC, November 2006
- [23] ISO/IEC 27005:2008
- [24] "Power plays: Energy and Australia's security". Aspi.org.au. Retrieved 2010-06-01
- [25] G. Sales, M. Gonzalez, "Socio-economic risk on energy security", working paper, Universidad Nacional de Educacion a Distancia, Madrid, 2009
- [26] Socioeconomic Risk on Energy Security: Alternative Options to Aggregate Risk Along the Corridors. The Spanish Case Javier García-Verdugo Sales, Enrique San Martin González Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid (Spain)
- [27] Tutorial on Principal Component Analysis Jonathon Shlens* Systems Neurobiology Laboratory, Salk Institute for Biological Studies La Jolla, CA 92037 and Institute for Nonlinear Science, University of California, San Diego La Jolla, CA 92093-0402
- [28] QUANTIFICATION OF SOCIOECONOMIC RISK & PROPOSAL FOR AN INDEX OF SECURITY OF ENERGY SUPPLY. Factor analysis methodology applied to the measurement of potential energy driven Risks vector. Authors: F-UNED José María Marín Quemada (UNED) Carlos Velasco Murviedro (UNED) Javier García-Verdugo Sales (UNED) Gonzalo Escribano Francés (UNED) Ramón Mahía Casado (UAM) Rafael de Arce Borda

- (UAM) Enrique San Martín González (UNED) Laura Rodríguez Fernández (UNED) Beatriz Muñoz Delgado (UNED) Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid (Spain)
- [29] Philippe Jorion, Value at Risk The new benchmark for managing financial risk 3rd edition 2006
- [30] Leonard N. Stern New York University, Value at Risk, Paper
- [31] Ching-Tsong Chen Linear Systems Theory and Design
- [32] MOHINDER S. GREWAL, ANGUS p. ANDREWS, Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB Second Edition
- [33] Knight, F.H. (1921) Risk, Uncertainty, and Profit. Boston, MA: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Company
- [34] Douglas Hubbard "How to Measure Anything: Finding the Value of Intangibles in Business", John Wiley & Sons, 2007
- [35] Σπύρος Τζαφέστας, Αυτόματος Έλεγχος, Αθήνα 2004
- [36] Generating market risk scenarios using PCA: methodological and practical considerations
- [37] European Commission, "Green Paper — Towards a European strategy for the security of energy supply", Office for Official Publications of the European Communities, 2001
- [38] A. Checchi, A. Behrens, C. y Egenhofer, "Long-Term Energy Security Risks for Europe: A Sector-Specific Approach", Centre for European Policy Studies (CEPS), 2009.
- [39] Clingendael International Energy Programme, "Study on Energy Supply Security and Geopolitics. Final Report", CIEP, La Haya, Holanda, 2004
- [40] H. Doukas, A. Flamos, J.Psarras, "Risks on Security of Oil & Gas Supply", Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy, 2009.
- [41] "UCDP/PRIO Armed Conflict Dataset Version 4-2009", Centre for the Study of Civil War (CSCW), PRIO,
- [42] Website of Standard & Poor, Credit Ratings Definitions & FAQs, <http://www.standardandpoors.com>
- [43] BP, "BP Statistical Review of World Energy", June 2010
- [44] G. Sales, M. Gonzalez, "Socio-economic risk on energy security", working paper, Universidad Nacional de Educacion a Distancia, Madrid, 2009
- [45] Jamshidi M, Vadiiee N, and Ross T, eds. Fuzzy logic and control software and hardware applications. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993
- [46] Smith R, Bement T, Parkinson W, Mortensen F, Becker S and Meyer M. The Use of fuzzy control systems techniques to develop uncertainty distributions. Proc of the Jt Stat Meetings, Anaheim, CA 1997

- [47] Noah Williams, Robust Control An Entry for the New Palgrave, 2nd Edition, Department of Economics, Princeton University
- [48] University of Winsconsin – Madison, Factor analysis versus PCA
<http://psych.wisc.edu/henriques/pca.html>
- [49] Diana D. Suhr, University of Northern Colorado, Principal Component Analysis vs. Exploratory Factor Analysis <http://www2.sas.com/proceedings/sugi30/203-30.pdf>
- [50] A tutorial on principal component analysis, L.I.Smith, Cornell University, 2002
- [51] User' s manual XLSTAT - PRO
- [52] European Commission, Trade statistics – Economic fiche, September 2010
http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc_113459.pdf
- [53] BP, “BP Statistical Review of World Energy”, June 2008
- [54] G. Escribano, “The Ups and Downs of Europeanization: Change and Path Dependency in Spanish External Relations”, 2004
- [55] Επίσημη σελίδα του οργανισμού FREEDOM HOUSE, <http://www.freedomhouse.org>
- [56] EI Unit - The Economist, “Economist Intelligence Unit's Index of Democracy 2008”, 2009
- [57] Cingranelli-Richards (CIRI) Human Rights Dataset, <http://ciri.binghamton.edu/index.asp>
- [58] World bank - governance indicators, <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp>
- [59] NationMaster, <http://www.nationmaster.com>
- [60] “HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2009 - Overcoming barriers: Human mobility and development”, United Nations Development Programme (UNDP), 2009
- [61] Standard & Poor's, “Standard & Poor's Ratings Definitions”, RatingsDirect on the Global Credit, May 2010
- [62] Energy Intelligence Ranks World's 50 Top Oil Companies in Benchmark Survey”, Petroleum Intelligence Weekly, 2010
- [63] M. Gibney, L. Cornett & R. Wood, “Political Terror Scale 1976-2008”, Political Terror Scale Website, <http://www.politicalterrorsscale.org>
- [64] L. Harbom, H. Strand and H. M. Nygard, “UCDP/PRIO Armed Conflict Dataset Codebook Version 4-2009”
- [65] Steve Killelea, “GLOBAL PEACE INDEX – Methodology, Results & Findings”, <http://www.visionofhumanity.org>
- [66] Transparency International, Corruption Perceptions Index, <http://www.transparency.org>
- [67] Website of Doing Business, <http://www.doingbusiness.org>

- [68] OECD, “Arrangement On Officially Supported Export Credits - Premium And Related Conditions: Explanation Of The Premium Rules Of The Arrangement On Officially Supported Export Credits (The Knaepen Package)”, July 2004
- [69] Global Terrorism Database (GTD), <http://www.start.umd.edu/gtd/>
- [70] Energy Information Administration (EIA), “International Energy Annual 2006”, 2006
- [71] Index Mundi, <http://www.indexmundi.com/>
- [72] “Statistical Yearbook – 52nd issue”, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, 2008
- [73] European Commission, Bilateral relations, <http://ec.europa.eu/trade/creating-opportunities/bilateral-relations/countries/ukraine/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Δίνεται ο κώδικας υλοποίησης σε MATLAB του υπολογισμού του ενεργειακού ρίσκου του αγωγού:

```
%arxika diavazoume to riska gia oses xores apoteloun ton agogo kai einai se
%sygkekrimeno xoro se kathe sheet enos excel
xores=2;
data = zeros(6, 4*xores);
```

```
for i=1:xores
    [arx_data,txt,raw] = xlsread('data_mat.xlsx',i,'B2:E7');
    data(:, (4*i-3):4*i ) = arx_data;
end
```

```
Td = 6; %orizoume xroniko orizonta
A = zeros(4, 4*xores); %pinakas A ton xoron
x0 = zeros(4, xores); %arxikes katastaseis ton xoron
apotelesma_xoras = zeros(Td+1 , xores);
%to 16x16 systima ypologizetai sto epomeno for loop
for i=1:xores
    voith = zeros(4);
    for j=1:4
        B = data(1:4, (4*i-3):4*i)\data(2:5, (4*i-4)+j);
        voith(:,j) = B;
    end
    x0(:,i) = data(1, (4*i-3):4*i)';
    A(:, (4*i-3):4*i ) = voith';
end
```

```
end
for i=1:xores
    [V, D1] = eig(A(:, (4*i-3):4*i ));
    s1 = sym('s1');
    s2 = sym('s2');
    s3 = sym('s3');
    s4 = sym('s4');
    L = sym(zeros(4));
    L(1,1)=s1;
    L(2,2)=s2;
    L(3,3)=s3;
    L(4,4)=s4;
    Def = V*L/V;
    maxt= max(max(abs(real(D1))));
    Def = Def*x0(:,i);
    if maxt== abs(real(D1(1,1)))
        if imag(D1(1,1))~=0
            if D1(1,1)==D1(2,2)
                Def1=diff(Def, s1);
                Def2=diff(Def, s2);
                Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(2,2);
                Syntelestis= double(Def);
            elseif D1(1,1)==D1(3,3)
                Def1=diff(Def, s1);
                Def2=diff(Def, s3);
                Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(3,3);
                Syntelestis= double(Def);
            end
        end
    end
end
```

```

elseif D1(1,1)==D1(4,4)
    Def1=diff(Def, s1);
    Def2=diff(Def, s4);
    Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(4,4);
    Syntelestis= double(Def);
end
else
    Def = diff(Def, s1);
    maxt = D1(1,1);
    Def= double(Def);
    Syntelestis = maxt*Def;
end
elseif maxt== abs(real(D1(2,2)))
if imag(D1(2,2))~=0
    if D1(1,1)==D1(2,2)
        Def1=diff(Def, s1);
        Def2=diff(Def, s2);
        Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(2,2);
        Syntelestis= double(Def);
    elseif D1(2,2)==D1(3,3)
        Def1=diff(Def, s2);
        Def2=diff(Def, s3);
        Def=Def1*D1(2,2)+Def2*D1(3,3);
        Syntelestis= double(Def);
    elseif D1(2,2)==D1(4,4)
        Def1=diff(Def, s2);
        Def2=diff(Def, s4);
        Def=Def1*D1(2,2)+Def2*D1(4,4);
        Syntelestis= double(Def);
    end
else
    Def = diff(Def, s2);
    maxt = D1(2,2);
    Def= double(Def);
    Syntelestis = maxt*Def;
end
elseif maxt== abs(real(D1(3,3)))
if imag(D1(3,3))~=0
    if D1(1,1)==D1(3,3)
        Def1=diff(Def, s1);
        Def2=diff(Def, s3);
        Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(3,3);
        Syntelestis= double(Def);
    elseif D1(2,2)==D1(3,3)
        Def1=diff(Def, s2);
        Def2=diff(Def, s3);
        Def=Def1*D1(2,2)+Def2*D1(3,3);
        Syntelestis= double(Def);
    elseif D1(3,3)==D1(4,4)
        Def1=diff(Def, s3);
        Def2=diff(Def, s4);
        Def=Def1*D1(3,3)+Def2*D1(4,4);
        Syntelestis= double(Def);
    end
else
    Def = diff(Def, s3);
    maxt = D1(3,3);

```

```

        Def= double(Def);
        Syntelestis = maxt*Def;
    end
elseif maxt== abs(real(D1(4,4)))
    if imag(D1(4,4))~=0
        if D1(1,1)==D1(4,4)
            Def1=diff(Def, s1);
            Def2=diff(Def, s4);
            Def=Def1*D1(1,1)+Def2*D1(4,4);
            Syntelestis= double(Def);
        elseif D1(2,2)==D1(4,4)
            Def1=diff(Def, s2);
            Def2=diff(Def, s4);
            Def=Def1*D1(2,2)+Def2*D1(4,4);
            Syntelestis= double(Def);
        elseif D1(3,3)==D1(4,4)
            Def1=diff(Def, s3);
            Def2=diff(Def, s4);
            Def=Def1*D1(3,3)+Def2*D1(4,4);
            Syntelestis= double(Def);
        end
    else
        Def = diff(Def, s4);
        maxt = D1(4,4);
        Def= double(Def);
        Syntelestis = maxt*Def;
    end
end
R = eye(4);
Q = R;
B = zeros(4,1);
D = B;
C = eye(4);
G = C;
H = zeros(4);
sys = ss(A(:, (4*i-3):4*i ), [B G], C, [D H], -1);
[kest,Li,P] = kalman(sys,Q,R,0);
u = (1:1:Td)';
t = 0:1:Td;
[y,t,x] = initial(sys,x0(:,i),t);
eisodos = [ zeros(size(t),1), y];
t = 0:1:Td;
[y_e,t,x_e] = lsim(kest, eisodos , t , zeros(4,1));
apotelesma_xoras(:,i) = abs(y_e(:,1:4)*Syntelestis);
end
end
%edo orizoume xeirokinita to dianysma p se sxesi me to poses xores yparxoun
%ktl ktl(tha mporouse na ginei kai meso excel to idio pragma einai)
q = [ 0.1611 0.01006 ];% 0.01 0.1 0.1];
Risko_agogou = (apotelesma_xoras)*q';
%plot(y_e(:,1), 'b');
%set(gca, 'Color', [0.8 0.8 0.8])
%xlabel('time(years)')
%ylabel('Risk')
%title('Risk Level through time')
%text(3,y_e(3,1), 'Rs')
%hold all

```

```
%plot(y_e(:,2),'m');
%text(3,y_e(3,2),'Rp')
%hold all
%plot(y_e(:,3),'c');
%text(3,y_e(3,3),'Re')
%hold all
%plot(y_e(:,4),'r');
%text(3,y_e(3,4),'Rec')
%hold off
%figure(h);
h=plot(Risko_agogou,'m');
set(gca,'Color',[0.8 0.8 0.8])
xlabel('time(years)')
ylabel('Total Channel Risk')
title('Risk Level through time')
```