

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

*Οικονομικά όρια για την απόφαση δημιουργίας ή εγκατάλειψης
επενδυτικού σχεδίου εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο*

Στέφανος Ν. Σπερδόκλης

Γρηγόριος Κ. Τσιλιγκίρης

Επιβλέπων: Ηλίας Τατσιόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ

*Οικονομικά όρια για την απόφαση δημιουργίας ή εγκατάλειψης
επενδυτικού σχεδίου εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο*

Στέφανος Ν. Σπερδόκλης

Γρηγόριος Κ. Τσιλιγκίρης

Επιβλέπων: Ηλίας Τατσιόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή.

.....

Η. Τατσιόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....

Στέφανος Ν. Σπερδόκλης

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π

.....

Γρηγόριος Κ. Τσιλιγκίρης

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π

Copyright © Σπερδόκλης Σ. , Τσιλιγκίρης Γ. 2012

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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί τη Διπλωματική μας Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ υπό την επίβλεψη του καθηγητή του τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας Ηλία Τατσιόπουλου. Με την ευκαιρία αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κύριο Αθανάσιο Τόλη, για τη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μας παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας, τους γονείς μας και τα αδέρφια μας που μας στήριξαν και μας συμβούλευαν σε κάθε βήμα της φοιτητικής μας ζωής.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----|
| 1.Έποψη..... | 6 |
| 2.Εισαγωγή..... | 8 |
| 3.Βιβλιογραφική Επισκόπηση..... | 11 |
| 3.1.Spark spread..... | 11 |
| 3.2.Στοχαστικό μοντέλο..... | 12 |
| 3.3.Αξιολόγηση παραγωγής ηλεκτρισμού..... | 14 |
| 3.4.Εκσυγχρονισμός εργοστασίου..... | 16 |
| 4.Μαθηματικό Μοντέλο..... | 17 |
| 4.1.Τμήμα 1- Διαδικασία διαμόρφωσης της τιμής ενέργειας..... | 17 |
| 4.2.Τμήμα2-Αποτίμηση του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού..... | 23 |
| 4.3.Τμήμα3-Επενδυτική ανάλυση..... | 29 |
| 5.Υπολογιστικό Μοντέλο..... | 36 |
| 6.Αποτελέσματα –Ανάλυση..... | 48 |
| 6.1.Ανάλυση ευαισθησίας..... | 52 |
| 6.2.Τεχνολογία δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα CO ₂ | 87 |
| 7.Συμπεράσματα..... | 91 |
| 8.Βιβλιογραφία..... | 95 |
| 9.Παραρτήματα..... | 97 |
| 9.1. Παράρτημα Α..... | 97 |
| 9.2. Παράρτημα Β..... | 99 |
| 9.3. Παράρτημα Γ..... | 101 |
| 9.4. Παράρτημα- Κώδικας..... | 104 |

1. Έποψη

Σκοπός της διπλωματικής μας εργασίας είναι ο υπολογισμός του βέλτιστου χρόνου, της δυναμικότητας και λοιπών αποφάσεων για την υλοποίηση ενεργειακών επενδύσεων σύγχρονης τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι επενδύσεις για ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου, αξιοποιώντας ένα στοχαστικό μοντέλο υπολογισμού των τιμών του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου, σύμφωνα με τη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010). Χρησιμοποιείται ένα στοχαστικό μοντέλο δύο παραγόντων για τις διακυμάνσεις της τιμής του spark spread. Αυτό μας επιτρέπει, αρχικά, να βρούμε τα όρια για τις τιμές του spark spread πάνω από τις οποίες είναι προσοδοφόρο να πραγματοποιηθεί η επένδυση. Παράλληλα, επιτρέπει να αναλύσουμε την αξία που έχει η λειτουργική ευελιξία, η επιλογή δηλαδή για μείωση ή αύξηση της παραγωγής ηλεκτρισμού όταν αλλάζει η τιμή του spark spread και τέλος, τη δυνατότητα να εγκαταλείψουμε τον εξοπλισμό του εργοστασίου εφόσον το εγχείρημα αποδειχτεί ζημιολόγο.

Στη συνέχεια και σύμφωνα με τη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010) χρησιμοποιείται μια μέθοδος υπολογισμού των ανώτερων και κατώτερων ορίων της αξίας του εργοστασίου καθώς και των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης. Τα όρια αυτά προκύπτουν από τη λειτουργία εργοστασίου φορτίου βάσης και ευέλικτου εργοστασίου. Η μελέτη αυτή χρησιμοποιεί αντιπροσωπευτικά δεδομένα επενδύσεων και λειτουργίας καθώς και παλαιότερες προθεσμιακές τιμές που προέρχονται από ενεργές αγορές ενέργειας. Επιπλέον, μελετάται κατά πόσο είναι συμφέρουσα η εγκατάσταση τεχνολογίας δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) συναρτήσει του κόστους εκπομπών.

Μέσα από την παρακάτω μελέτη προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα. Αρχικά, εξακριβώνεται πως όταν λαμβάνεται η απόφαση για εγκατάσταση του εργοστασίου, η δυνατότητα εγκατάλειψης του έργου δεν έχει σημαντική αξία, ενώ αντίθετα η λειτουργική ευελιξία και η αξία της δυνατότητας επιλογής του χρόνου έναρξης της κατασκευής του εργοστασίου έχουν σημαντική επίδραση στο αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για την κατασκευή της μονάδας. Εν συνεχεία, συμπεραίνεται πως η συνδυασμένη αξία της λειτουργικής ευελιξίας και της

δυνατότητας εγκατάλειψης είναι αρκετά μικρότερη από το άθροισμα των επιμέρους αξιών τους, καθώς και οι δυο είναι επιλογές κλεισίματος του εργοστασίου και η μία επικαλύπτει την άλλη.

2. Εισαγωγή

Στα επόμενα 20 χρόνια τα ορυκτά καύσιμα θα αντιπροσωπεύουν το 75% όλων των νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 60% αυτής θα προέρχεται από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου. Έτσι, πολλές εταιρίες ηλεκτρισμού και βιομηχανίες φυσικού αερίου εξετάζουν επενδύσεις σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις. Ταυτόχρονα, η αναδιάρθρωση των αγορών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου επέφερε ευκολότερη πρόσβαση και δυνατότητα επεξεργασίας των σημειακών και προθεσμιακών τιμών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου.

Η κατασκευή αγωγών φυσικού αερίου είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς του μειώνεται γρήγορα σε σχέση με την απόδοση του αγωγού. Ως εκ τούτου, εφόσον μια εταιρεία έχει στην κατοχή της μια αναξιοποίητη έκταση πάνω από ένα κοίτασμα φυσικού αερίου, θα μπορεί να έχει μεγάλο όφελος από την τοποθέτηση μια μονάδας παράγωγης ηλεκτρισμού με καύσιμο το φυσικό αέριο στην έκταση αυτή, βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο και την οικονομία κλίμακας στη μεταφορά του καυσίμου. Προκύπτει λοιπόν, ότι μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φυσικό αέριο δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον μόνο λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρισμού.

Έτσι, δημιουργούνται ορισμένα ερωτήματα:

- Πόσο υψηλή πρέπει να είναι η τιμή ηλεκτρισμού σε σχέση με την τιμή του φυσικού αερίου, πριν αρχίσει μία εταιρία την κατασκευή της μονάδας;
- Έχει σημασία εάν η μονάδα είναι φορτίου βάσης, δηλαδή λειτουργεί ανεξάρτητα από το επίπεδο των τιμών του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου ή είναι ευέλικτη, δηλαδή λειτουργεί μόνο όταν η τιμή ηλεκτρισμού είναι πάνω από το κόστος των καυσίμων;
- Πώς η δυνατότητα για εγκατάλειψη του έργου επηρεάζει την απόφαση για επένδυση;
- Πως το κόστος εκπομπών CO₂ επηρεάζει την κερδοφορία;

Σε αυτά τα ερωτήματα προσπαθεί να απαντήσει η μελέτη που διεξάγουμε.

Το γεγονός που θα μας επιτρέψει να παρατηρήσουμε αν το νέο εργοστάσιο θα λειτουργεί ως φορτίου βάσης ή ως ευέλικτο, ανάλογα με τις παρούσες τιμές ενέργειας, εξαρτάται περισσότερο από την κατάσταση της τοπικής αγοράς φυσικού

αερίου παρά από τον ίδιο τον τεχνικό σχεδιασμό της μονάδας. Οι νέες μονάδες φυσικού αερίου είναι συνήθως συνδυασμένου κύκλου (combined cycle gas turbine-CCGT), οι οποίες μπορούν να λειτουργούν τόσο σαν μονάδες φορτίου βάσης, όσο και σαν ευέλικτες. Η λειτουργική ευελιξία συνήθως περιορίζεται από την ευελιξία της εισροής φυσικού αερίου. Εάν υπάρχει δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης ή/και εναλλακτικής χρήσης του φυσικού αερίου, ο διαχειριστής της μονάδας σπάνια θα οδηγηθεί στη μείωση της παραγωγικής ικανότητας του εργοστασίου.

Οι λειτουργικές ταμειακές ροές σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού με φυσικό αέριο εξαρτώνται από το spark spread, που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της τιμής του ηλεκτρισμού και του κόστους του φυσικού αερίου που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του. Τα μακροχρόνια swaps ανάμεσα στον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο δίνουν την ακριβή αξία του σταθερού ρυθμού εισροής τους, αγνοώντας το ρίσκο που ενέχεται στην πίστωση και την ρευστότητα. Ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης λειτουργεί με σταθερές εκροές ηλεκτρισμού και εισροές φυσικού αερίου, οπότε μπορεί να αξιολογηθεί με μακροπρόθεσμα swaps. Αντιθέτως, μια ευέλικτη μονάδα μπορεί να αντιδρά σε βραχυπρόθεσμες μεταβολές του spark spread αυξομειώνοντας την παραγωγική της ικανότητα, οδηγώντας σε μη σταθερές εκροές ηλεκτρισμού και εισροές φυσικού αερίου. Ως εκ τούτου, απαιτούνται οι βραχυπρόθεσμες δυναμικές του spark spread για την αποτίμηση του ευέλικτου εργοστασίου.

Μακροπρόθεσμες επενδύσεις, όπως αυτές που γίνονται για σταθμούς παράγωγης ενέργειας, δεν αναλαμβάνονται, μόνο, λόγω στιγμιαίων υψηλών αιχμών στην τιμή του spark spread. Οι επενδυτικές αποφάσεις βασίζονται σε μακροπρόθεσμα επίπεδα τιμών, που ονομάζονται τιμές ισορροπίας. Χρησιμοποιώντας μία προσέγγιση πραγματικών επιλογών, συγκρίνουμε τη προσέγγιση του παρόντος όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread με ένα υπολογισμένο κατώφλι απόφασης επένδυσης. Όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread φτάσει στο κατώφλι απόφασης επένδυσης, η κατασκευή της μονάδας πρέπει να ξεκινήσει.

Η έρευνά μας και σύμφωνα με τη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010) δομείται με τον εξής τρόπο: Αρχικά παρουσιάζεται το **Μαθηματικό Μοντέλο** το οποίο το διακρίνουμε στα παρακάτω τμήματα. Στο **Τμήμα 1** αναπτύσσεται μια διαδικασία διαμόρφωσης της τιμής του spark spread, στο **Τμήμα 2** γίνεται η αποτίμηση του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού και υπολογίζονται τα άνω

και κάτω όρια της αξίας του εργοστασίου. Στο **Τμήμα 3** παρουσιάζονται τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης. Στη συνέχεια, αναλύεται το **Υπολογιστικό μοντέλο** όπου εφαρμόζεται το στοχαστικό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί από τους Näsäkkälä and Fleten (2010), όπως αυτό αντιστοιχεί στην ελληνική αγορά. Έπειτα, κάνουμε **κριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων** της παραπάνω εφαρμογής. Τέλος παρουσιάζονται τα **συμπεράσματα** της μελέτης μας.

3.Βιβλιογραφική επισκόπηση

3.1.Spark spread

Το spark spread χρησιμοποιείται ως ο βασικός γνώμονας κερδοφορίας ή ζημίας στη διπλωματική μας εργασία όπως έγινε και στη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2005) και Näsäkkälä and Fleten (2010).

Στη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010) η αξία ενός εργοστασίου παραγωγής ενέργειας με χρήση αερίου εξαρτάται από το spark spread το οποίο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της τιμής ηλεκτρισμού και του κόστους του φυσικού αερίου για την παραγωγή του ηλεκτρισμού. Γίνεται μοντελοποίηση του spark spread χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δυο παραγόντων, επιτρέποντας τη μέση επιστροφή στις βραχυπρόθεσμες παραλλαγές και την ύπαρξη αβεβαιότητας στον όρο μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread, στην οποία οι τιμές επανέρχονται.

Στη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2005) αναλύονται δυο τύποι εργοστασίων παραγωγής ενέργειας: εργοστάσια φορτίου βάσης και φορτίου αιχμής. Ένα εργοστάσιο φορτίου αιχμής παράγει ηλεκτρισμό όταν το spark spread υπερβαίνει τα κόστη εκπομπών, ενώ ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης παράγει ηλεκτρισμό για κάθε επίπεδο του spark spread. Ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης μπορεί με ορισμένες τροποποιήσεις να αναβαθμιστεί σε εργοστάσιο φορτίου αιχμής. Αρχικά, γίνεται εύρεση των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης για ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης. Τα όρια αυτά δίνουν το βέλτιστο τύπο εργοστασίου παραγωγής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου ως συνάρτηση του spark spread. Δεύτερον, υπολογίζονται τα χρήματα που απαιτούνται για το κόστος της επένδυσης. Όταν το κόστος επένδυσης είναι χαμηλότερο από την αξία του εργοστασίου, είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί το εργοστάσιο με την πιο σύγχρονη τεχνολογία. Απεικονίζεται συγκεκριμένα πώς το μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν λαμβάνονται υπόψη οι επενδύσεις για εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με χρήση αερίου.

3.2.Στοχαστικό μοντέλο

Στην έρευνα που κάνουμε χρησιμοποιούμε ένα στοχαστικό μοντέλο δύο παραγόντων για να ορίσουμε το spark spread το οποίο αναπτύσσεται στις μελέτες των Schwartz and Smith (2000), Schwartz (1997), Pilipovic (1998) και Ross (1997).

Στη μελέτη των Schwartz and Smith (2000), αναπτύσσεται ένα μοντέλο δυο παραγόντων για τις εμπορικές τιμές που επιτρέπουν μέση επιστροφή στις βραχυπρόθεσμες τιμές και αβεβαιότητα στο επίπεδο ισορροπίας, στο οποίο οι τιμές επιστρέφουν. Παρόλα αυτά, οι δυο αυτοί παράγοντες δεν είναι απευθείας παρατηρήσιμοι και ενδέχεται να υπολογίζονται από μελλοντικές και σημειακές τιμές. Κινήσεις στις τιμές για μελλοντικές συμβάσεις μακροπρόθεσμης ωρίμανσης, παρέχουν πληροφορίες για το επίπεδο του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Οι διαφορές μεταξύ των τιμών για βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συμβάσεις παρέχουν πληροφορίες για τις βραχυπρόθεσμες αποκλίσεις στις τιμές. Οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τιμές για μελλοντικές συμβάσεις πετρελαίου. Το μοντέλο εφαρμόζεται σε κάποια υποθετικά κεφάλαια που συνδέονται με το πετρέλαιο για να τονιστεί η χρησιμότητα και κάποια από τα πλεονεκτήματα του, σε σχέση με το μοντέλο των Gibson and Schwartz (1990).

Στη μελέτη του Schwartz (1997), συγκρίνονται 3 μοντέλα στοχαστικής συμπεριφοράς τιμών των βασικών εμπορευμάτων. Αυτά υπολογίζουν τη μέση επιστροφή από την οπτική της ικανότητας ύπαρξης τιμής σε μελλοντικά συμβόλαια, και πως αυτή επιδρά αρμονικά, στην αξιολόγηση άλλων οικονομικών και πραγματικών κεφαλαίων. Το πρώτο μοντέλο είναι ένα απλό μοντέλο ενός παράγοντα, στο οποίο ο λογάριθμος των σημειακών τιμών του εμπορεύματος θεωρείται ότι ακολουθεί μια διαδικασία μέσης επιστροφής. Το δεύτερο μοντέλο λαμβάνει υπόψη ένα δεύτερο στοχαστικό παράγοντα, την ευκολία που αποφέρουν τα εμπορεύματα, που υποτίθεται ότι ακολουθούν μια διαδικασία μέσης επιστροφής. Στη συνέχεια, το τρίτο μοντέλο, επίσης, περιλαμβάνει στοχαστικά ενδιαφέροντα ποσοστά. Η μεθοδολογία φιλτραρίσματος του *Kalman* χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι παράμετροι του τρίτου μοντέλου για δυο εμπορικά προϊόντα, δηλαδή το χαλκό και το πετρέλαιο και ένα πολύτιμο μέταλλο, το χρυσό. Η ανάλυση αποκαλύπτει μια ισχυρή μέση επιστροφή στις τιμές των εμπορικών

προϊόντων. Χρησιμοποιώντας τις αναμενόμενες παραμέτρους, αναλύονται, αφενός οι επιπλοκές των μοντέλων για τη δομή μελλοντικών τιμών και αφετέρου, οι μεταβλητότητες μεταξύ των συμβάσεων για μελλοντική παράδοση. Τελικά, αναλύονται οι επιπλοκές των μοντέλων για τις αποφάσεις υπολογισμού των απαιτούμενων κεφαλαίων.

Η μελέτη του Pilipovic (1998) είναι μία από τις πρωταρχικές μελέτες πάνω στη ποσοτική ανάλυση και τη μελλοντική αβεβαιότητα. Η μελέτη αυτή αποτέλεσε τη βάση για τη μετέπειτα μοντελοποίηση του spark spread.

3.3.Αξιολόγηση παραγωγής ηλεκτρισμού

Γίνεται μια προσπάθεια αξιολόγησης της παραγωγής ηλεκτρισμού με τη βοήθεια των μελετών του Deng (2001) και Deng (2005). Σε αυτές παρουσιάζεται και εφαρμόζεται μια μεθοδολογία για αξιολόγηση των παραγώγων του ηλεκτρισμού δημιουργώντας χαρτοφυλάκια αναπαραγωγής που προκύπτουν από προθεσμιακές τιμές του ηλεκτρισμού και του ενεργητικού για μηδενικό κίνδυνο. Η αναπαραγωγή μελλοντικής βάσης γίνεται απαραίτητη από τη μη αποθηκεύσιμη φύση του ηλεκτρισμού, που αποκλείει την παραδοσιακή σημειακή αγορά και τη μέθοδο αξιολόγησης των παράγωγων εμπορευμάτων που βασίζεται στην αποθήκευση. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση μελλοντικής βάσης, η αξιολόγηση προέρχεται τόσο από το spark spread, όσο και από τις γεωγραφικές επιλογές των γεωμετρικών κινήσεων Brownian και της μέσης επιστροφής της διαδικασίας τιμολόγησης. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης χρησιμοποιούνται με τη σειρά τους για την παραγωγή ρεαλιστικών αξιολογήσεων που αφορά τη δημιουργία και μετάδοση περιουσιακών στοιχείων. Τελικά, η συνταγή της αξιολόγησης των παραγωγικών περιουσιακών στοιχείων, χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί ένα δείγμα των περιουσιακών στοιχείων που έχουν πρόσφατα πουληθεί, ενώ ταυτόχρονα και οι θεωρητικές τους αξίες που έχουν υπολογιστεί, συγκρίνονται με τις τιμές πώλησης που παρατηρούνται.

Στη μελέτη Deng (2005) μελετάται το πρόβλημα για αξιολόγηση της παραγωγής ηλεκτρισμού και των ευκαιριών για επένδυση κεφαλαίων σε παραγωγή ηλεκτρισμού σε μια απορρυθμισμένη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας. Το πλαίσιο αξιολόγησης που βασίζεται στο spark spread, επεκτείνεται για να συμπεριλάβει τις ακραίες τιμές ηλεκτρισμού. Αυτό το πλαίσιο παρέχει ένα χρήσιμο εργαλείο για τους κατόχους εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να μπορούν να εκτελούν ακραίο και επικίνδυνο management. Με άλματα στη διαδικασία τιμολόγησης της παραγωγής ενέργειας, φαίνεται πώς να καθορίζεται η αξία μιας ευκαιρίας για απόκτηση ικανοποιητικής παραγωγής και η τιμή του spark spread πάνω από την οποία μια εταιρία πρέπει να επενδύσει. Απεικονίζονται οι επιπτώσεις των ακραίων τιμών της αξίας παραγωγής ηλεκτρισμού και των χρονικών αποφάσεων για επένδυση, για το πότε δηλαδή πρέπει να επενδύσουμε σε αυτή την παραγωγική ικανότητα.

Από την παρούσα μελέτη προκύπτει το συμπέρασμα πως παρόλο που οι αιχμές είναι σημαντικές για αξιολόγηση, σε πολλές περιπτώσεις αγνοώντας τις, οδηγούμαστε σε μικρά σφάλματα αξιολόγησης όσον αφορά αποδοτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με την προϋπόθεση ότι οι διαδικασίες καθορισμού των τιμών παρουσιάζουν μέση επιστροφή.

3.4. Εκσυγχρονισμός εργοστασίου

Στην προσπάθειά μας να προσδιορίσουμε τα όρια της αξίας του εργοστασίου διαπιστώσαμε πως αυτή σταθεροποιείται περίπου στα 80 με 100 χρόνια λειτουργίας. Θεωρητικά ο μέσος όρος ζωής ενός τέτοιου εργοστασίου είναι 25 χρόνια, αλλά επεκτείνεται με συνεχείς αναβαθμίσεις και μετασκευές, όπως φαίνεται και από τη μελέτη του Ellerman (1998). Στη μελέτη αυτή γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν οι λόγοι για τους οποίους εκσυγχρονίζονται τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πρώτος λόγος είναι οι περιορισμοί και οι νέες αυστηρές περιβαλλοντικές προδιαγραφές που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός νέου εργοστασίου παραγωγής ενέργειας. Αυτό αυξάνει το κόστος κατασκευής και καθίσταται πιο συμφέρον να επεκταθεί η διάρκεια ζωής των ήδη υπαρχόντων εργοστασίων.

Μια δεύτερη αιτία εκσυγχρονισμού υπαρχόντων μονάδων μπορεί να είναι η μείωση των κινήτρων για τη δημιουργία νέων εγκαταστάσεων που προκύπτουν από τις αλλαγές στο ρυθμιστικό καθεστώς.

Η τρίτη επίπτωση της φαινομενικά απεριόριστης χρονικής παράτασης της διάρκειας ζωής των υφιστάμενων εγκαταστάσεων είναι ότι φαίνεται να παρατηρείται επανάληψη της τεχνολογικής προόδου στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δραματικές βελτιώσεις στις τεχνικές και το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που σημάδεψε το πρώτο μισό του 20ου αιώνα φαίνεται να έχουν έρθει σε αδιέξοδο στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και το 1970. Η τρέχουσα επανέναρξη της τεχνολογικής προόδου δεν λαμβάνει τη μορφή που χαρακτήριζαν τις προηγούμενες βελτιώσεις στον τομέα της παραγωγής, που ενσωματώνεται στο «νέο» εργοστάσιο. Οι τρέχουσες βελτιώσεις στη διάγνωση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο φαίνεται να είναι αρκετά ικανές για να αξιοποιηθούν από τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις και να αυξήσουν το προσδόκιμο της χρήσης τους. Συμπερασματικά, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο: χαμηλότερο κόστος για το ίδιο παραγόμενο προϊόν.

4.Μαθηματικό Μοντέλο

4.1.Διαδικασία διαμόρφωσης της τιμής ενέργειας

Ως δείκτη κερδοφορίας του εργοστασίου και σαν οδηγό για την αβεβαιότητα του μοντέλου μας, χρησιμοποιούμε το spark spread, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά της τιμής του ηλεκτρισμού και του κόστους παραγωγής και δίνεται από τον τύπο:

$$S = S_e - K_H S_g \quad (1)$$

Όπου: S: spark spread.

- a. S_e : η τιμή ηλεκτρισμού ανά μονάδα ενέργειας [Euro/MWh_{el}].
- b. S_g : η τιμή του φυσικού αερίου. [Euro/MWh_{gas}]
- c. K_H : η ποσότητα φυσικού αερίου που απαιτείται για να παραχθεί μία MWh_{el} [MWh_{gas}/MWh_{el}].

Η ειδική κατανάλωση θερμότητας K_H καθορίζει την αποδοτικότητα του εργοστασίου. Όσο πιο χαμηλή είναι, τόσο πιο αποδοτική είναι η εγκατάσταση. Ένα σύγχρονο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού με φυσικό αέριο είναι συνδυασμένου κύκλου. Η αποδοτικότητα ενός τέτοιου εργοστασίου μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου, αλλά μπορεί να επανέλθει ή ακόμα και να βελτιωθεί με αντικαταστάσεις και μετασκευές, και μειώνεται όταν δουλεύει στο μισό της παραγωγικής του ικανότητας.

Το spark spread είναι το περιθώριο συνεισφοράς (contribution margin) ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού. Μπορεί να είναι τόσο θετικό όσο και αρνητικό και μπορεί να έχει έναν αριθμό εμπειρικών ιδιοτήτων συμπεριλαμβανομένων της εποχικότητας, της μέσης επιστροφής (mean reversion), άλματα ή/και αιχμές, εποχικότητα ή/και στοχαστικότητα στη διακύμανση.

Η εποχικότητα προκαλείται από την υποκείμενη εποχικότητα στη ζήτηση ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, ενώ σε συστήματα πλούσια σε υδροηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται και από την εποχικότητα της προσφοράς. Η μέση επιστροφή προκαλείται από τις χρονικές υστερήσεις στην προσαρμογή των παραγωγών

ενέργειας στα διάφορα επίπεδα τιμών. Μια αύξηση του spark spread προσελκύει παραγωγούς στην αγορά ασκώντας πτωτική πίεση στις τιμές. Αντιθέτως, όταν οι τιμές μειώνονται κάποιοι παραγωγοί θα μειώσουν προσωρινά την παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου ασκώντας έτσι ανοδική πίεση στις τιμές. Καθώς αυτές οι αλλαγές δεν είναι στιγμιαίες, μπορεί οι τιμές να είναι προσωρινά υψηλές ή χαμηλές, αλλά επανέρχονται προς μία μακροπρόθεσμη τιμή του spark spread. Άλματα μπορούν να προκληθούν στο spark spread λόγω μιας μη αναμενόμενης πληροφορίας που αφορά τη μελλοντική προσφορά ή τη ζήτηση. Οι αιχμές, δηλαδή γρήγορες μεγάλες μετατοπίσεις τιμών συνοδευόμενες ταχύτατα από αντίθετες μετατοπίσεις, οφείλονται στη μη αποθηκεύσιμη φύση του ηλεκτρισμού και στη δαπανηρή αποθήκευση του φυσικού αερίου οδηγώντας έτσι την αγορά σε δύσκολες καταστάσεις όταν η ζήτηση είναι κοντά στην παραγωγική ικανότητα.

Η αβεβαιότητα του spark spread οφείλεται στην αβεβαιότητα των τιμών του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου. Μπορεί να υπάρχει αβεβαιότητα όχι μόνο σε βραχυπρόθεσμα spark spreads, αλλά και στο μέσο spark spread σε μια τυπική διάρκεια ζωής ενός εργοστασίου παραγωγής ενέργειας. Η μακροπρόθεσμη αβεβαιότητα οφείλεται στις βελτιώσεις της εύρεσης του φυσικού αερίου και της παραγωγικής τεχνολογίας, αλλαγές στην ανακάλυψη του φυσικού αερίου, βελτιωμένη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας και πολιτικές ή ρυθμιστικές επιδράσεις. Για παράδειγμα, απροσδόκητη εξέλιξη στο κόστος των εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας, όπως η πυρηνική ενέργεια, μπορεί να οδηγήσει σε συνεχείς αλλαγές των τιμών του ηλεκτρισμού.

Σκοπός είναι η δημιουργία ενός μοντέλου για το spark spread που να περιλαμβάνει τις προαναφερθείσες ιδιότητες οι οποίες είναι σημαντικές για την αξιολόγηση της επένδυσης και τη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα το μοντέλο πρέπει να είναι αρκετά φειδωλό ώστε να διευκολύνει την επένδυση και την ανάλυση των επιλογών. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο που βασίζεται στους Schwartz and Smith (2000), Pilipovic (1998) και Ross (1997).

Υπόθεση 1

Το spark spread μπορεί να αναπαρασταθεί από το άθροισμα δύο όρων, ενός βραχυπρόθεσμου θορύβου $\chi(t)$ που αναπαριστά την τυπική απόκλιση των στοιχειωδών εσόδων και εξόδων που απαρτίζουν το spark spread ((α) τιμή ηλεκτρισμού-έσοδα και (β) τιμή φυσικού αερίου-έξοδα) τηρώντας όμως την εξίσωση (1) και ενός μακροπρόθεσμου όρου $\xi(t)$ που αντιστοιχεί στην τιμή ισορροπίας των ίδιων μεγεθών, πάλι τηρώντας την εξίσωση (1).

$$S(t) = \chi(t) + \xi(t) \quad (2)$$

Όπου : S(t): spark spread [Euro/MWh]

Η τυπική απόκλιση του spark spread $\chi(t)$ συγκλίνει στο μηδέν ακολουθώντας μια διαδικασία Ornstein-Uhlenbeck:

$$d\chi(t) = -\kappa\chi(t)dt + \sigma_\chi dB_\chi(t) \quad (3)$$

Ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread $\xi(t)$ ακολουθεί μια αριθμητική διαδικασία Brownian motion:

$$d\xi(t) = \mu_\xi dt + \sigma_\xi dB_\xi(t) \quad (4)$$

Όπου : κ : δείκτης επαναφοράς στη μέση τιμή

σ_χ : βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση [Euro/MWh]

σ_ξ : μέση τυπική απόκλιση για αγορά θεωρούμενη σε επίπεδο ισορροπίας [Euro/MWh]

μ_ξ : δείκτης drift [Euro/MWh]

B_χ, B_ξ Brownian motions με συσχέτιση

$$\rho dt = dB_\chi dB_\xi \quad (5)$$

Το μοντελοποιημένο spark spread μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό και επιστρέφει στη μέση τιμή (mean reverting).

Πόρισμα 1

Όταν το spark spread καθορίζεται από τις εξισώσεις 2-3-4 οι τιμές κατανέμονται κανονικά και η αναμενόμενη αξία και η διακύμανση δίνονται από:

$$E_t[S(T)] = e^{-\kappa(T-t)} \chi(t) + \xi(t) + \mu_\xi(T-t) \quad (6)$$

Όπου: E_t : η αναμενόμενη αξία [Euro]

T : χρόνος ωρίμανσης [years]

$$\text{Var}_t(S(T)) = \frac{\sigma_\chi^2}{2\kappa} (1 - e^{-2\kappa(T-t)}) + \sigma_\xi^2(T-t) + 2(1 - e^{-\kappa(T-t)}) \frac{\rho\sigma_\chi\sigma_\xi}{\kappa} \quad (7)$$

Όπου: Var_t : διακύμανση $[(\text{Euro}/\text{MWh})^2]$.

Το Πόρισμα 1 δηλώνει ότι το spark spread είναι το άθροισμα δύο ομαλά κατανομημένων μεταβλητών: της τυπικής απόκλισης του spark spread και του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του. Η αναμενόμενη αξία της τυπικής απόκλισης του spark spread συγκλίνει στο μηδέν καθώς αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης του εργοστασίου $(T-t)$. Έτσι η αναμενόμενη αξία του spark spread συγκλίνει στην αναμενόμενη αξία του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του. Η παράμετρος μέσης επαναφοράς κ περιγράφει το βαθμό αυτής της σύγκλισης. Ο χρόνος ωρίμανσης στην οποία η τυπική απόκλιση του spark spread αναμένεται να υποδιπλασιαστεί δίνεται από:

$$T_{1/2} = -\frac{\ln(0.5)}{\kappa} \quad (8)$$

$T_{1/2}$: χρόνος υποδιπλασιασμού [years]

Η διακύμανση του spark spread, η οποία προκύπτει από την αβεβαιότητα στον όρο μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread, αυξάνεται γραμμικά σαν συνάρτηση του χρόνου ωρίμανσης. Ενώ η διακύμανση λόγω της τυπικής απόκλισης του spark spread συγκλίνει στο $\sigma_\chi^2/2\kappa$.

Αυτό το μοντέλο έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής της ανάγκης για ρητό προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των τιμών του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου. Από την άλλη πλευρά, ούτε η τυπική απόκλιση του spark spread χ ούτε ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του, ξ , μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα, αλλά

μπορούν να εκτιμηθούν από τις τιμές των swaps του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου. Αυτές οι τιμές των swaps προσφέρουν τη μελλοντική αναμενόμενη αξία του spark spread και άρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της τυπικής απόκλισης του spark spread και του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του. Η αναμενόμενη τυπική απόκλιση του spark spread συγκλίνει στο μηδέν όσο αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης και έτσι τα μακροπρόθεσμα swaps μας δίνουν πληροφορίες για τον όρο μακροπρόθεσμης ισορροπίας του. Όταν ο χρόνος ωρίμανσης είναι μικρός, η τυπική απόκλιση του spark spread δεν έχει συγκλίνει ακόμα στο μηδέν. Ως εκ τούτου, η διαφορά μεταξύ βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων swaps μας δίνουν πληροφορίες για τις βραχυπρόθεσμες δυναμικές.

Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμες τιμές των swaps, η τυπική απόκλιση του spark spread και ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του πρέπει να εκτιμηθούν. Μία μέθοδος είναι να γίνει χρήση του ιστορικού των σημειακών τιμών. Ωστόσο, όταν οι παραγωγικές τιμές δεν είναι διαθέσιμες ως περιουσιακά στοιχεία, η ανεύρεση των απαραίτητων ποσοστών εκπτώσεων και ανάπτυξης για την ανάλυση πραγματικών επιλογών καθίσταται πιο δύσκολη.

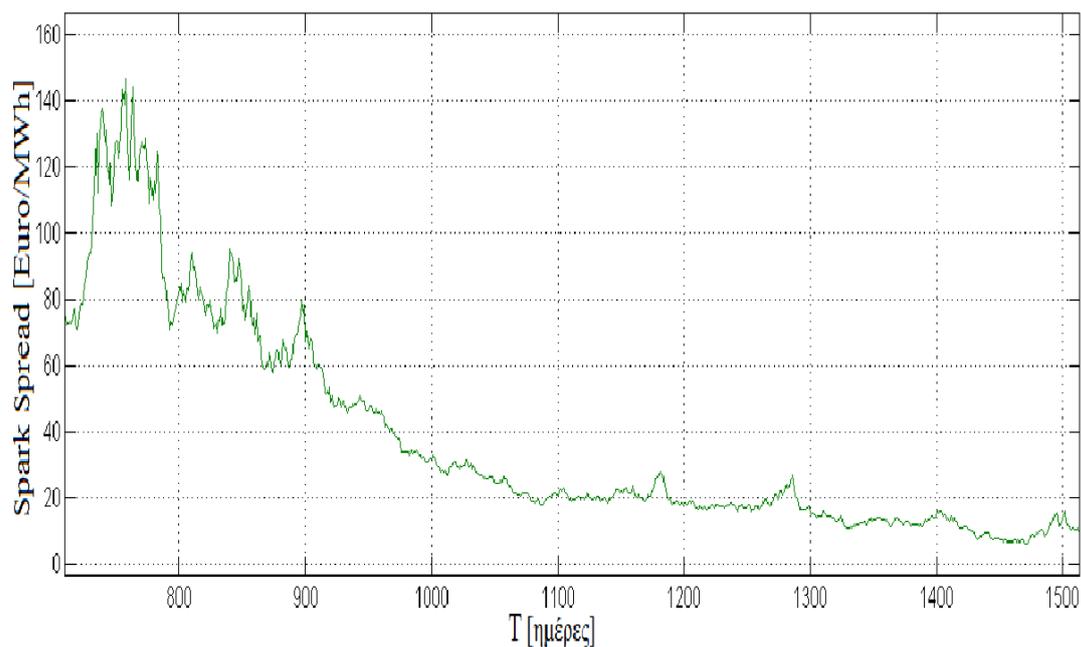
Το μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται περιλαμβάνει τη μέση επιστροφή και τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη αβεβαιότητα, αλλά όχι την εποχικότητα, τα άλματα/αιχμές και τη μη σταθερή διακύμανση. Στη συνέχεια αναλύονται κάθε μία από τις μη συμπεριλαμβανόμενες ιδιότητες με τη σειρά.

Εποχικότητα παρουσιάζεται τόσο στις τιμές του ηλεκτρισμού όσο και στο φυσικό αερίου. Σε κάποιες περιοχές οι ανώτατες τιμές των δύο αγαθών μπορεί να παρουσιάζονται το χειμώνα εξαιτίας της χρήσης τους για θέρμανση. Έτσι, για το spark spread, η εποχικότητα μπορεί ως ένα βαθμό να ακυρωθεί, καθώς είναι μια διαφορά και η εποχικότητα του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου ακολουθεί παρόμοιες πορείες Näsäkkälä and Fleten (2005), γεγονός που μπορεί να παρατηρηθεί και στο Διάγραμμα 1. Πρέπει να τονίσουμε πως παρατηρώντας την εποχικότητα, ο λήπτης των αποφάσεων μπορεί να βοηθηθεί ώστε να εντοπίσει πότε πρέπει να λάβει τις επενδυτικές αποφάσεις. Ωστόσο, στην πράξη θα υπάρξουν άλλοι παράγοντες που θα καθορίσουν το χρόνο μέσα σε ένα έτος στον οποίο θα εκτελεστούν οι κατασκευαστικές και λειτουργικές αποφάσεις.

Εάν άλματα ή/και αιχμές παρουσιαστούν στο μοντέλο του spark spread, τότε αυτό θα γίνει πιο περίπλοκο. Άλματα κι αιχμές παρουσιάζονται στα δεδομένα

μας σε μικρό ποσοστό και για αυτό επιλέχθηκε να μη συμπεριληφθούν, ακολουθώντας τον Deng (2005). Στη μελέτη του συγκρίνει μοντέλα και βρίσκει πως παρόλο που οι αιχμές είναι σημαντικές, σε πολλές περιπτώσεις αγνοώντας τις, οδηγούμαστε σε μικρά σφάλματα αξιολόγησης όταν μελετώνται αποδοτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού και όταν οι διαδικασίες των τιμών παρουσιάζουν μέση επιστροφή.

Ο παραδοσιακός τρόπος για να μοντελοποιήσουμε το spark spread είναι να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές διαδικασίες για τις τιμές του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου. Ως εκ τούτου, αυτός ο διαχωρισμός παρουσιάζει ένα μοντέλο δύο παραγόντων για άμεση μοντελοποίηση του spark spread. Εδώ χρησιμοποιείται το μοντέλο του spark spread για να κατασκευαστούν εξισώσεις για την αξία του εργοστασίου όταν ληφθεί η απόφαση για εγκατάσταση.



Διάγραμμα 1. Πρόβλεψη της αξίας του spark spread σε βάθος 4 ετών.

4.2.Αποτίμηση του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού

Σε αυτό το τμήμα υπολογίζονται τα πάνω και κάτω όρια για την αξία του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου. Η Υπόθεση που ακολουθεί παρουσιάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου εργοστασίου.

Υπόθεση 2

Ο βαθμός στον οποίο το εργοστάσιο μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την παραγωγή δεν είναι γνωστός. Τα κόστη που σχετίζονται με το ξεκίνημα και το κλείσιμο του εργοστασίου μπορούν να θεωρηθούν σταθερά.

Αν και τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου μπορούν να ποικίλουν από χρονιά σε χρονιά, δε μεταβάλλονται τόσο πολύ μακροχρόνια, με αποτέλεσμα, πολύ ρεαλιστικά, να τα θεωρούμε σταθερά.

Η πολιτική για αύξηση ή μείωση της παραγωγής ενός συγκεκριμένου εργοστασίου εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες που σχετίζονται με τις συμφωνίες για το σχεδιασμό του εργοστασίου και την εισροή του φυσικού αερίου. Ο βαθμός στον οποίο το εργοστάσιο μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την παραγωγή του, δηλαδή η λειτουργική του ευελιξία, δεν είναι γνωστός γιατί υπάρχουν άγνωστοι περιορισμοί σε αυτό. Αντί να δίνονται ακριβείς προδιαγραφές για την πολιτική αύξησης ή μείωσης της παραγωγής, χρησιμοποιούνται άνω και κάτω όρια για τις αποφάσεις που σχετίζονται με αυτή. Το κάτω όριο V_L μπορεί να υπολογιστεί υποθέτοντας ότι το εργοστάσιο δε μπορεί να εκμεταλλευτεί μη αναμενόμενες αλλαγές στο spark spread. Επομένως το εργοστάσιο λειτουργεί σαν φορτίου βάσης. Το παρακάτω Λήμμα δίνει την αξία αυτής της Υπόθεσης.

Λήμμα 1

Σε χρόνο t το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου $V_L(\chi, \xi) \leq V(\chi, \xi)$ δίνεται από την μακροπρόθεσμη αξία ενός εργοστασίου φορτίου βάσης:

$$V_L(\chi(t), \xi(t)) = \bar{C} \left(\frac{\chi(t)}{\kappa + r} + \frac{\xi(t) - E}{r} - e^{-r(\bar{T}-t)} \left(\frac{e^{-\kappa(\bar{T}-t)} \chi(t)}{\kappa + r} + \frac{\xi(t) - E}{r} + \frac{\mu_\xi (r(\bar{T} - t) + 1)}{r^2} \right) \right) - \frac{G}{r} (1 - e^{-r(\bar{T}-t)}) \quad (9)$$

Όπου: V_L : κάτω όριο αξίας εργοστασίου [MEuro]

$\bar{T} - t$: η απομένουσα διάρκεια ζωής του εργοστασίου [years]

\bar{C} : απόδοση του εργοστασίου [TWh/year]

E : κόστος εκπομπής [Euro/MWh]

G : πάγια κόστη διοίκησης [MEuro/year]

$\chi(t)$: τυπική απόκλιση του spark spread [Euro/MWh]

$\xi(t)$: όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread [Euro/MWh]

\bar{T} : χρόνος ζωής εργοστασίου [years]

r : επιτόκιο

Απόδειξη

Η μακροπρόθεσμη αξία ενός εργοστασίου φορτίου βάσης είναι η παρούσα αξία των αναμενόμενων χρηματοροών λειτουργίας

$$\begin{aligned} V_L(\chi(t), \xi(t)) &= \int_t^{\bar{T}} e^{-r(s-t)} (\bar{C}(E_t[S(s)] - E) - G) ds = \\ &= \int_t^{\bar{T}} e^{-r(s-t)} (\bar{C}(e^{-\kappa(s-t)} \chi(t) + \xi(t) - E + \mu_\xi(s-t)) - G) ds \end{aligned} \quad (10)$$

Και με ολοκλήρωση προκύπτει η (9).

Το κάτω όριο είναι το άθροισμα της αναμενόμενης τιμής του spark spread μείον τις εκπομπές και τα σταθερά κόστη. Έτσι, το κάτω όριο δεν επηρεάζεται από

τις βραχυπρόθεσμες και ισορροπημένες μεταβλητότητες σ_χ και σ_ξ , και ελάχιστα επηρεάζεται από την ταχύτητα της μέσης επιστροφής κ .

Ο ιδιοκτήτης ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου μπορεί να αντιδρά στις δυσμενείς αλλαγές του spark spread κλείνοντας προσωρινά το εργοστάσιο. Η μακροπρόθεσμη αξία ενός ευέλικτου εργοστασίου είναι το άθροισμα της αναμενόμενης τιμής του spark spread μείον τις εκπομπές και τα σταθερά κόστη, συν την αξία της επιλογής για αύξηση ή μείωση της παραγωγής. Η αξία της επιλογής αυτής εξαρτάται από το χρόνο αντίδρασης του εργοστασίου και μεγιστοποιείται όταν η αύξηση ή μείωση της παραγωγής γίνεται χωρίς καθυστέρηση. Με άλλα λόγια, το πάνω όριο V_U της αξίας του εργοστασίου μπορεί να υπολογιστεί υποθέτοντας ότι η αύξηση ή μείωση της παραγωγής γίνεται χωρίς καθυστέρηση, δηλαδή, υποθέτοντας ότι το εργοστάσιο παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν το spark spread υπερβαίνει τα κόστη εκπομπών.

Λήμμα 2

Σε χρόνο t το πάνω όριο της αξίας του εργοστασίου $V_U(\chi, \xi) \geq V(\chi, \xi)$ δίνεται από τη μακροπρόθεσμη αξία ενός ιδανικού ευέλικτου εργοστασίου:

$$V_U(\chi(t), \xi(t)) = \bar{C} \int_t^{\bar{T}} e^{-r(s-t)} \left(\frac{\sqrt{\text{Var}_t(S(s))}}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(E[S(s)]-E)^2}{2\text{Var}(S(s))}} + (E_t[S(s)] - E) \Phi\left(\frac{E_t[S(s)] - E}{\sqrt{\text{Var}_t(S(s))}}\right) \right) ds - \frac{G}{r} (1 - e^{-r(\bar{T}-t)}) \quad (11)$$

Όπου : \bar{C} : απόδοση του εργοστασίου [TWh/year]

\bar{T} : χρόνος ζωής εργοστασίου [years]

r : επιτόκιο

Var_t : αναμενόμενη διακύμανση $[(\text{Euro}/\text{MWh})^2]$, όπου $T \rightarrow s$

E : αναμενόμενη αξία, [Euro/MWh], όπου $T \rightarrow s$

G : πάγια κόστη λειτουργίας [MEuro/year]

$\Phi(\cdot)$: συνήθης αθροιστική συνάρτηση κατανομής

Η αναμενόμενη αξία $E_t[S(s)]$ και η διακύμανση $Var_t(S(s))$ του spark spread δίνονται στο **Πόρισμα 1**.

Απόδειξη

(δες Παράρτημα A)

Όσο πιο πολύ μεταβάλλεται το spark spread, τόσο πιο πολύτιμη είναι η επιλογή για αύξηση ή μείωση της παραγωγής, η λειτουργική του ευελιξία δηλαδή, και ως εκ' τούτου η μακροπρόθεσμη αξία του ευέλικτου εργοστασίου αυξάνεται ως συνάρτηση της διακύμανσης του spark spread. Αυξήσεις στη διακύμανση μπορούν να επιφέρουν αύξηση της βραχυπρόθεσμης διακύμανσης σ_χ^2 , της μακροπρόθεσμης διακύμανσης σ_ξ^2 ή της συσχέτισης ρ και μειωμένη ταχύτητα της μέσης επιστροφής κ . Η διαφορά μεταξύ του πάνω και κάτω ορίου για τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου οφείλεται στη δυνατότητα προσωρινού κλεισίματος του εργοστασίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Μια αύξηση στο αρχικό επίπεδο της τυπικής απόκλισης του spark spread $\chi_{(0)}$ δε θα επηρεάσει πολύ τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου, καθώς η επίδρασή της γρήγορα εξασθενεί. Η κατ' αρχήν επιλογή προσωρινού κλεισίματος γίνεται όλο και λιγότερο συμφέρουσα. Για τον ίδιο λόγο, η επιλογή μόνιμου κλεισίματος γίνεται όλο και λιγότερο προσοδοφόρα αν το αρχικό επίπεδο του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread $\xi_{(0)}$ αυξάνει, ή τα κόστη εκπομπών E μειώνονται ή ο βαθμός αύξησης της τιμής ισορροπίας, μ_ξ , αυξηθεί. Κάποιος θα μπορούσε επίσης να το αντιληφθεί αυτό αναγνωρίζοντας ότι τέτοιες αλλαγές στις παραμέτρους του spark spread, αυξάνουν το ίδιο το spark spread και επιδρούν στη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου φορτίου βάσης πιο θετικά σε σχέση με το ευέλικτο εργοστάσιο, επειδή αυτό κάποιες φορές σταματά τη λειτουργία του.

Θα ήταν χρήσιμο να ξέρουμε τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου αν η διαδικασία υπολογισμού του spark spread είναι ακόμα απλούστερη, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας ένα Brownian motion με δείκτη drift.

Υπόθεση 1'

Η διαδικασία Z του spark spread ακολουθεί την

$$dZ = a dt + u dW \quad (12)$$

Όπου: dW είναι Brownian motion

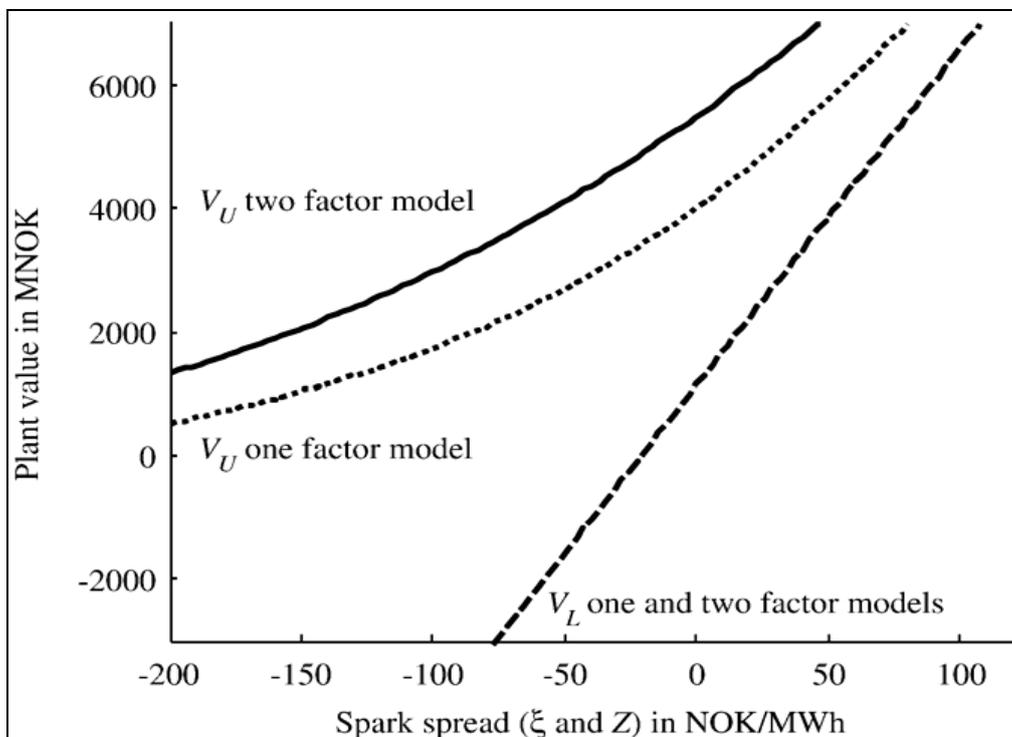
a : αύξηση του spark spread

u : τυπική απόκλιση

Με ολοκλήρωση, η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου φορτίου βάσης σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$V_L^B(Z(t)) = \frac{\bar{C}}{r} [(z - E)(1 - e^{-r(\bar{T}-t)}) + \frac{a}{r}(1 - e^{-r(\bar{T}-t)}(1 + r(\bar{T} - t)))] - \frac{G}{r}(1 - e^{-r(\bar{T}-t)}) \quad (12')$$

Η μακροπρόθεσμη αξία ενός ευέλικτου εργοστασίου αποτελείται από την αξία ενός εργοστασίου φορτίου βάσης συν τις επιλογές για κλείσιμο, αύξηση ή μείωση της παραγωγής. Η μακροπρόθεσμη αξία αυτή φαίνεται στο Διάγραμμα 2. Στο Διάγραμμα 2 των Fleten and Näsäkkälä (2010) η αρχική αξία του spark spread $Z(0)$, η αύξηση a και η σταθερή απόκλιση V επιλέχθηκαν ώστε να ταιριάζουν με τη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά των δεδομένων. Το κάτω όριο ταυτίζεται με αυτό του μοντέλου δύο παραγόντων. Όπως αναμενόταν το πάνω όριο που χρησιμοποιεί το μοντέλο ενός παράγοντα είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο όριο του μοντέλου δύο παραγόντων, επειδή το μοντέλο ενός παράγοντα είναι αδύνατο να απεικονίσει την αξία των βραχυπρόθεσμων αποκλίσεων.



Διάγραμμα 2 Näsäkkälä and Fleten (2010). Όρια της αξίας του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού για το βασικό μοντέλο δύο παραγόντων και για ένα απλοποιημένο μοντέλο που χρησιμοποιεί Brownian motion και drift. Η μακροπρόθεσμη αξία ενός ιδανικού ευέλικτου εργοστασίου εκφράζεται ως V_U , ενώ ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης έχει μακροπρόθεσμη αξία V_L .

Συνοψίζοντας, αφού δε μπορούμε να χαρακτηρίσουμε με ακρίβεια την επάρκεια λειτουργικής ευελιξίας του εργοστασίου, δε γίνεται να έχουμε μια ακριβή εκτίμηση για το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου, αλλά παρέχονται τα όρια για τη μακροπρόθεσμη αξία αυτού. Το κάτω όριο δίνεται θεωρώντας ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης, ενώ το επάνω θεωρώντας ένα ιδανικό ευέλικτο εργοστάσιο. Αποφάσεις που αφορούν την ευκαιρία για επένδυση και εγκατάλειψη του εργοστασίου αναλύονται στο επόμενο τμήμα.

4.3.Επενδυτική ανάλυση

Σε αυτό το τμήμα υπολογίζονται τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης, όταν το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου έχει όρια μακροπρόθεσμης αξίας που καθορίζονται από το Λήμμα 1 και Λήμμα 2. Η παρακάτω Υπόθεση χαρακτηρίζει την κατάσταση των μεταβλητών που επηρεάζουν τις επενδυτικές αποφάσεις.

Υπόθεση 3

Οι επενδυτικές αποφάσεις λαμβάνονται ως συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Στις αποφάσεις αυτές η διάρκεια ζωής του εργοστασίου θεωρείται άπειρη και η κατασκευή του ξεκινάει αμέσως.

Η Υπόθεση 3 δηλώνει ότι όταν λαμβάνονται οι αποφάσεις για κατασκευή ή εγκατάλειψη, αυτές είναι συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread ζ , δηλαδή η τυπική απόκλιση του $\chi_{(t)}$ δεν συμπεριλαμβάνεται στις επενδυτικές αποφάσεις. Κατά κύριο λόγο οι επενδυτικές αποφάσεις δύο παραγόντων εξαρτώνται και από τους δύο παράγοντες. Ωστόσο στην πράξη, οι βραχυπρόθεσμες αποκλίσεις εξασθενούν γρήγορα και παίζουν ασήμαντο ρόλο στις αποφάσεις για επένδυση ή εγκατάλειψη.

Οι παράμετροι που αφορούν βραχυπρόθεσμα δυναμικά, δηλαδή βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση σ_ζ και η μέση επιστροφή κ , επιδρούν στη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου και στις επενδυτικές αποφάσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι βραχυπρόθεσμες παράμετροι είναι σημαντικές για τις επενδυτικές αποφάσεις, αν και η τυπική απόκλιση του spark spread $\chi_{(t)}$ δεν επιδρά κατά την λήψη τους. Η παράλειψη της τυπικής απόκλισης του spark spread υποκινείται από το γεγονός ότι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου είναι μακροπρόθεσμες επενδύσεις και η επένδυση για ένα τέτοιο εργοστάσιο δεν γίνεται ποτέ λόγω στιγμιαίων αιχμών στην διαδικασία προσδιορισμού της τιμής του εργοστασίου. Αξιολογώντας τα εργοστάσια για επενδυτικούς σκοπούς θα θέσουμε την τυπική απόκλιση του spark spread $\chi_{(t)}$ ίση με μηδέν. Το συμπέρασμα ότι επενδυτικές αποφάσεις λαμβάνονται σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread είναι μια ρεαλιστική προσέγγιση της διαδικασίας επενδυτικών αποφάσεων, αν η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της τυπικής απόκλισης του spark spread είναι σημαντικά μικρότερη από την

αναμενόμενη διάρκεια ζωής του εργοστασίου. Στο Υπολογιστικό Μοντέλο χρησιμοποιούμε ταχύτητα μέσης επιστροφής $\kappa=2.6$ το οποίο σημαίνει ότι η τυπική απόκλιση του spark spread αναμένεται να υποδιπλασιαστεί σε τρεις μήνες. Από τη στιγμή που αυτή η χρονική διάρκεια είναι ασήμαντη συγκρινόμενη με τη διάρκεια ζωής του εργοστασίου, η προσέγγιση που γίνεται παραλείποντας την τυπική απόκλιση του spark spread στην επενδυτική απόφαση είναι ρεαλιστική.

Η υπόθεση για άπειρη διάρκεια ζωής δικαιολογείται από το γεγονός ότι η διάρκεια ζωής του εργοστασίου συχνά αυξάνεται από βελτιώσεις και μετασκευές όπως φαίνεται και από τη μελέτη του Ellerman (1998). Από την στιγμή που ένα εργοστάσιο έχει κατασκευαστεί με μακρόχρονες γραμμές μετάδοσης και αγωγούς αερίου που συνδέονται στο υπόλοιπο σύστημα του δικτύου, είναι συχνά οικονομικότερο να γίνει επέκταση της διάρκειας ζωής του εργοστασίου. Αυτό το συμπέρασμα επίσης επιτρέπει να είναι απλή η ανάλυση. Τα πάνω και κάτω όρια για τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου, ως συνάρτηση της διάρκειας ζωής του θα παρουσιαστούν στο Υπολογιστικό Μοντέλο.

Τελικά, στην πραγματικότητα υπάρχει χρονική καθυστέρηση μεταξύ της απόφασης για επένδυση και στο χρόνο στον οποίο το εργοστάσιο ξεκινάει να λειτουργεί, περίπου 2 χρόνια. Η υπόθεση για στιγμιαία κατασκευή βοηθάει να κρατήσουμε τη μελέτη απλή. Η κατασκευή του εργοστασίου γίνεται βέλτιστη όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread ανεβαίνει μέχρι το κατώφλι επένδυσης ξ_I που απαιτείται για την αρχική επένδυση. Όταν η αναμονή είναι βέλτιστη δηλαδή όταν $\xi < \xi_I$, ο επενδυτής έχει την επιλογή να αναβάλει την εγκατάσταση. Η αξία αυτής της επιλογής του χρόνου κατασκευής δίνεται από το παρακάτω λήμμα.

Λήμμα 3

Η αξία της επιλογής για εγκατάσταση ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με χρήση φυσικού αερίου δίνεται από:

$$F_0(\xi) = A_1 e^{\beta_1 \xi} - \frac{W}{r}, \xi \leq \xi_I \quad (13)$$

Όπου : $F_0(\xi)$ [MEuro] είναι η αξία της επιλογής για εγκατάσταση

$A_1 = ct > 0$, θετική παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί

W = σταθερές πληρωμές που η εταιρεία πρέπει να έχει για να συντηρεί την επιλογή οικοδόμησης [MEuro/year]

ξ : όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread [Euro/MWh],

ξ_1 : $\min(\xi)$ [Euro/MWh], ελάχιστο ξ ώστε να είναι αποδοτική η επένδυση

$$\beta_1 = \frac{-\mu_\xi + \sqrt{\mu_\xi^2 + 2\sigma_\xi^2 r}}{\sigma_\xi^2} > 0 \quad (14)$$

Όπου : σ_ξ : τυπική απόκλιση ισορροπίας [Euro/MWh],

μ_ξ : δείκτης drift [Euro/MWh],

r : επιτόκιο

Απόδειξη

(δες Παράρτημα Β)

Η αξία της επιλογής του χρόνου κατασκευής αυξάνεται εκθετικά σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Η παράμετρος A_1 εξαρτάται από τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου και το κόστος επένδυσης I . Αφού δεν μπορούμε να ορίσουμε τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου ακριβώς, δεν μπορούμε να ορίσουμε και το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Ωστόσο, η επόμενη πρόταση παρέχει μία μέθοδο υπολογισμού των άνω και κάτω ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης $\xi_{IL} \leq \xi_I \leq \xi_{IU}$ που βασίζεται στη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010).

Πρόταση 1

Το κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης $\xi_{IL} \leq \xi_I$ δίνεται από:

$$F_0(\xi_{IL}) = V_U(0, \xi_{IL}) - I \quad (15)$$

$$\frac{dF_0(\xi_{IL})}{d\xi} = \frac{\partial V_U(0, \xi_{IL})}{\partial \xi} \quad (16)$$

Όπου : V_U : άνω όριο αξίας εργοστασίου [MEuro]

I: κόστος επένδυσης [MEuro]

Το άνω όριο $\xi_I \leq \xi_{IU}$ δίνεται από

$$F_0(\xi_{IU}) = V_L(0, \xi_{IU}) - I \quad (17)$$

$$\frac{dF_0(\xi_{IU})}{d\xi} = \frac{\partial V_L(0, \xi_{IU})}{\partial \xi} \quad (18)$$

Όπου : V_L : κάτω όριο αξίας εργοστασίου [MEuro]

I: κόστος επένδυσης [MEuro]

Οι εξισώσεις στην Πρόταση 1 δεν μπορούν να λυθούν αναλυτικά, αλλά μπορεί να επιτευχθεί αριθμητική λύση. Για παράδειγμα για να βρεθεί το κατώτατο όριο αντικαθιστούμε τις (11) και (13) στις (15) και (16) και επιλύουμε τις επόμενες δύο μη γραμμικές εξισώσεις για A_I και ξ_{IL} .

Σημειώστε ότι η τυπική απόκλιση του spark spread θεωρείται μηδέν στην Πρόταση 1. Ο λόγος είναι ότι, όπως έχουμε ήδη πει, η αρχική του αξία είναι ασήμαντη από την στιγμή που η επίδρασή του ελαττώνεται γρήγορα λόγω της μέσης επιστροφής κ . Δεν μπορούμε να ξέρουμε την αξία της τυπικής απόκλισης του spark spread όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του φτάνει τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και η αξία της απόκλισης αυτής έχει τεθεί ίση με μηδέν αυθαιρέτως.

Όσο πιο πολύτιμο γίνεται το εργοστάσιο, τόσο πιο πρόθυμες είναι οι εταιρείες να επενδύσουν. Για το λόγο αυτό, το κάτω όριο δίνεται μέσω του άνω ορίου της αξίας του εργοστασίου και αντίστροφα. Συγκεκριμένα τα άνω και κάτω όρια υπολογίζονται βρίσκοντας τις τιμές που ικανοποιούν τις οριακές συνθήκες value-matching και smooth-pasting κάτω από τα πιο αισιόδοξα και απαισιόδοξα σενάρια.

Το άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης χρησιμοποιεί το V_L γιατί θεωρείται ότι το εργοστάσιο είναι μη ευέλικτο και απαιτεί την υψηλότερη δυνατή τιμή για να δελεάσει την επένδυση. Αντιθέτως για το κάτω χρησιμοποιούμε V_U επειδή θεωρείται ένα ιδανικό ευέλικτο εργοστάσιο. Ως εκ τούτου, απαιτείται μια χαμηλότερη τιμή για να είναι δελεαστική η επένδυση.

Στην συνέχεια, προσδιορίζεται πως οι επενδυτικές αποφάσεις αλλάζουν αν υπάρχει η ευκαιρία για εγκατάλειψη του εργοστασίου και αξιοποίηση της υπολειμματικής του αξίας J . Σε αυτή την περίπτωση, όταν ληφθεί η απόφαση για επένδυση, τότε εξετάζεται τόσο η επιλογή κατασκευής, όσο και αυτή της εγκατάλειψης. Καθώς η διάρκεια ζωής του εργοστασίου θεωρείται άπειρη, υπάρχει μία σταθερή αξία του ορίου για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης ξ_A . Δηλαδή η εγκατάλειψη δεν είναι βέλτιστη όταν $\xi_A < \xi$. Το επόμενο Λήμμα δείχνει την αξία μιας τέτοιας επιλογής για εγκατάλειψη.

Λήμμα 4

Η αξία μιας επιλογής για εγκατάλειψη είναι:

$$F_1(\xi) = D_2 e^{\beta_2 \xi}, \xi_A \leq \xi \quad (19)$$

Όπου: F_1 [MEuro] είναι η επιλογή εγκατάλειψης

$$D_2 = ct > 0$$

$$\beta_2 = \frac{-\mu_\xi - \sqrt{\mu_\xi^2 + 2\sigma_\xi^2 r}}{\sigma_\xi^2} < 0 \quad (20)$$

Όπου : σ_ξ : τυπική απόκλιση ισορροπίας [Euro/MWh]

μ_ξ : δείκτης drift [Euro/MWh]

r : επιτόκιο

Απόδειξη

Η Απόδειξη είναι παρόμοια με εκείνη της επιλογής εγκατάστασης (Παράρτημα Β), αλλά τώρα η επιλογή γίνεται λιγότερο πολύτιμη, όσο αυξάνεται το spark spread.

Η αξία της επιλογής εγκατάλειψης μειώνεται εκθετικά σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Η παράμετρος D_2 εξαρτάται από την υπολειμματική αξία J . Και πάλι δε μπορεί να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάστασης και εγκατάλειψης αλλά η επόμενη πρόταση δίνει τα άνω και κάτω όρια.

Πρόταση 2

Τα κάτω όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης για $\xi_{IL} \leq \xi$ και $\xi_{AL} \leq \xi$, δίνονται από

$$F_0(\xi_{IL}) = V_U(0, \xi_{IL}) + F_1(\xi_{IL}) - I \quad (21)$$

$$\frac{dF_0(\xi_{IL})}{d\xi} = \frac{\partial V_U(0, \xi_{IL})}{d\xi} + \frac{\partial F_1(\xi_{IL})}{d\xi} \quad (22)$$

Όπου: V_u : άνω όρια αξίας εργοστασίου [MEuro]

F_1 : αξία επιλογής εγκατάλειψης [MEuro]

I : κόστος επένδυσης [MEuro]

$$F_1(\xi_{AL}) + V_U(0, \xi_{AL}) = J \quad (23)$$

$$\frac{dF_1(\xi_{AL})}{d\xi} + \frac{\partial V_U(0, \xi_{AL})}{d\xi} = 0 \quad (24)$$

ενώ τα άνω όρια $\xi \leq \xi_{IU}$ και $\xi \leq \xi_{AU}$ δίνονται από

$$F_0(\xi_{IU}) = V_L(0, \xi_{IU}) + F_1(\xi_{IU}) - I \quad (25)$$

$$\frac{dF_0(\xi_{IU})}{d\xi} = \frac{\partial V_L(0, \xi_{IU})}{d\xi} + \frac{\partial F_1(\xi_{IU})}{d\xi} \quad (26)$$

$$F_1(\xi_{AU}) + V_L(0, \xi_{AU}) = J \quad (27)$$

$$\frac{dF_1(\xi_{AU})}{d\xi} + \frac{\partial V_L(0, \xi_{AU})}{d\xi} = 0 \quad (28)$$

Απόδειξη

(δες Παράρτημα Γ)

Οι εξισώσεις στην Πρόταση 2 δεν μπορούν ούτε αυτές να λυθούν αναλυτικά αλλά μια αριθμητική επίλυση μπορεί να επιτευχθεί.

Όσο μειώνεται η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου, τόσο πιο πρόθυμες είναι οι εταιρείες να το εγκαταλείψουν. Έτσι, το άνω όριο για την εγκατάλειψη δίνεται μέσω του κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου και αντιστρόφως.

Για να συνοψίσουμε, σε αυτό το κομμάτι σύμφωνα με τη μέθοδο των Näsäkkälä and Fleten (2010) προσδιορίστηκαν τα ανώτερα και κατώτερα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης. Αν η επιλογή εγκατάλειψης αγνοηθεί, τα όρια για το κατώφλι επένδυσης δίνονται από την πρόταση 1. Όταν μελετώνται και η εγκατάσταση και η εγκατάλειψη, τότε τα όρια δίνονται από την πρόταση 2.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε το Υπολογιστικό Μοντέλο.

5.Υπολογιστικό Μοντέλο

Σε αυτό το τμήμα της διπλωματικής εργασίας εφαρμόζουμε έναν υπολογιστικό κώδικα τον οποίο προγραμματίσαμε στο υπολογιστικό περιβάλλον *MATLAB*, ο οποίος με δεδομένα που είναι προσαρμοσμένα στις ελληνικές συνθήκες μας παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν στο Ελληνικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην έρευνα που διεξάγουμε έχουμε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού συνδυασμένου κύκλου (CCGT). Ένα τέτοιο εργοστάσιο κοστίζει περίπου 215 MEuro και τα πάγια κόστη G είναι 6.63 MEuro/year. Υπολογίζεται ότι το κόστος διατήρησης της άδειας W είναι 5% του κόστους λειτουργίας του εργοστασίου. Το 35% του κόστους επένδυσης χρησιμοποιείται για τον εξοπλισμό του εργοστασίου. Υποθέτουμε ότι εάν εγκαταλειφθεί το εργοστάσιο, ο εξοπλισμός του μπορεί να πουληθεί στην αγορά μεταχειρισμένων. Δηλαδή η υπολειμματική αξία J είναι 75.24 MEuro. Όλες οι εκτιμώμενες παράμετροι είναι για εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο του οποίου η μέγιστη παραγωγική ικανότητα είναι 415 MW. Υποθέτουμε πως ο συντελεστής δυναμικότητας του εργοστασίου είναι 90%, δηλαδή χρησιμοποιούμε παραγωγική ικανότητα $C=3.27$ TWh/year.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι παράμετροι του εργοστασίου.

| Παράμετρος | W | C | G | I | J |
|------------|------------|----------|------------|--------|-------|
| Μονάδα | Meuro/year | TWh/year | Meuro/year | Meuro | Meuro |
| Αξία | 0.33 | 3.27 | 6.63 | 214.97 | 75.24 |

Πίνακας 1. Παράμετροι εργοστασίου.

Οι εκτιμώμενες παράμετροι για το spark spread δίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

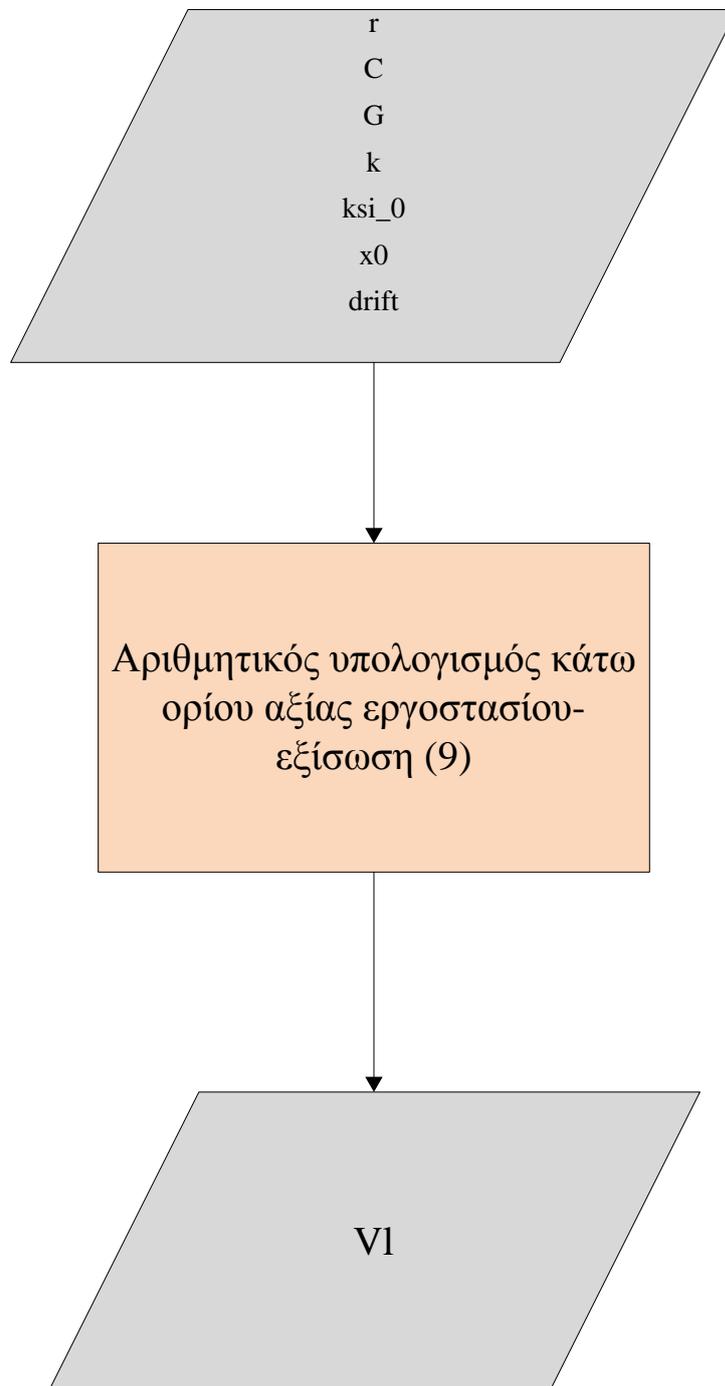
| Παράμετρος | r | κ | ρ | μ_{ξ} | σ_{χ} | σ_{ξ} | χ_0 | ξ_0 |
|------------|------|----------|--------|--------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|
| Μονάδα | | | | Euro/ MWh | Euro/ MWh | Euro/ MWh | Euro/ MWh | Euro/ MWh |
| Αξία | 0.06 | 2.6 | -0.21 | 0.28 | 49.69 | 6.21 | 6.88 | 8.10 |

Πίνακας 2. Παράμετροι spark spread

Για μικρού χρόνου ωρίμανσης swaps, που μας δίνουν πληροφορίες για τις βραχυπρόθεσμες μεταβλητές, χρησιμοποιούμε μηνιαία συμβόλαια swaps με προθεσμία ενός μήνα. Για μεγάλου χρόνου ωρίμανσης συμβόλαια, που μας παρέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread, χρησιμοποιούμε συμβόλαια προθεσμίας ενός έτους και χρόνου ωρίμανσης από ένα έως τρία έτη. Κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει πιο λεπτομερή ανάλυση για να εντοπίσει τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις. Αν θα μπορούσε κανείς να λαμβάνει ημερήσια ή ακόμα και ωριαία δεδομένα για τις σημειακές τιμές, θα παρατηρούσε ότι οι μεγάλες διακυμάνσεις βραχυπρόθεσμα θα οδηγούσαν στην εκτίμηση για αύξηση του άνω ορίου, γεγονός που προκύπτει από τις πολλές εκτιμήσεις για τη βραχυπρόθεσμη διακύμανση. Παρόλα αυτά δεν έχουμε δεδομένα για τις σημειακές τιμές του φυσικού αερίου και ο μικρότερος χρόνος ωρίμανσης προϊόντος είναι ο πλησιέστερος μήνας. Επιπλέον, είναι συνήθης πρακτική για εμπειρικές έρευνες και τις τιμές των βασικών εμπορευμάτων να χρησιμοποιούνται τα μικρότερου χρόνου ωρίμανσης και μελλοντικής εκπλήρωσης/προθεσμιακά συμβόλαια ως υποκατάστατο για την σημειακή τιμή, όπως απέδειξε στην ανάλυσή του ο Schwartz (1997).

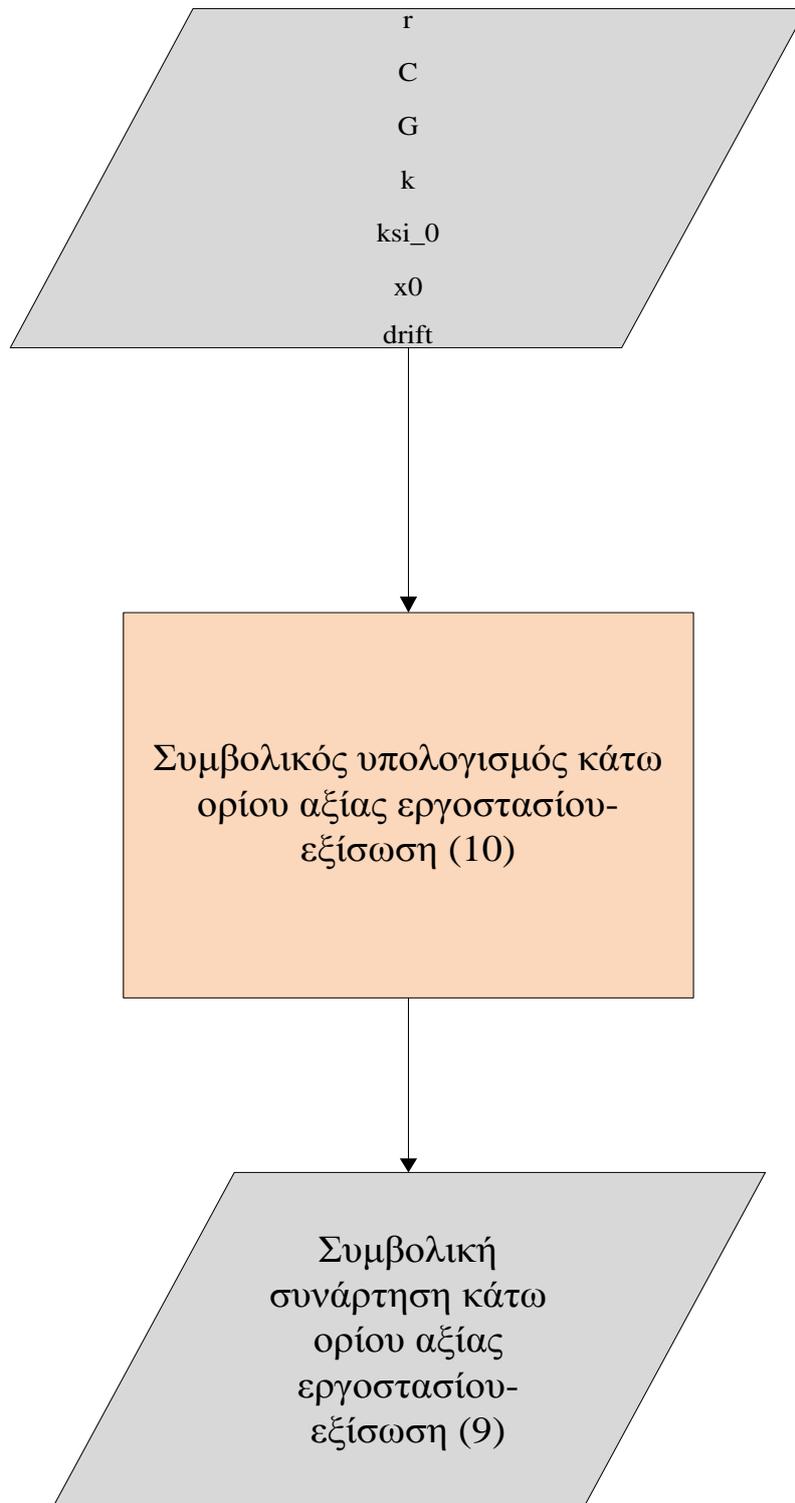
Στη συνέχεια ακολουθεί ο αλγόριθμος που προγραμματίσαμε υπό μορφή flowcharts.

Αρχικά κατασκευάζουμε τον αλγόριθμο που υπολογίζει το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου[VL] με αριθμητική ολοκλήρωση Simpson.



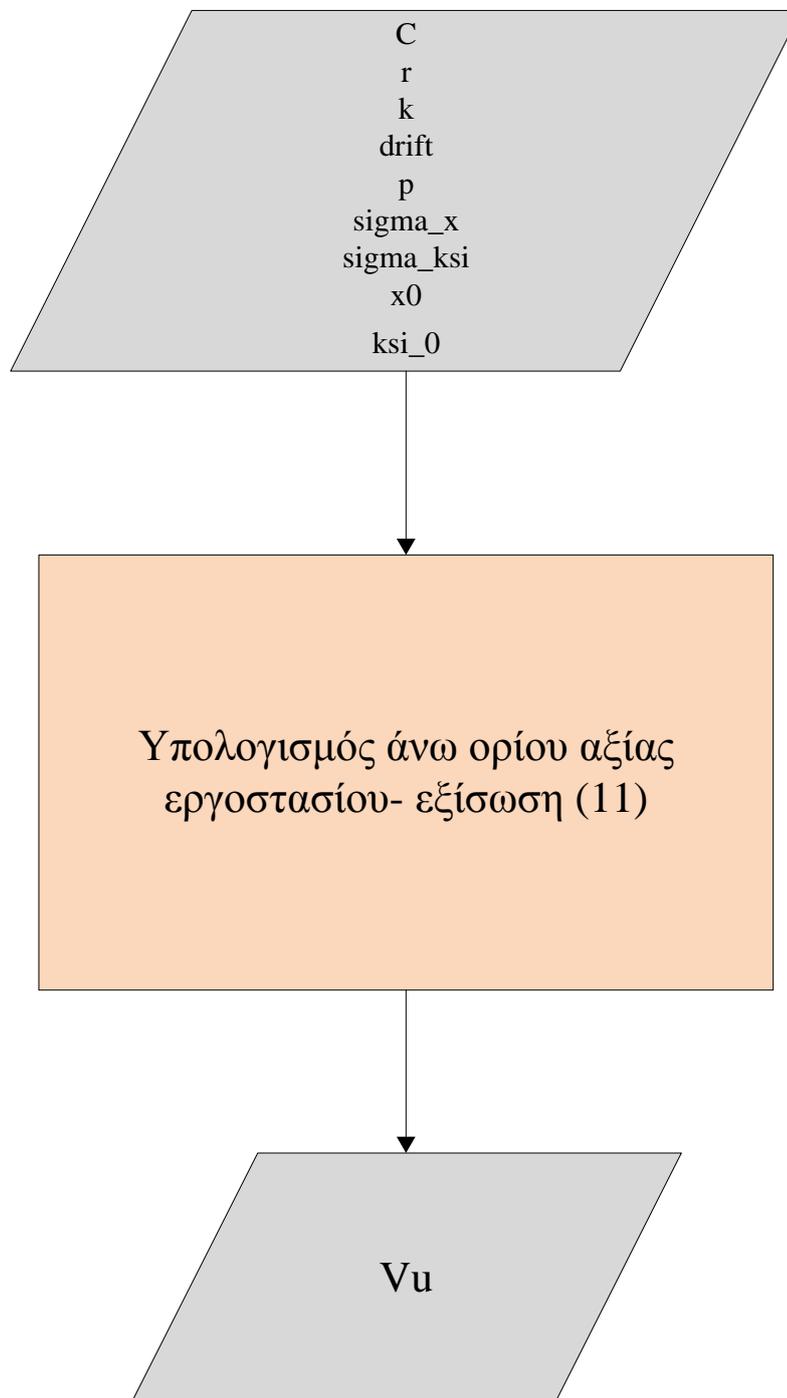
Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής υπολογισμού κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου.

Στη συνέχεια κατασκευάσαμε τον αλγόριθμο που υπολογίζει την συμβολική συνάρτηση του κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου [VL_a].



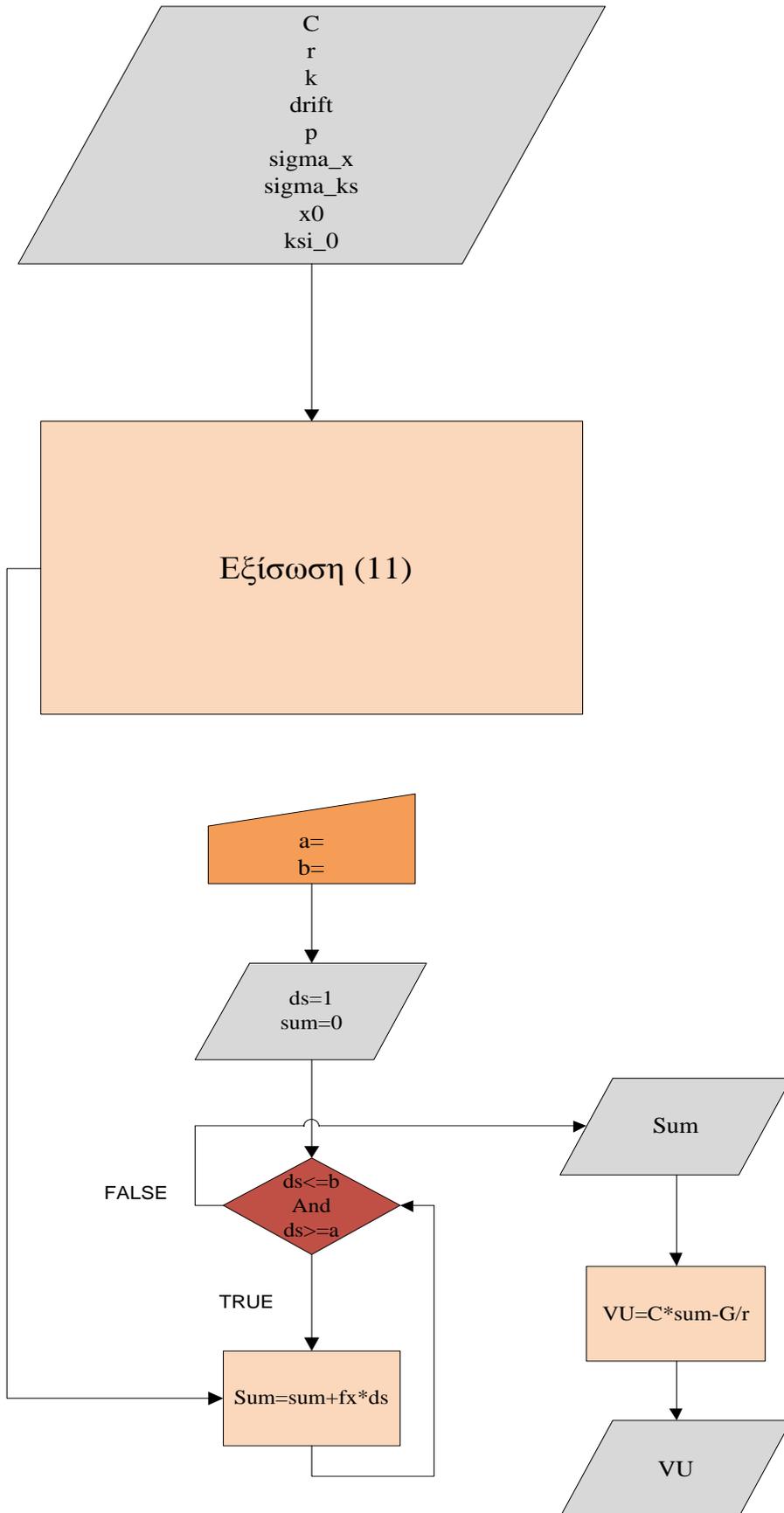
Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής υπολογισμού συμβολικής εξίσωσης του κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου.

Έπειτα, καθώς δεν υπάρχει συμβολική εξίσωση του άνω ορίου της αξίας του εργοστασίου, το υπολογίζουμε με αριθμητική ολοκλήρωση Simpson.



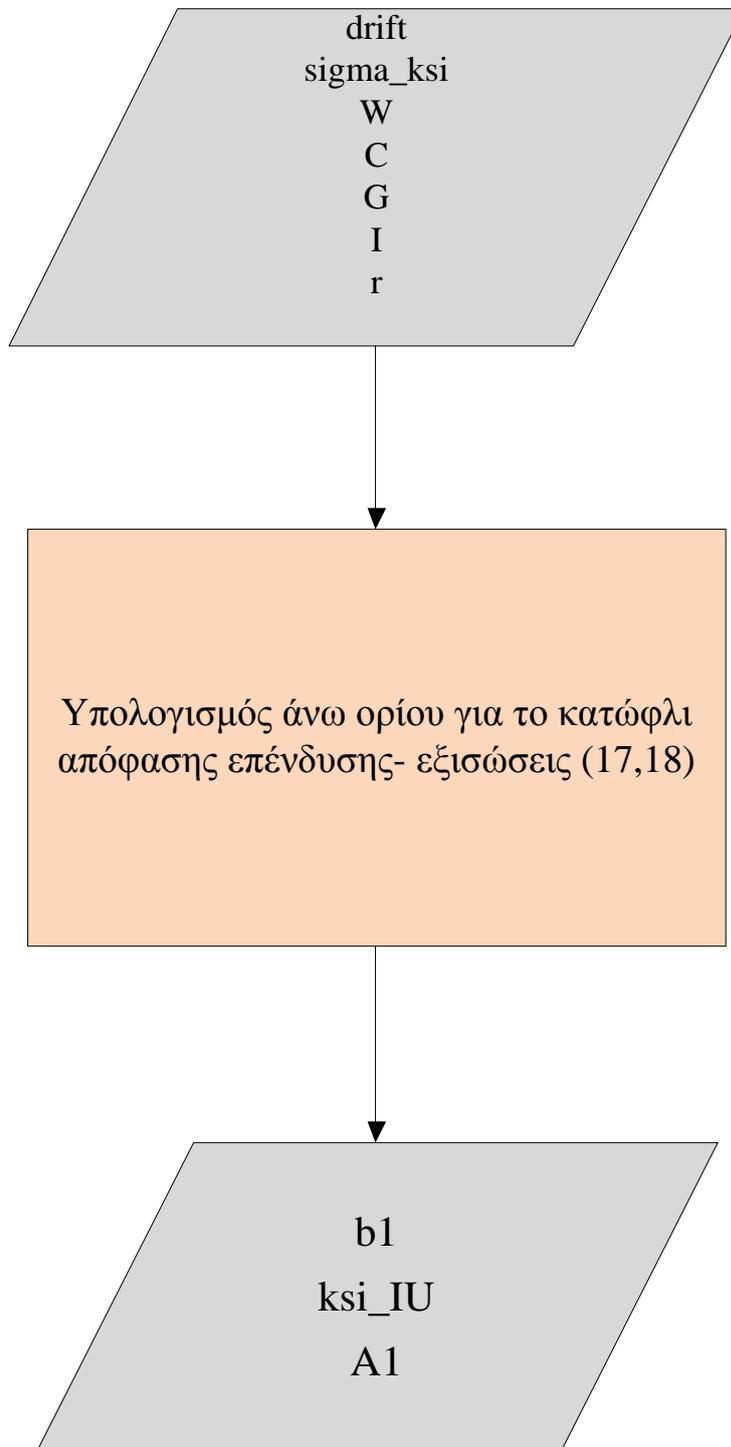
Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής υπολογισμού άνω ορίου της αξίας του εργοστασίου με αριθμητική ολοκλήρωση Simpson.

Στη συνέχεια εντοπίζουμε ξανά το άνω όριο της αξίας του εργοστάσιου με αριθμητική ολοκλήρωση τραπεζίου με σκοπό την επαλήθευση του αποτελέσματος

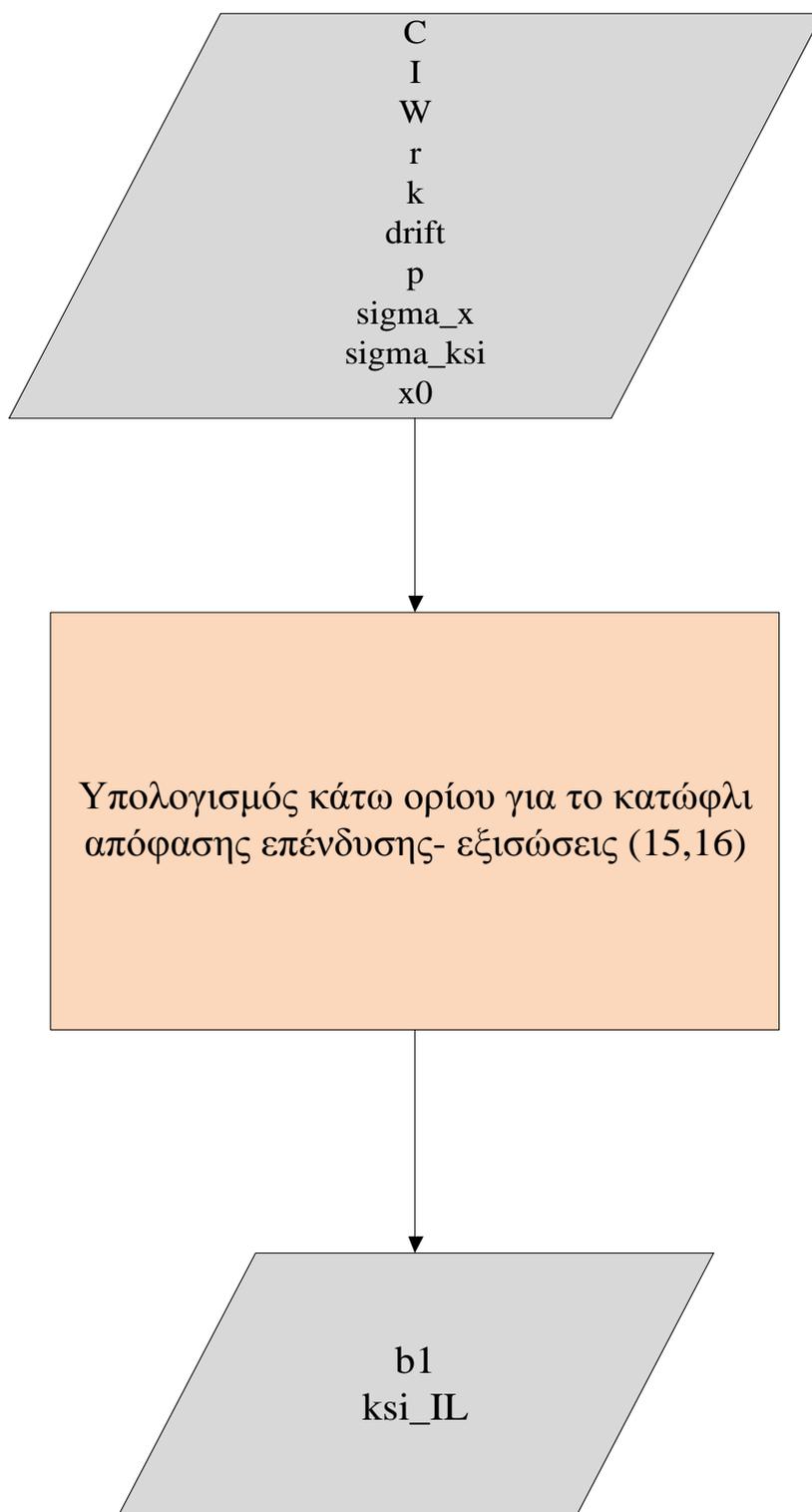


Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του άνω ορίου της αξίας του εργοστασίου με αριθμητική ολοκλήρωση τραπεζίου.

Έπειτα, υπολογίσαμε το άνω (ksi_{I_U}) και κάτω (ksi_{I_L}) όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, χωρίς να λάβουμε υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης κατασκευής του εργοστασίου.

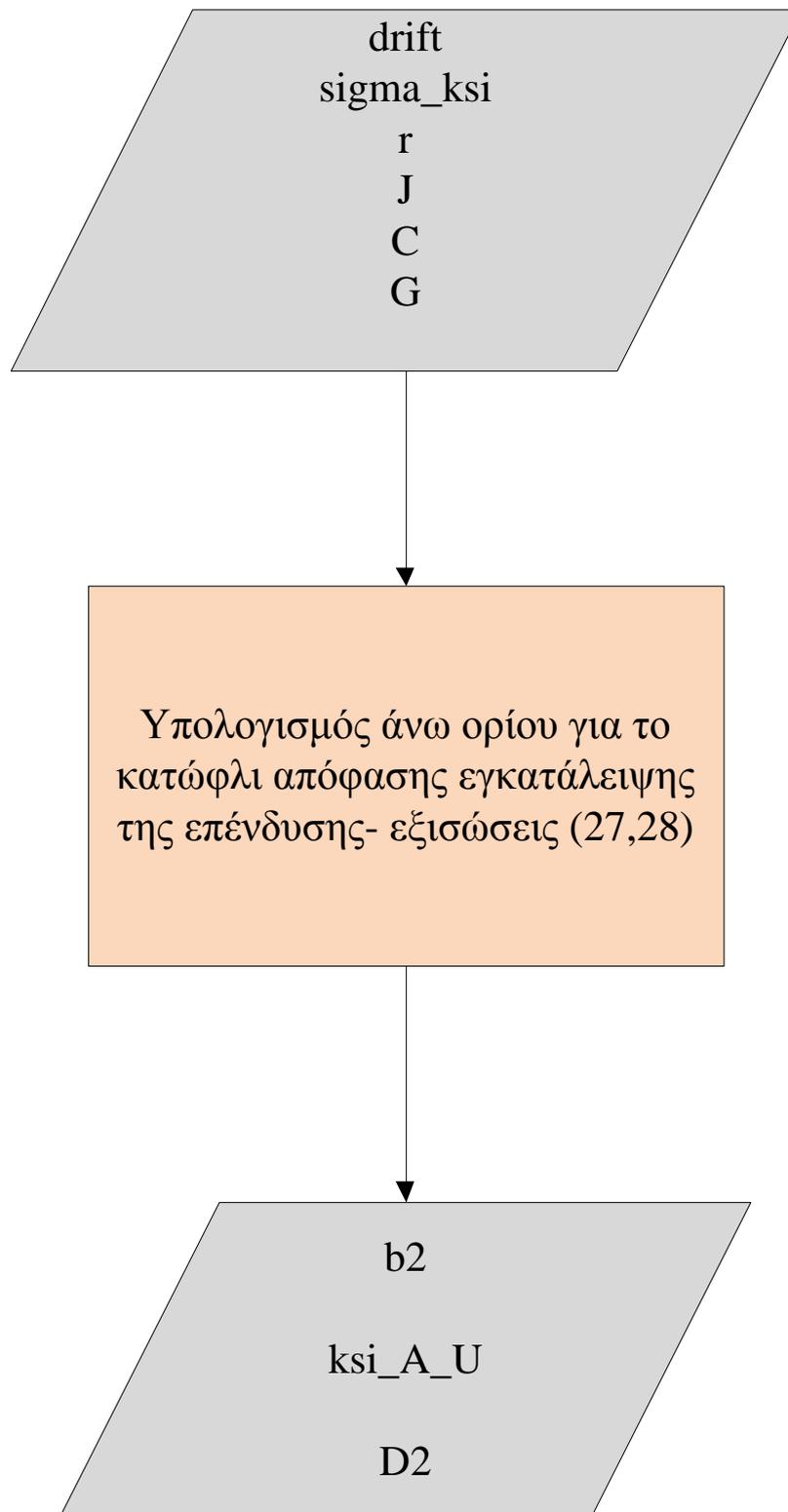


Σχήμα 5. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του άνω ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης.

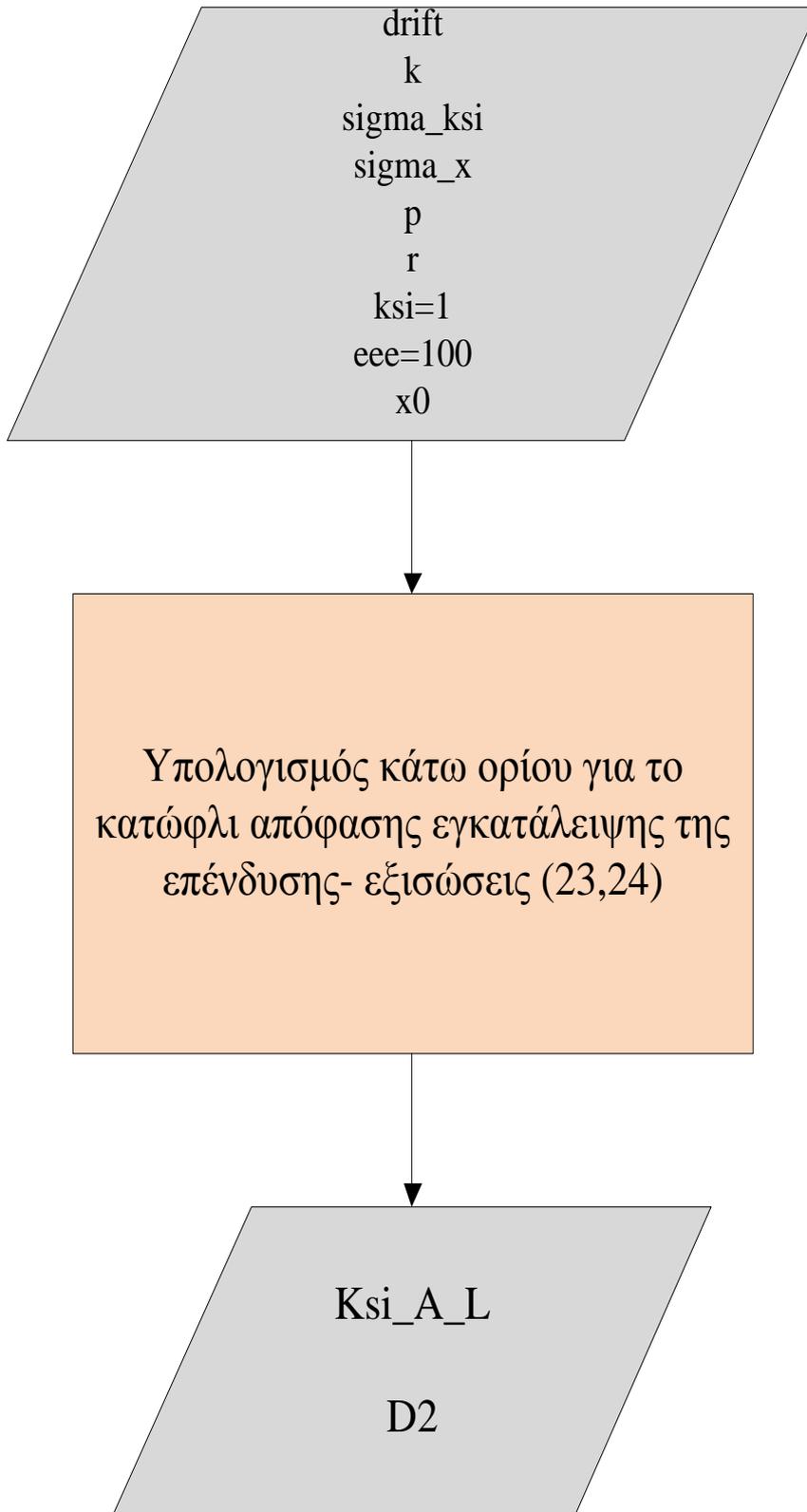


Σχήμα 6. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του κάτω ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης.

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε τον αλγόριθμο που υπολογίζει το άνω(ksi_A_U) και το κάτω όριο(ksi_A_L) για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.

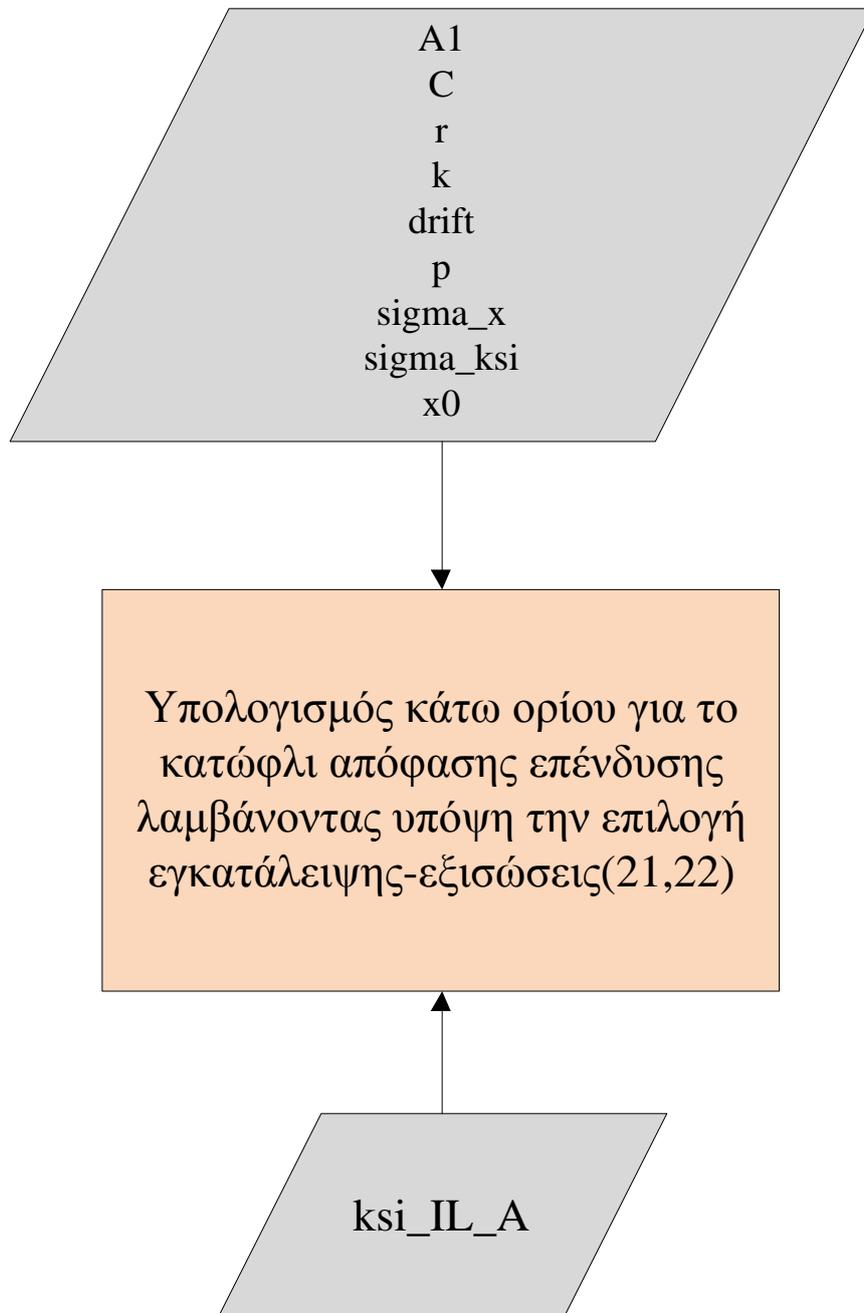


Σχήμα 7. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του άνω ορίου για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.

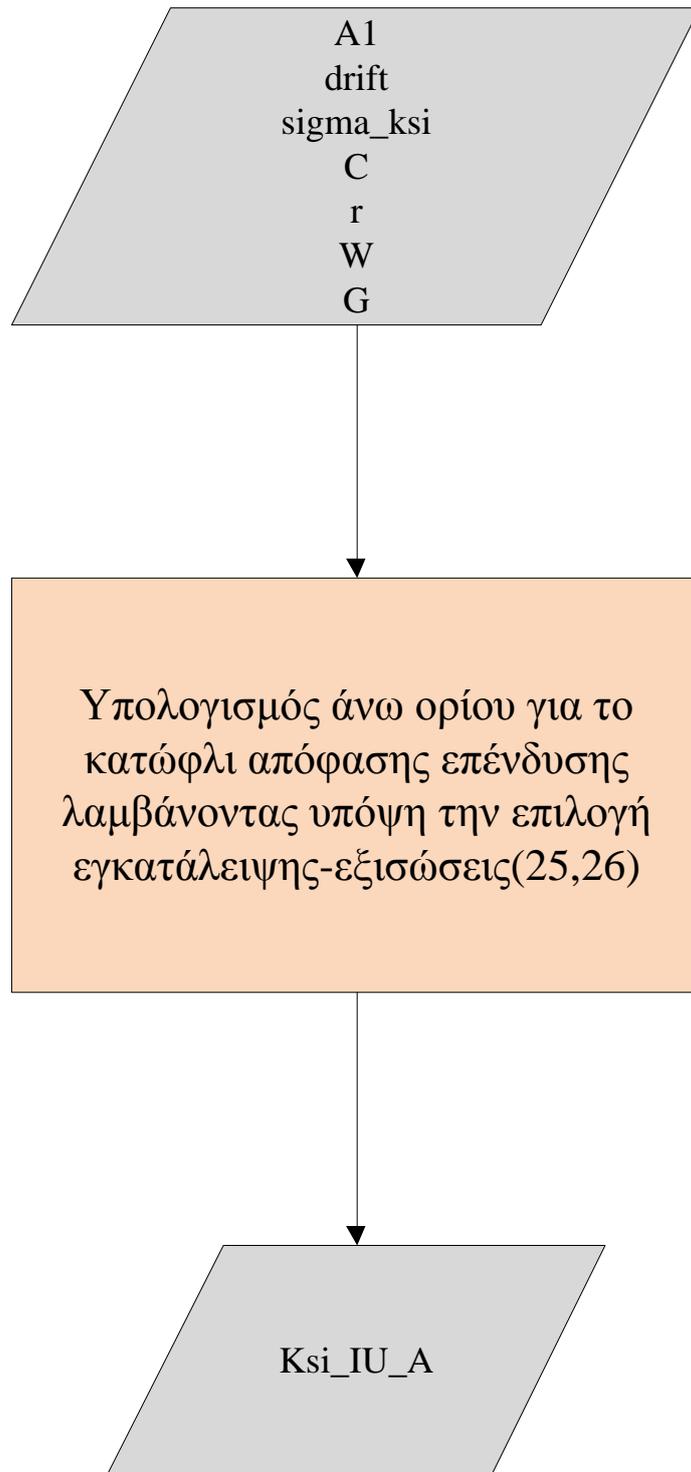


Σχήμα 8. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του κάτω ορίου για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.

Τέλος κατασκευάζουμε τον αλγόριθμο που υπολογίζει το άνω όριο (ksi_I_U_A) και το κάτω όριο (ksi_I_L_A) για το κατώφλι απόφασης επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



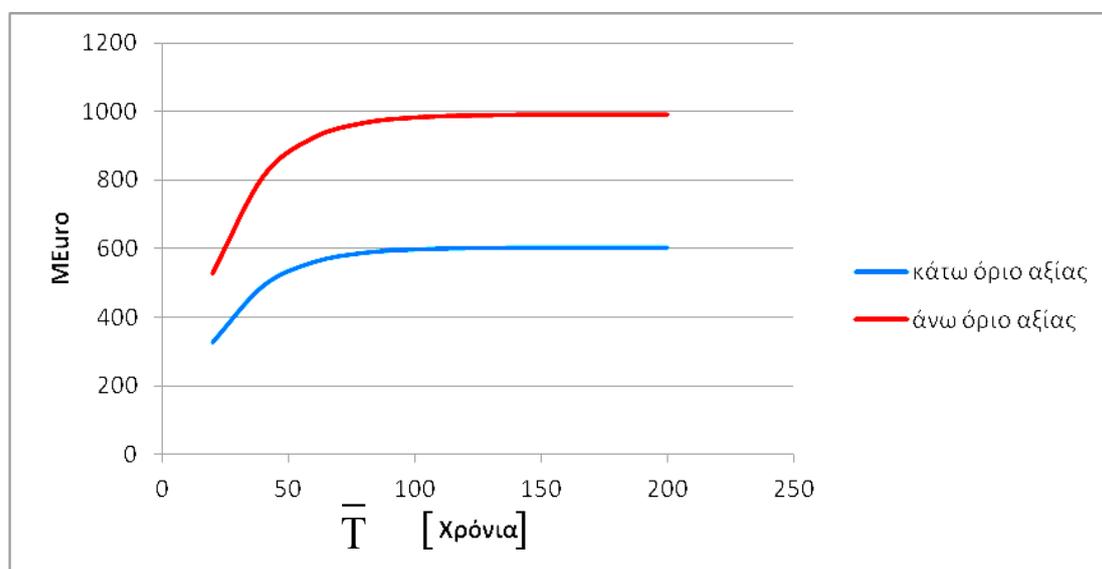
Σχήμα 9. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του κάτω ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



Σχήμα 10. Διάγραμμα ροής υπολογισμού του άνω ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης.

6.Αποτελέσματα-Ανάλυση

Όταν τα κόστη εκπομπών E θεωρούνται μηδενικά και η διάρκεια ζωής του εργοστασίου \bar{T} θεωρείται άπειρη, το κάτω όριο για τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου V_L δίνεται από το Λήμμα 1 και είναι 602.7 MEuro. Αντίστοιχα, το πάνω όριο για τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου V_U δίνεται από το Λήμμα 2 και είναι 1000.15 MEuro. Η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου ως συνάρτηση της διάρκειας ζωής του \bar{T} παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 3. Σε αυτό φαίνεται πως η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου σταδιακά σταθεροποιείται σε ένα επίπεδο καθώς η διάρκεια ζωής αυξάνεται. Στην παραδοσιακή μηχανική ανάλυση, η διάρκεια ζωής ενός τέτοιου εργοστασίου είναι συνήθως γύρω στα εικοσιπέντε χρόνια, παρόλο που όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στην πράξη τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας αναβαθμίζονται και εκσυγχρονίζονται, επεκτείνοντας σημαντικά τη διάρκεια ζωής τους.



Διάγραμμα 3. Μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου ως συνάρτηση του χρόνου ζωής του εργοστασίου.

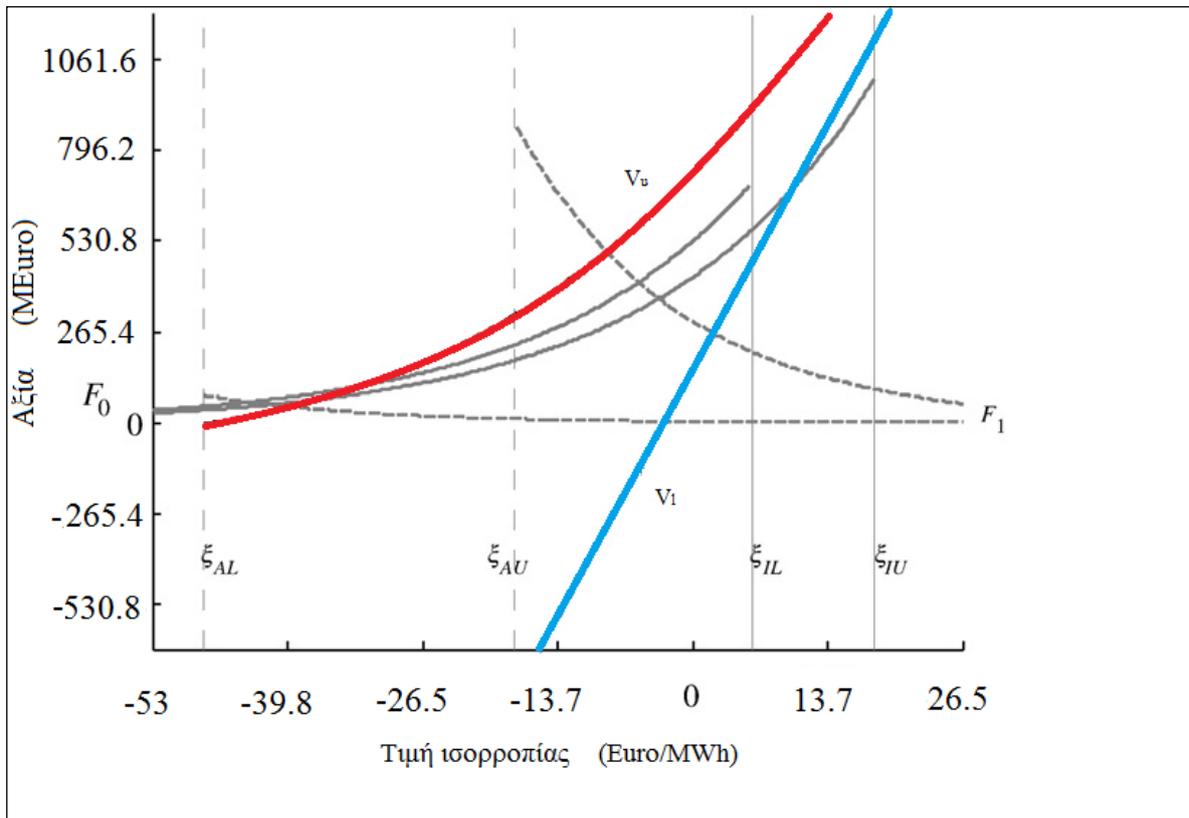
Έπειτα καθορίζουμε την απόφαση επένδυσης. Λύνοντας τις εξισώσεις στην Πρόταση 1 παίρνουμε το κατώφλι για απόφαση επένδυσης ξ_L , χωρίς να λάβουμε υπόψη την εγκατάλειψη, και είναι ανάμεσα στο διάστημα [6.14 ; 21.93]

Euro/MWh. Όταν η επιλογή εγκατάλειψης λαμβάνεται επίσης υπόψη, το κατώφλι απόφασης επένδυσης ξ_1^A είναι στο διάστημα [5.81 ; 17.82] Euro/MWh και το όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης ξ_A^A ανήκει στο διάστημα [-48.14 ; -17.46] Euro/MWh. Στην τελευταία περίπτωση τα όρια υπολογίζονται λύνοντας τις εξισώσεις της Πρότασης 2. Σημειώνουμε πως όταν λύνουμε αυτές τις μη γραμμικές εξισώσεις αριθμητικά, ταυτόχρονα υπολογίζουμε τις σταθερές των εξισώσεων A_1 και D_2 . Εάν υπάρχει δυνατότητα εγκατάλειψης, κάποια από τα κόστη της επένδυσης μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν (υπολειμματική αξία J) εάν η επένδυση προκύψει ασύμφορη. Έτσι, η προσθήκη της δυνατότητας εγκατάλειψης κάνει την νωρίτερη επένδυση πιο ευνοϊκή. Η δυνατότητα εγκατάλειψης, επίσης, μικραίνει το κενό μεταξύ των κατασκευαστικών ορίων. Η εγκατάλειψη κάνει την ευελιξία του εργοστασίου λιγότερο πολύτιμη καθώς η δυνατότητά της προσφέρει μερικώς το ίδιο είδος προστασίας απέναντι στις χαμηλές τιμές του spark spread με την δυνατότητα για προσωρινό κλείσιμο του εργοστασίου.

Τα όρια της αξίας του εργοστασίου καθώς και τα επενδυτικά όρια συνοψίζονται στον Πίνακα 3. Και στις δύο περιπτώσεις η παρούσα τιμή ισορροπίας ξ_0 , που δίνεται στον Πίνακα 2 είναι μέσα στο διάστημα κατασκευής. Έτσι, η απόφαση κατασκευής εξαρτάται από την πολιτική λειτουργίας του εργοστασίου.

Για σύγκριση υπολογίζονται τα όρια με μια μέθοδο παρούσας αξίας, δηλαδή υποθέτουμε πως το εργοστάσιο κατασκευάζεται όταν η αναμενόμενη μακροπρόθεσμη αξία του ισούται με τα κόστη επένδυσης και πως η εγκατάλειψη γίνεται όταν η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου ισούται με την υπολειμματική αξία. Σε αυτή την περίπτωση μόνο, οι επιλογές για ματαίωση των επενδυτικών αποφάσεων παραλείπονται, και για αυτό, η αβεβαιότητα στην εξέλιξη του spark spread επηρεάζει τις επενδυτικές αποφάσεις αλλάζοντας τη αξία της λειτουργικής ευελιξίας. Αυτή η μέθοδος δίνει το επενδυτικό όριο ξ_1^{NPV} που ανήκει στο διάστημα [-23.64 ; 1.15] Euro/MWh και το όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης ξ_A^{NPV} που ανήκει στο διάστημα [-35.96 ; -1.41] Euro/MWh. Οι δυνατότητες για ματαίωση έχουν θετική αξία. Έτσι, το κατασκευαστικό όριο αυξάνεται και το όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης μειώνεται, όταν συμπεριλαμβάνονται οι δυνατότητες για αναβολή. Οι υπολογισμοί με τη μέθοδο της παρούσας αξίας μας δείχνουν πως είναι βέλτιστο να επενδύουμε με τον τρέχων

όρο μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread, ανεξαρτήτως της πολιτικής λειτουργίας του εργοστασίου.



Διάγραμμα 4. Näsäkkälä and Fleten (2010). Μακροπρόθεσμη αξία εργοστασίου και επιλογών. Οι συμπαγείς χρωματιστές γραμμές δείχνουν τα ανώτερα (κόκκινη) και κατώτερα (μπλε) όρια για ένα εργοστάσιο που βρίσκεται σε σύνδεση με το δίκτυο. Προτού γίνει η επένδυση, κάποιος έχει την επιλογή να επενδύσει, της οποίας η αξία είναι F_0 και φαίνεται με τις γκρι συμπαγείς γραμμές. Οι αξίες αυτών των επιλογών ισχύουν για τιμές ισορροπίας κάτω από το κόστος επένδυσης που είναι στο εσωτερικό $[\xi_{IL}, \xi_{IU}]$. Σημειώστε πως το πάνω όριο γίνεται παράλληλο με τη γραμμή του V_U όταν $\xi = \xi_{IL}$. Οι διακεκομμένες γκρι γραμμές δείχνουν την αξία για την επιλογή εγκατάλειψης F_1 , που ισχύουν για τιμές ισορροπίας πάνω από αυτήν που αφορά την εγκατάλειψη $[\xi_{AL}, \xi_{AU}]$.

Το Διάγραμμα 4 Fleten and Näsäkkälä (2010) απεικονίζει τις αξίες των δυνατοτήτων F_0 και F_1 και τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου V ως συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread ξ . Οι μαύρες γραμμές είναι τα όρια της αξίας του εργοστασίου και οι γκρι γραμμές είναι οι αξίες

των δυνατοτήτων. Οι αξίες της δυνατότητας εγκατάλειψης φαίνονται με διακεκομμένες γραμμές, ενώ τα όρια της δυνατότητας κατασκευής είναι γκρι συνεχείς γραμμές. Τα επενδυτικά όρια απεικονίζονται με κάθετες γραμμές: οι συνεχείς κάθετες γραμμές είναι τα κατασκευαστικά όρια και οι διακεκομμένες κάθετες γραμμές είναι τα όρια εγκατάλειψης για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης. Η αξία της δυνατότητας κατασκευής αυξάνεται εκθετικά σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread μέχρι να είναι βέλτιστο να κατασκευαστεί το εργοστάσιο. Η δυνατότητα εγκατάλειψης μειώνεται εκθετικά σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Υπάρχουν τέσσερα ζευγάρια συνθηκών value-matching και smooth-pasting και ευκολότερο να εντοπιστεί είναι το έναυσμα της επένδυσης για το ευέλικτο εργοστάσιο (άνω όριο), όπου η κλίση και η αξία της δυνατότητας επένδυσης ισούται με την κλίση και τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου μείον τα κόστη επένδυσης. Για το ευέλικτο εργοστάσιο η κλίση και η αξία της δυνατότητας εγκατάλειψης είναι κοντά στο μηδέν. Σημειώνουμε επίσης πως η κλίση της αξίας της δυνατότητας εγκατάλειψης ισούται με την αρνητική κλίση της αξίας του εργοστασίου. Το κενό ανάμεσα στα όρια της δυνατότητας κατασκευής είναι μικρό συγκριτικά με το κενό ανάμεσα στα όρια της δυνατότητας εγκατάλειψης. Αυτό εξηγείται ως εξής: Το ευέλικτο εργοστάσιο μπορεί να αντιδράσει στις πτωτικές τιμές του spark spread μειώνοντας την παραγωγή του. Ως εκ τούτου, το διάστημα ανάμεσα στα όρια της αξίας του εργοστασίου αυξάνεται καθώς ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread μειώνεται. Καθώς τα όρια για τις αξίες επιλογής εγκατάλειψης καθορίζονται από τα όρια της αξίας του εργοστασίου, αυτά αποκλίνουν όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread μειώνεται.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

| Μεταβλητή | $V(0, \xi_0)$ | ξ_I | ξ_I^A | ξ_A^A |
|-----------|--------------------|----------------|----------------|-------------------|
| Μονάδα | MEuro | Euro/MWh | Euro/MWh | Euro/MWh |
| Αξία | [602.72 ; 1000.15] | [6.14 ; 21.93] | [5.81 ; 17.82] | [-48.14 ; -17.46] |

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ελληνικής αγοράς.

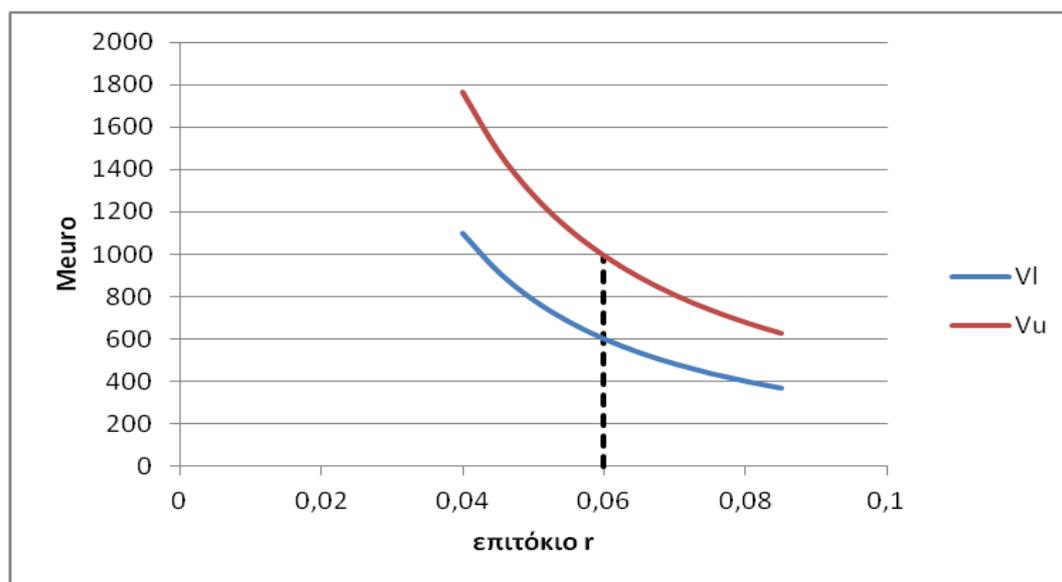
Στη συνέχεια πραγματοποιούμε ανάλυση ευαισθησίας για τα αποτελέσματα που βρήκαμε.

6.1.Ανάλυση ευαισθησίας

Στη συνέχεια, πραγματοποιούμε ανάλυση ευαισθησίας για να δούμε πως συμπεριφέρονται τα αποτελέσματα μας αν αλλάξουμε κάποιες σημαντικές παραμέτρους.

Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει το σενάριο βάσης γύρω από το οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση ευαισθησίας.

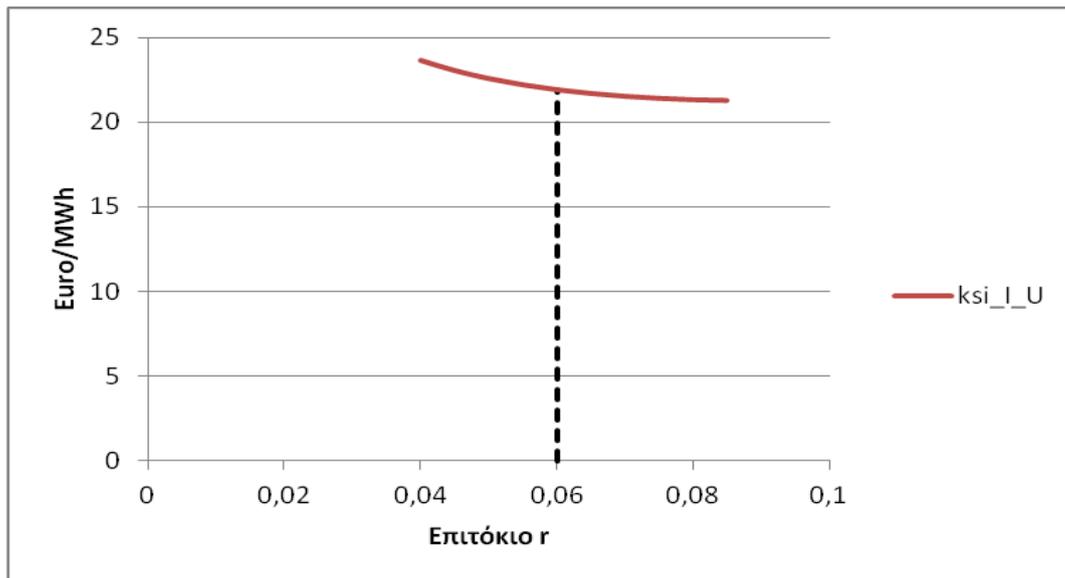
Αρχικά θα εξετάσουμε την συμπεριφορά της μακροπρόθεσμης αξίας του εργοστασίου αν μεταβάλουμε το επιτόκιο r .



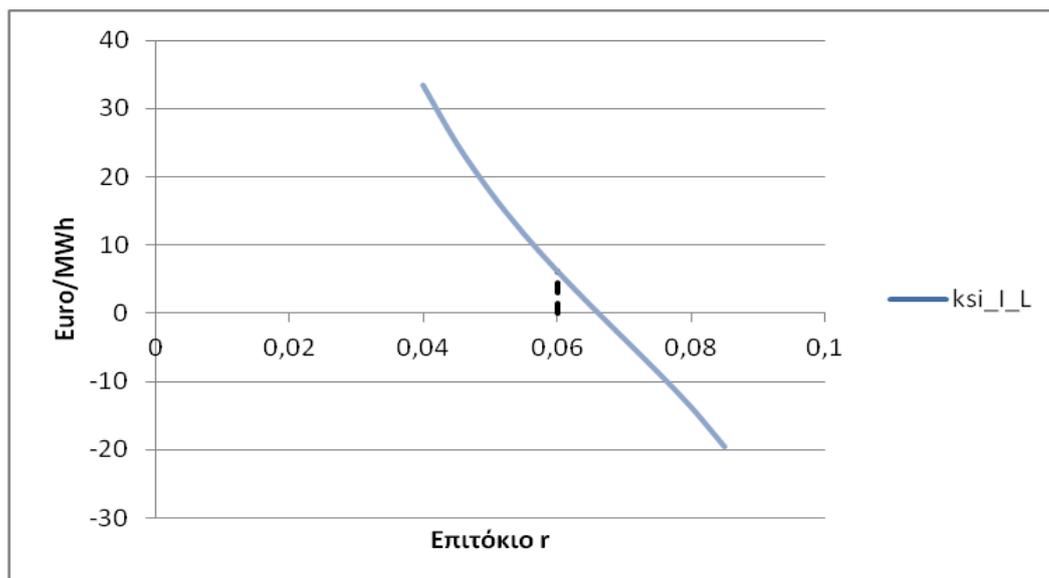
Διάγραμμα 5. Όρια μακροπρόθεσμης αξίας του εργοστασίου συναρτήσει του επιτοκίου r .

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως με την αύξηση του επιτοκίου, μειώνεται η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου.

Στη συνέχεια παρατηρούμε πως επηρεάζεται το άνω και κάτω όριο του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας για το κατώφλι απόφασης επένδυσης χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης καθώς μεταβάλουμε το επιτόκιο r .



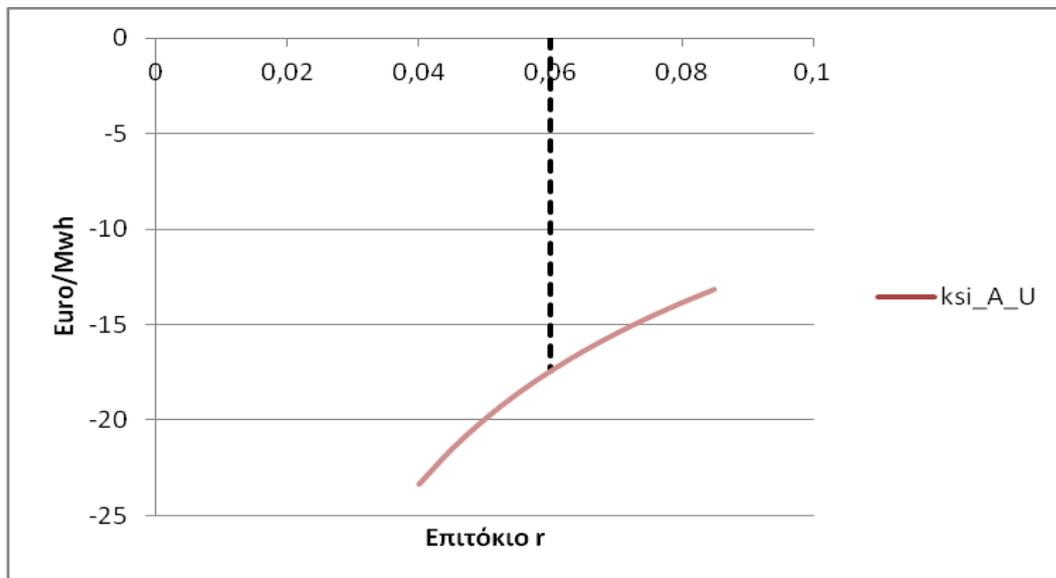
Διάγραμμα 6. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του επιτοκίου r .



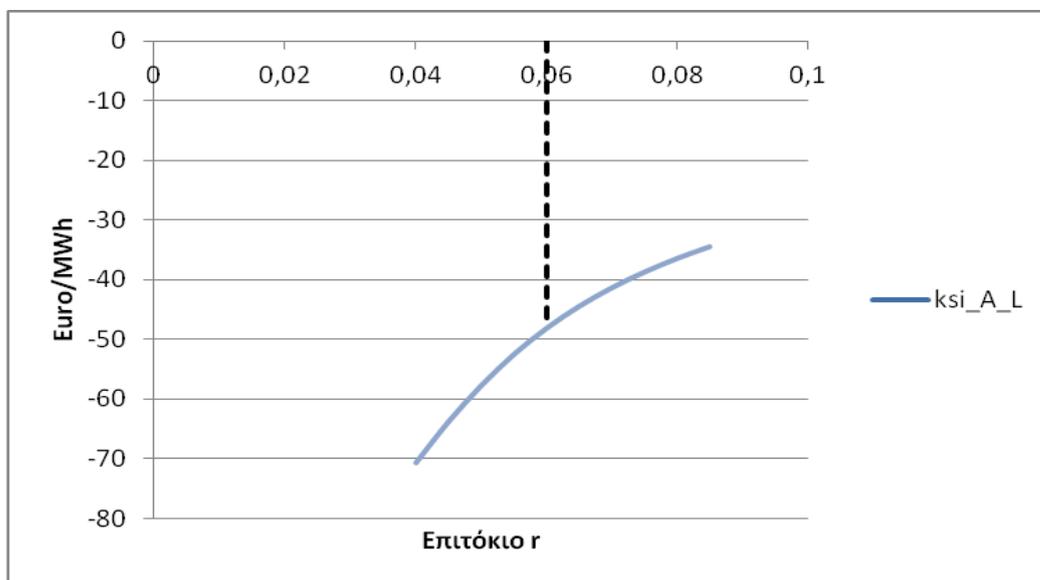
Διάγραμμα 7. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του επιτοκίου r .

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως όταν το επιτόκιο r αυξάνεται, το κατώφλι επένδυσης μειώνεται, δηλαδή η επένδυση καθίσταται συμφέρουσα.

Στη συνέχεια θα δούμε τη συμπεριφορά των ορίων του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης του εργοστασίου.



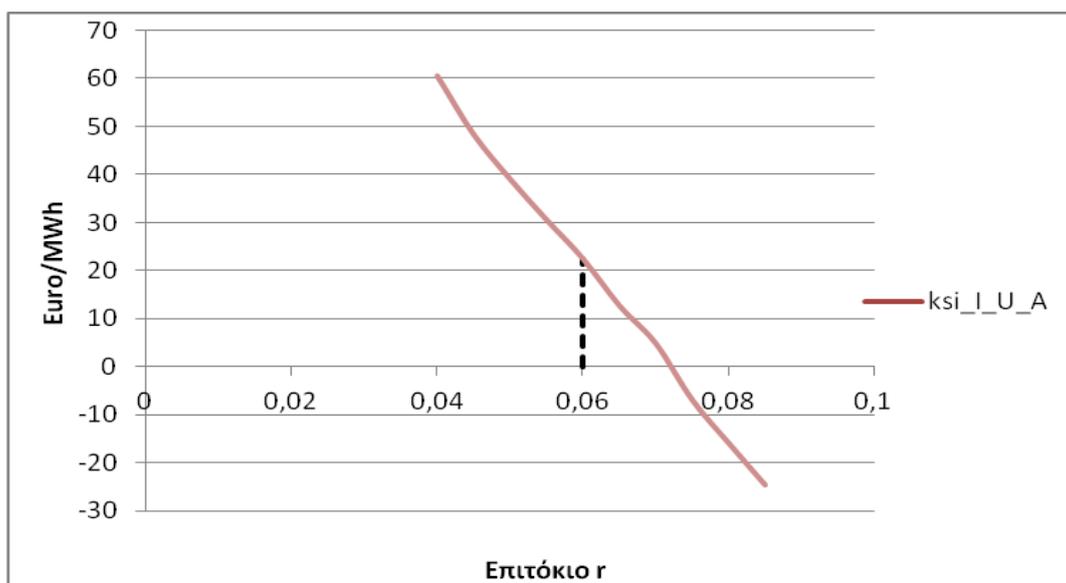
Διάγραμμα 8. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του επιτοκίου r .



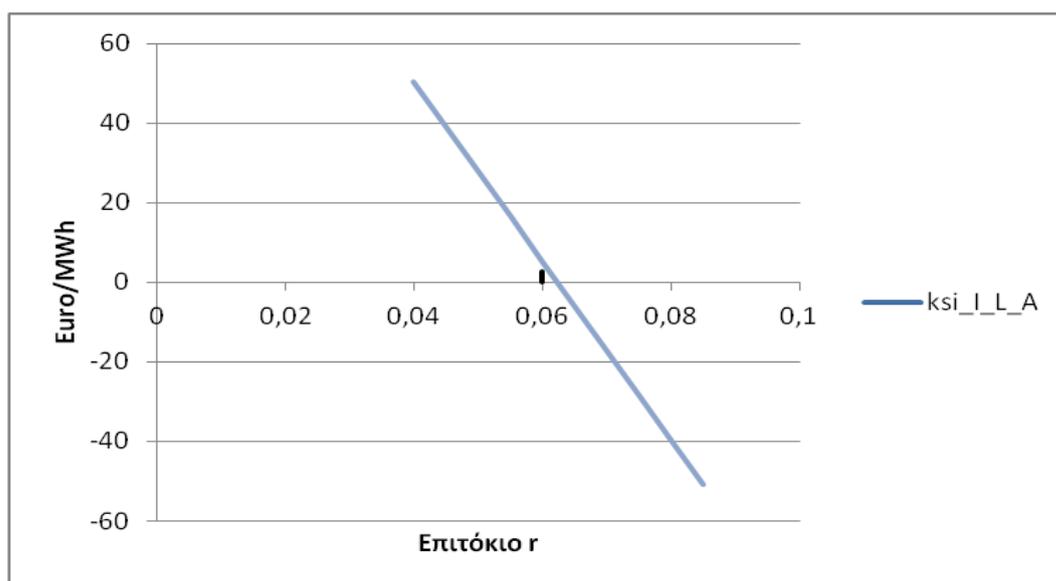
Διάγραμμα 9. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του επιτοκίου r .

Από τα διαγράμματα προκύπτει πως το κατώφλι εγκατάλειψης αυξάνεται συναρτήσει του επιτοκίου r , δηλαδή η εγκατάλειψη του εγχειρήματος καθίσταται συμφέρουσα.

Τέλος, εξετάζουμε τη συμπεριφορά των ορίων του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας για το κατώφλι απόφασης επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης ως συνάρτηση του επιτοκίου r .



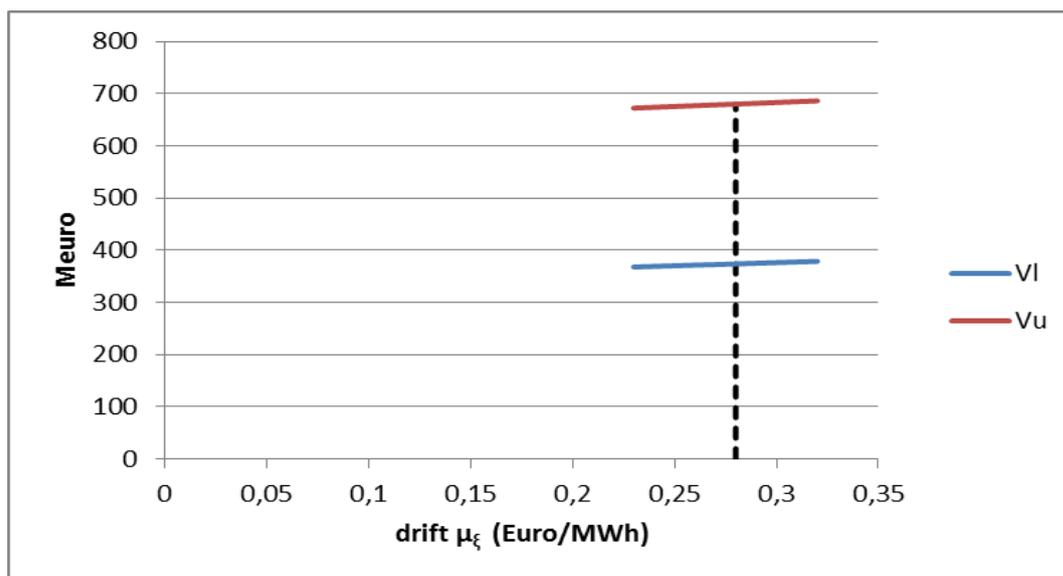
Διάγραμμα 10. Άνω όριο όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει του επιτοκίου r .



Διάγραμμα 11. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει του επιτοκίου r .

Από τα παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε πως αυξάνοντας το επιτόκιο r , το κατώφλι επένδυσης ελαττώνεται γεγονός που κάνει την επένδυση όλο και πιο συμφέρουσα.

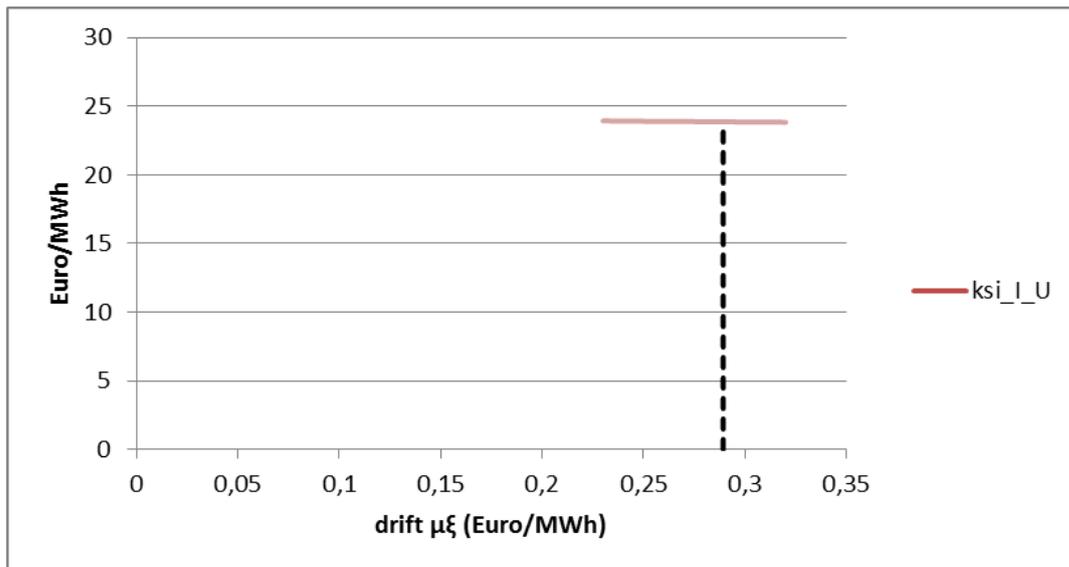
Συνεχίζουμε την ανάλυση ευαισθησίας μελετώντας τη συμπεριφορά των αποτελεσμάτων μας ως συνάρτηση της παραμέτρου μετατόπισης μ_z (Euro/MWh). Ξεκινάμε με τη μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου.



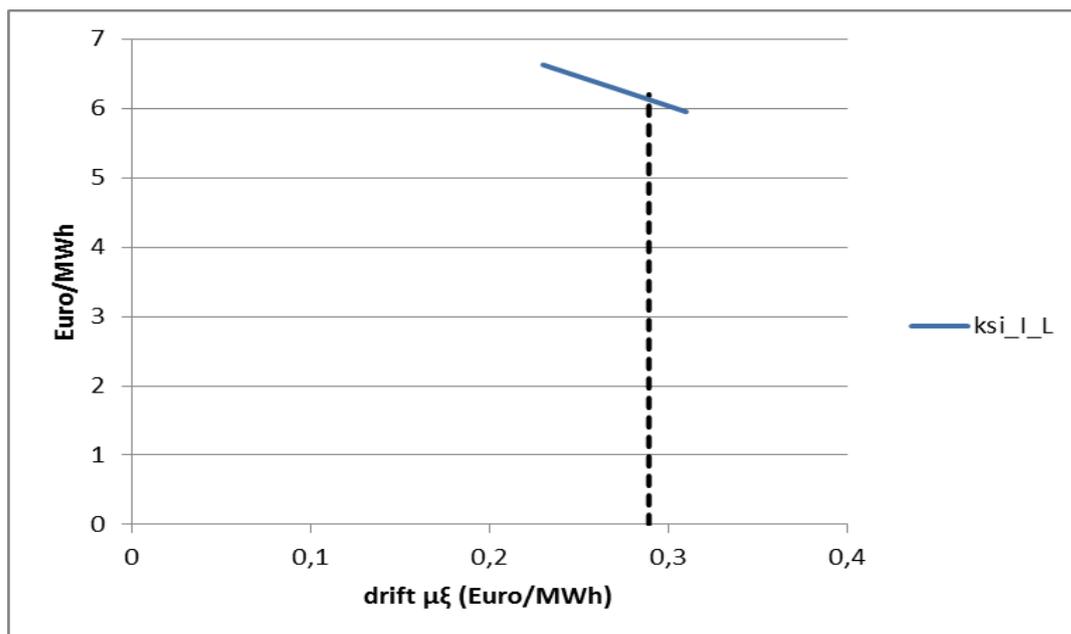
Διάγραμμα 12. Άνω και κάτω όριο μακροπρόθεσμης αξίας εργοστασίου συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_z .

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η παράμετρος μετατόπισης μ_z , αυξάνεται και η μακροπρόθεσμη αξία του εργοστασίου. Η μεταβολή αυτή είναι βέβαια πολύ μικρή.

Στη συνέχεια παρατηρούμε τη συμπεριφορά των ορίων του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας για το κατώφλι απόφασης επένδυσης του εργοστασίου.



Διάγραμμα 13. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_{ξ} .

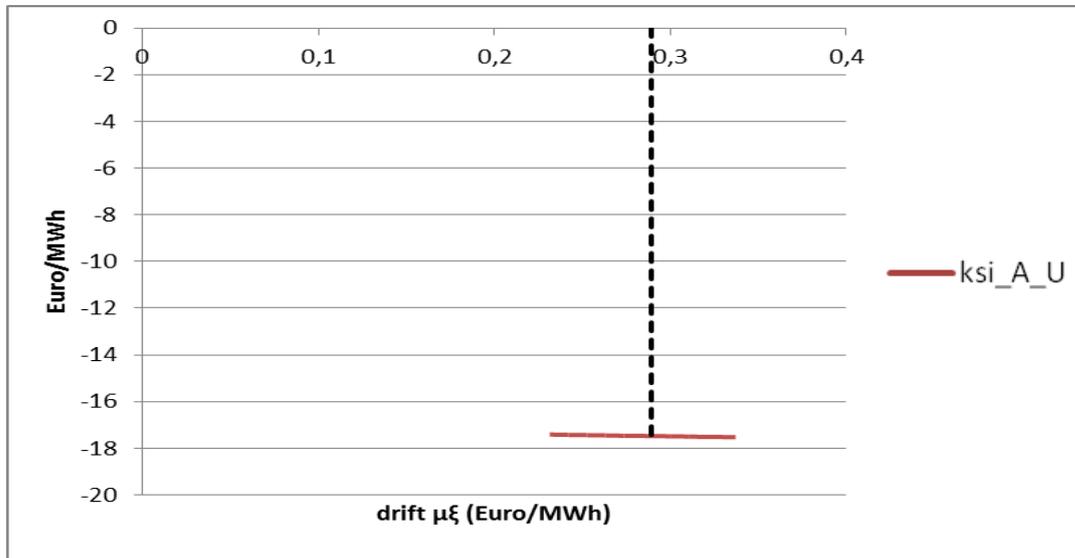


Διάγραμμα 14. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_{ξ} .

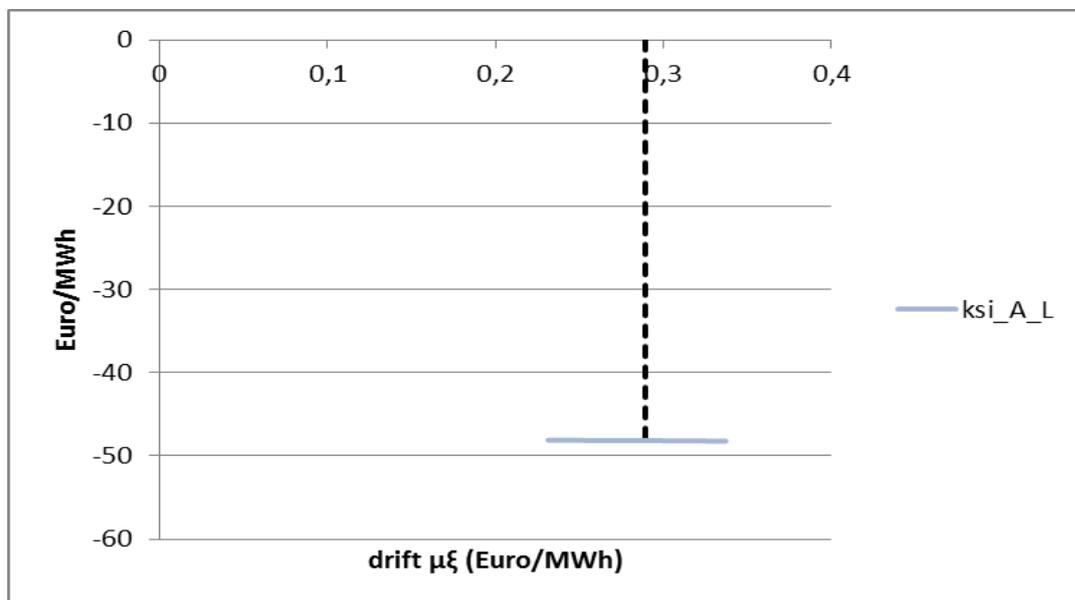
Από τα διαγράμματα παρατηρούμε πως όταν αυξάνεται ο δείκτης μ_{ξ} , τα όρια για το κατώφλι επένδυσης μειώνονται. Γεγονός που δείχνει πως η απόφαση για επένδυση γίνεται όλο και πιο συμφέρουσα ακόμα και με αρχικά μικρότερο

κέρδος, καθώς στο μέλλον η τιμή του spark spread θα αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.



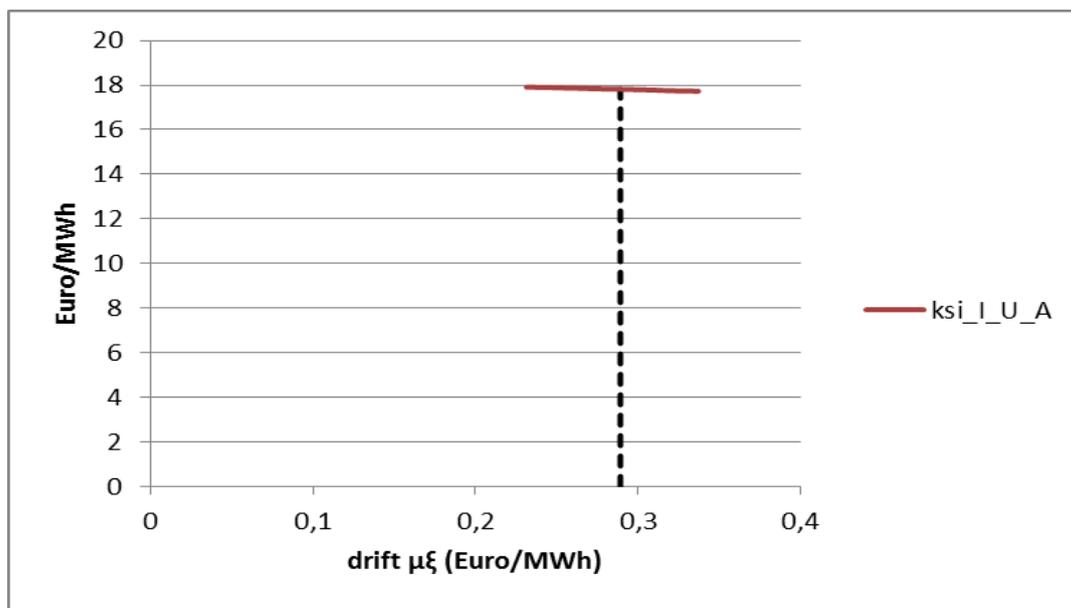
Διάγραμμα 15. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_{ξ} .



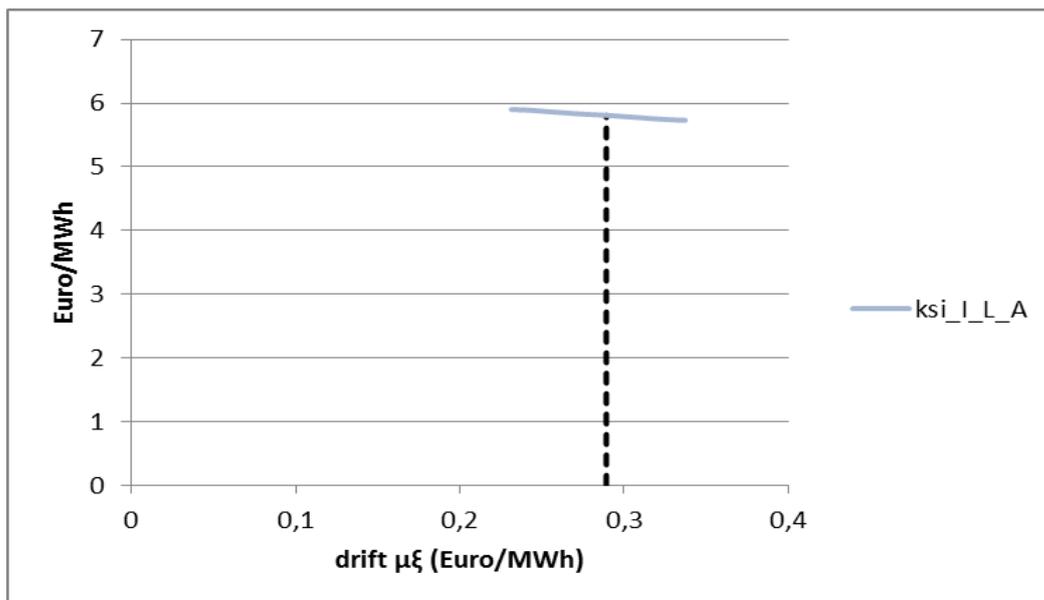
Διάγραμμα 16. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_{ξ} .

Στα διαγράμματα βλέπουμε πως και τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης μειώνονται όσο αυξάνεται ο δείκτης drift. Δηλαδή, γίνεται όλο και πιο ασύμφορο να εγκαταλείψουμε το εγχείρημα.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης, ως συνάρτηση του δείκτη μετατόπισης μ_x .



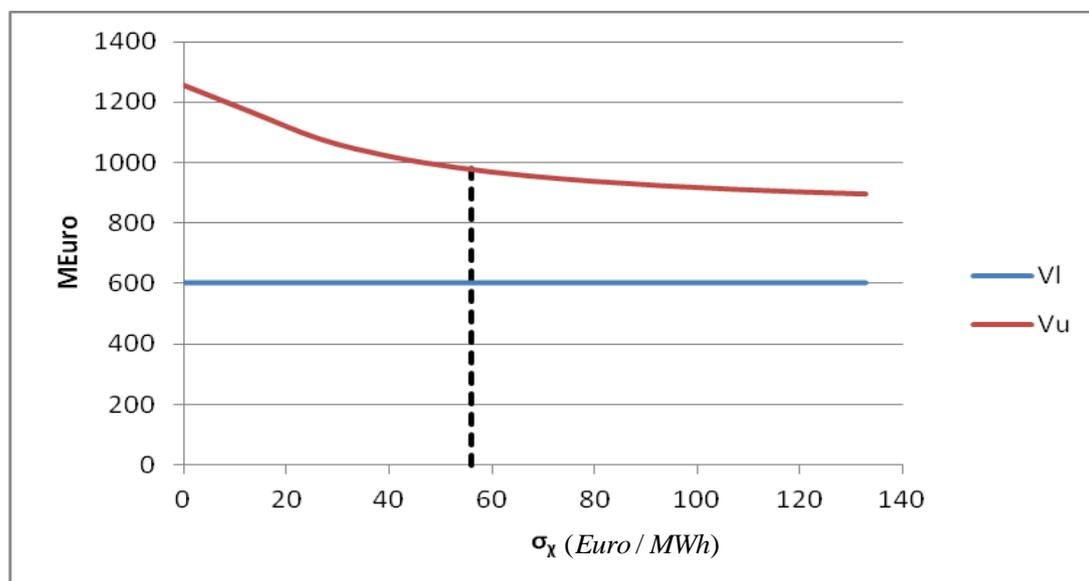
Διάγραμμα 17. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_x .



Διάγραμμα 18. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μετατόπισης μ_x .

Και εδώ βλέπουμε πως όσο αυξάνεται ο δείκτης drift, τόσο μειώνονται τα όρια για το κατώφλι επένδυσης, γεγονός που κάνει την επένδυση πιο συμφέρουσα.

Τώρα θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των μεγεθών μας ως συνάρτηση της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης σ_x (Euro/MWh). Αρχίζουμε με την επίδραση της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης στην αξία του εργοστασίου.

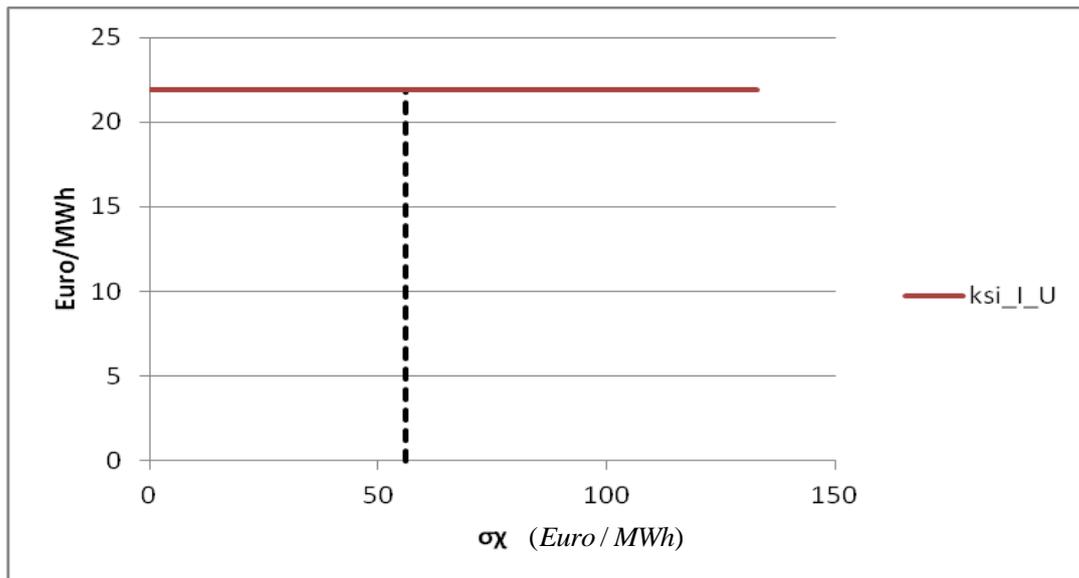


Διάγραμμα 19. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.

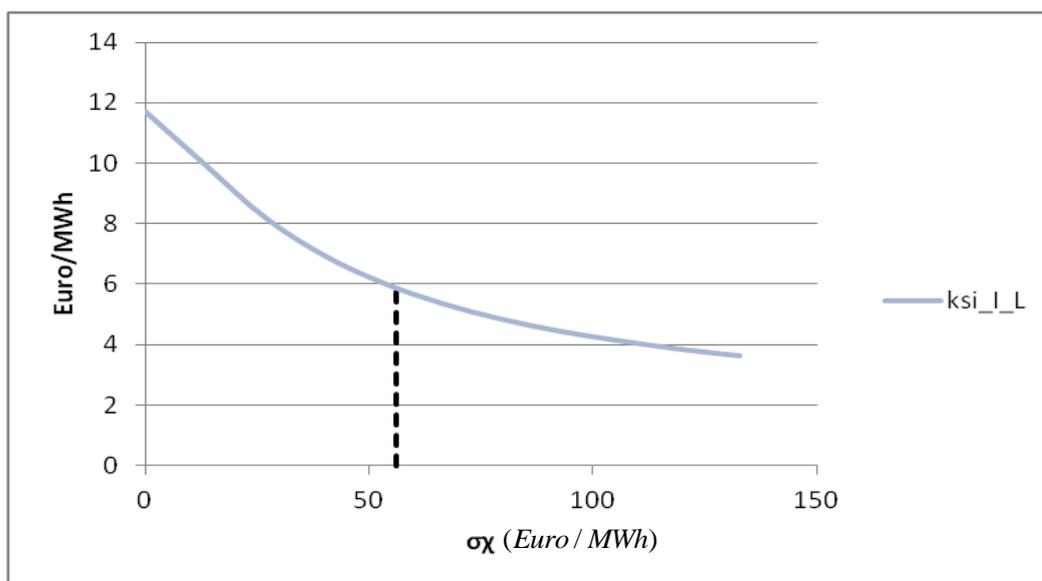
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση, τόσο μειώνεται το άνω όριο της αξίας του εργοστασίου, ενώ το κάτω όριο παραμένει ανεπηρέαστο. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου προκύπτει από τη λειτουργία ενός εργοστασίου φορτίου βάσης, δηλαδή λειτουργεί ανεξάρτητα από της αλλαγές του spark spread. Από την άλλη, το άνω όριο της αξίας του εργοστασίου προκύπτει από τη λειτουργία ενός ευέλικτου εργοστασίου το οποίο αλλάζει την παραγωγή του ανάλογα με της αλλαγές που γίνονται στις αγορές.

Στη συνέχεια παρατηρούμε την επίδραση της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης στην λήψη των αποφάσεων.

Ξεκινάμε με τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης χωρίς να λάβουμε υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



Διάγραμμα 20. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.

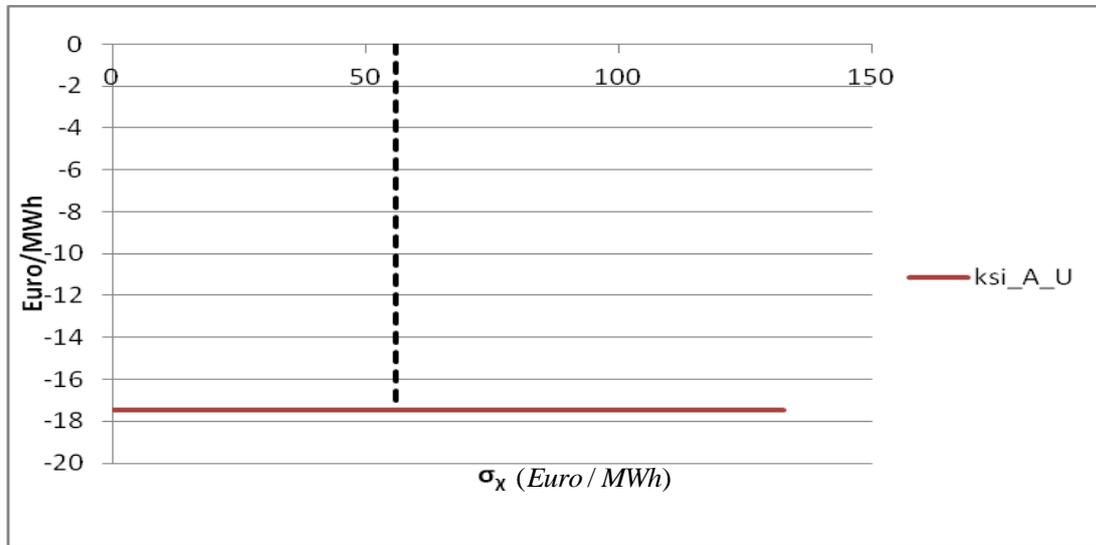


Διάγραμμα 21. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.

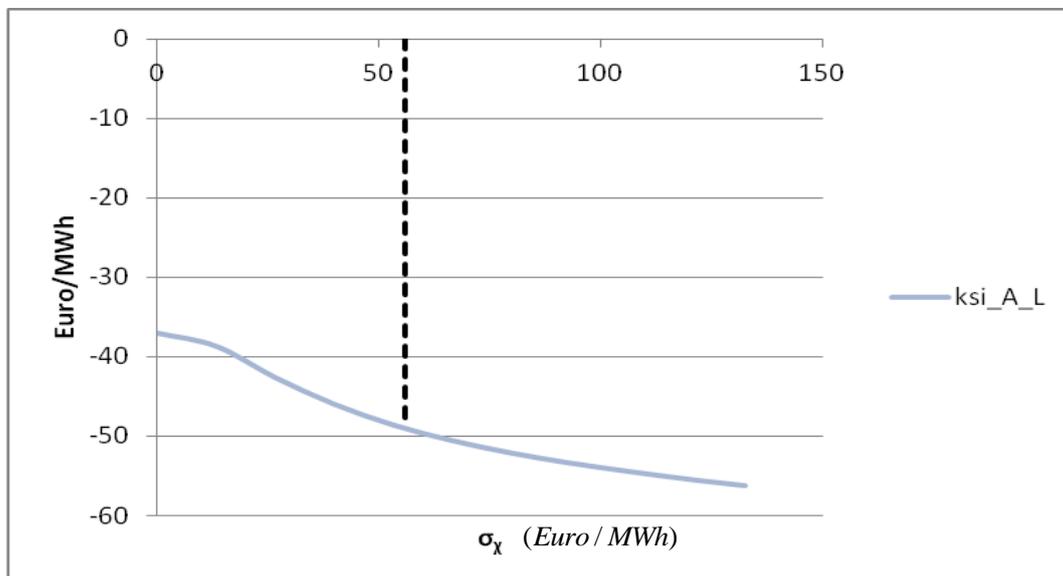
Παρατηρούμε πως το άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης παραμένει αμετάβλητο όσο αυξάνεται η βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση, ενώ το κάτω όριο μειώνεται. Αυτό είναι λογικό γιατί το άνω όριο προκύπτει για εργοστάσιο φορτίου βάσης, που είναι αμετάβλητο για τις αλλαγές της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης. Από την άλλη πλευρά, το κάτω όριο, που

προκύπτει για ευέλικτο εργοστάσιο, μειώνεται με αποτέλεσμα να γίνεται πιο αποδοτική η απόφαση για επένδυση.

Στη συνέχεια μελετάμε την επιλογή εγκατάλειψης.



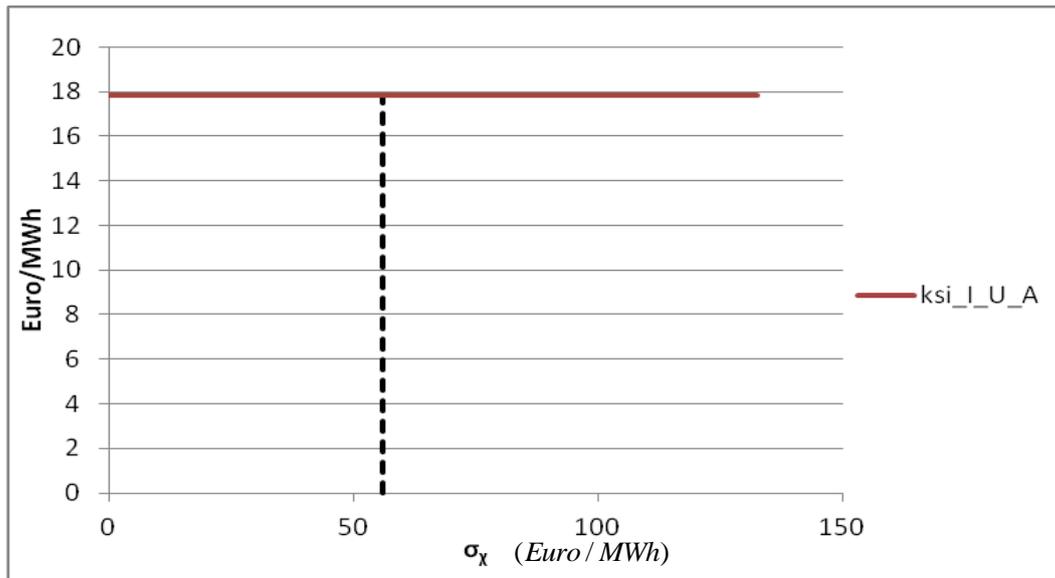
Διάγραμμα 22. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.



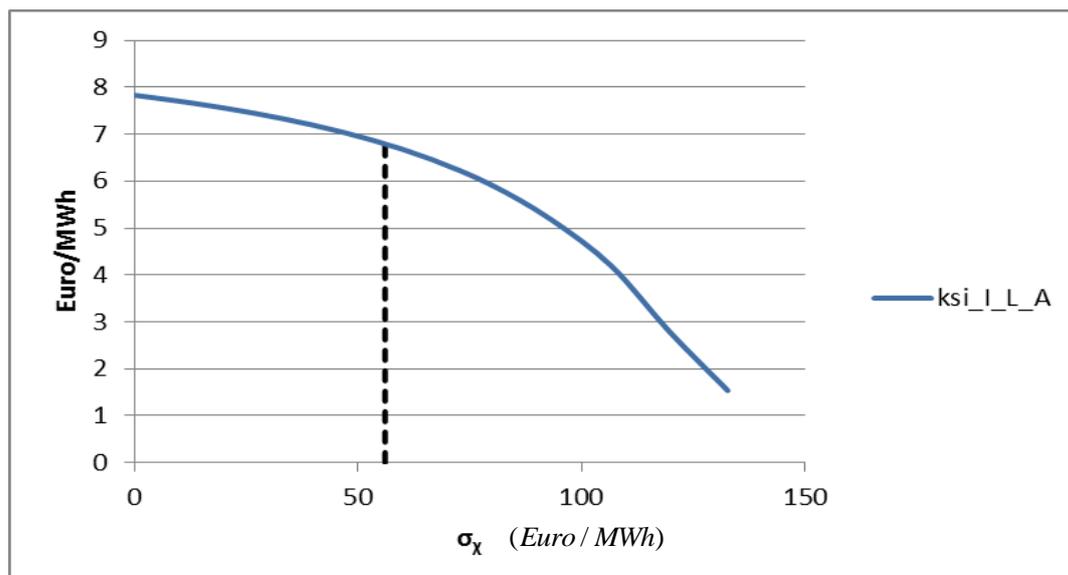
Διάγραμμα 23. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.

Και πάλι βλέπουμε πως το άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης δεν επηρεάζεται από τη βραχυπρόθεσμη τυπική απόκλιση αφού εξαρτάται από το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου, ενώ το κάτω όριο μειώνεται, γεγονός που δείχνει πως η απόφαση για εγκατάλειψη δεν είναι συμφέρουσα.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης στα οποία έχει ληφθεί υπόψη η δυνατότητα εγκατάλειψης.



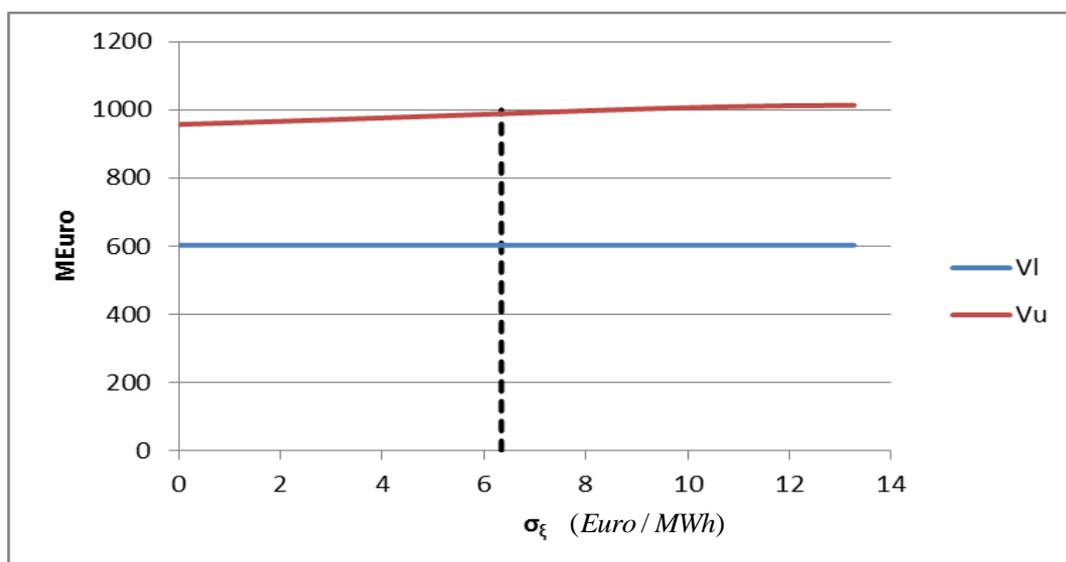
Διάγραμμα 24. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσεως της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.



Διάγραμμα 25. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσεως της βραχυπρόθεσμης τυπικής απόκλισης.

Όπως και για τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, χωρίς τη δυνατότητα εγκατάλειψης, έτσι και εδώ το άνω όριο παραμένει αμετάβλητο, ενώ το κάτω μειώνεται.

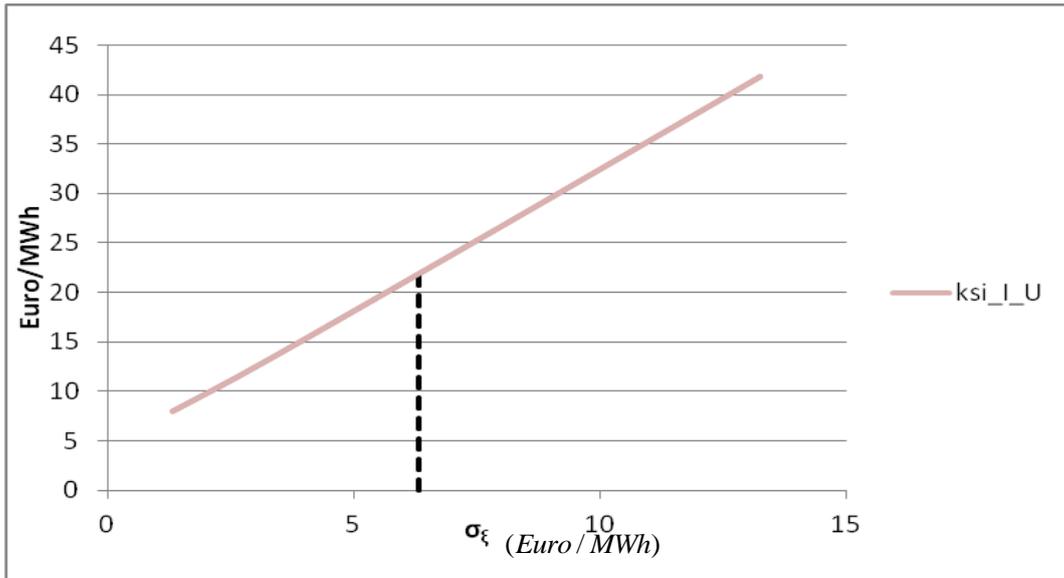
Στη συνέχεια θα δούμε πως συμπεριφέρεται η αξία του εργοστασίου μεταβάλλοντας τη τυπική απόκλιση ισορροπίας σ_x (Euro/MWh).



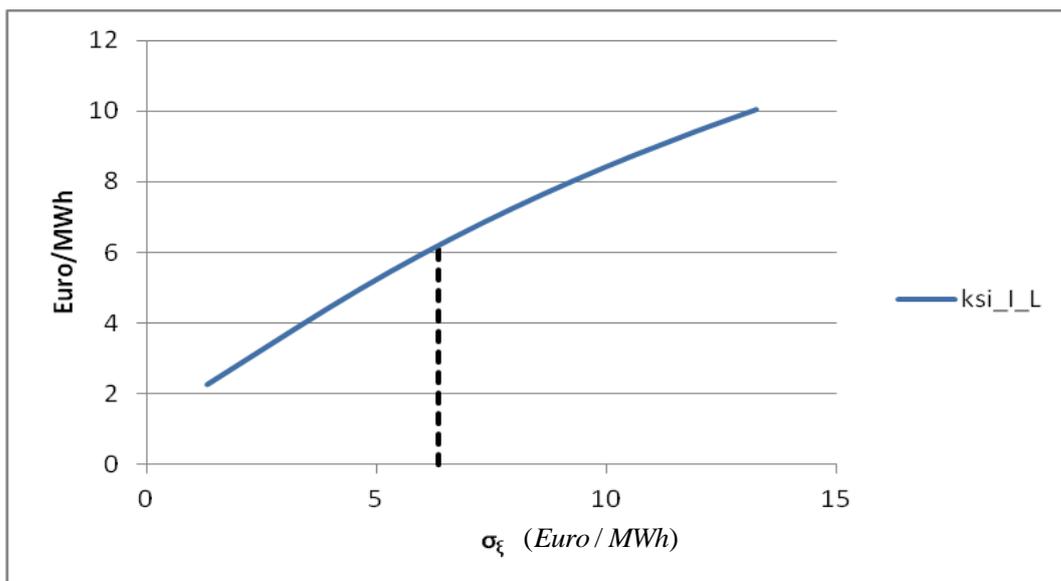
Διάγραμμα 26. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισορροπίας.

Βλέπουμε πως το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου παραμένει αμετάβλητο, ενώ το άνω όριο αυξάνεται. Πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση ισορροπίας, πιο συμφέρον είναι το ευέλικτο εργοστάσιο.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης ως προς την τυπική απόκλιση ισορροπίας.



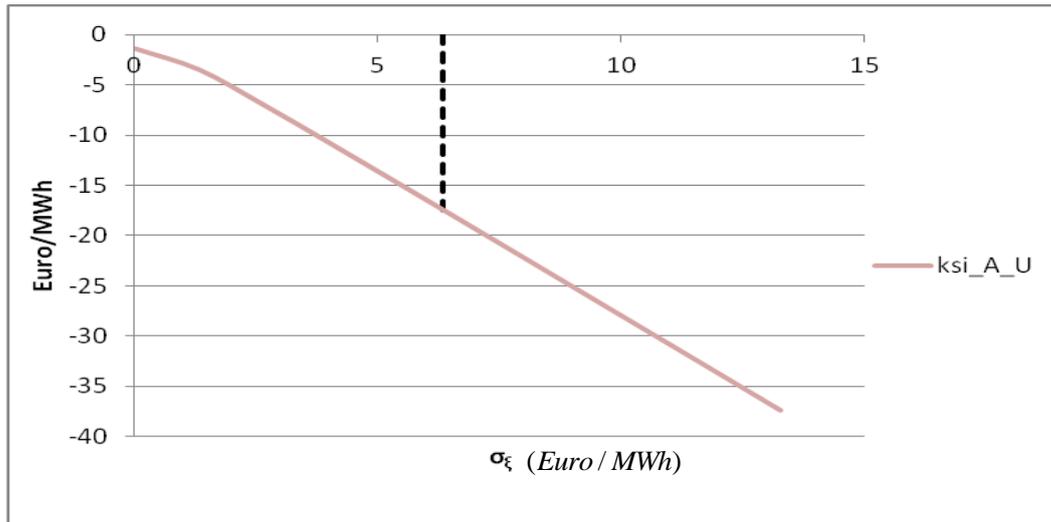
Διάγραμμα 27. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισορροπίας.



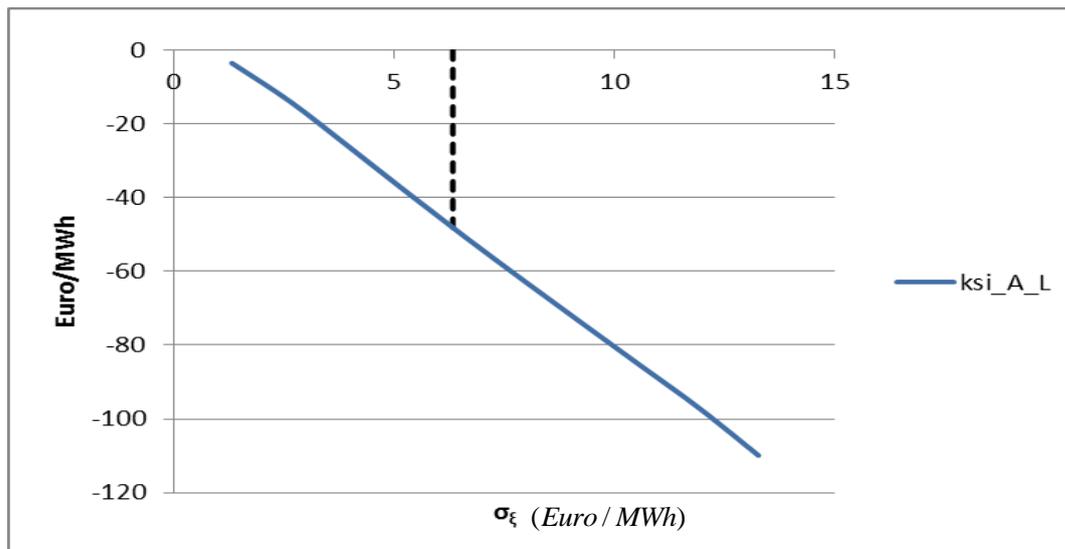
Διάγραμμα 28. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισορροπίας.

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση ισορροπίας, τόσο αυξάνονται τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Δηλαδή τόσο μεγαλύτερο θα πρέπει να είναι το κέρδος για να ξεκινήσουμε την επένδυση καθώς αυξάνεται η αβεβαιότητα.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.



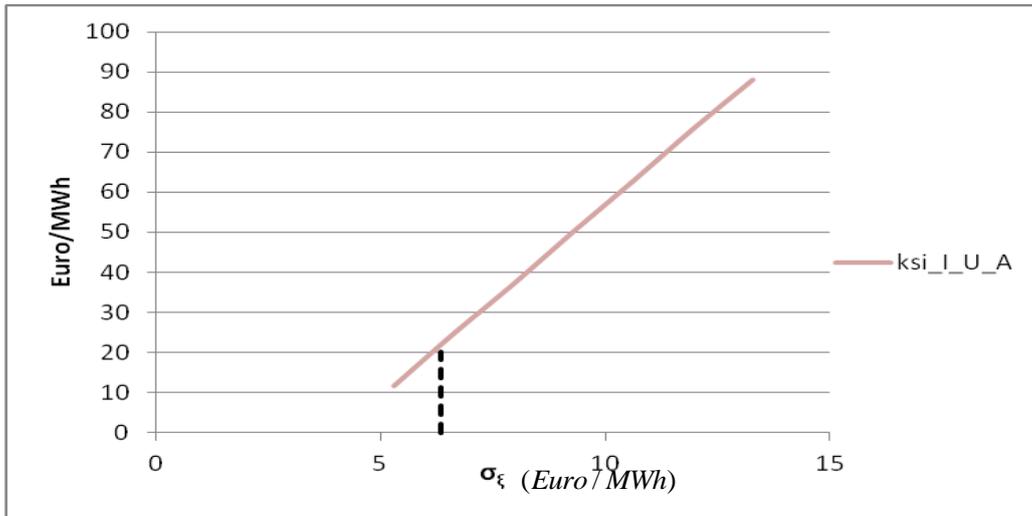
Διάγραμμα 29. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισοροπίας.



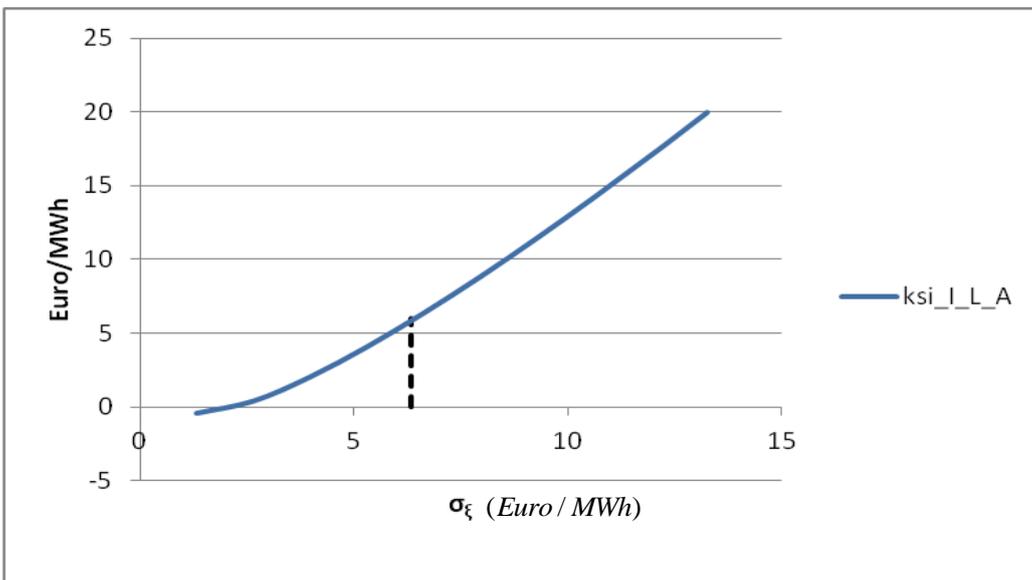
Διάγραμμα 30. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισοροπίας.

Στα διαγράμματα παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση ισοροπίας, τόσο μειώνονται τα όρια για το κατώφλι της επιλογής εγκατάλειψης. Δηλαδή, η επιλογή εγκατάλειψης γίνεται ασύμφορη. Καταλήγουμε λοιπόν πως η αναμονή για την απόφαση επένδυσης είναι η καλύτερη δυνατή επιλογή.

Τέλος, ακολουθούν τα διαγράμματα των ορίων για το κατώφλι επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



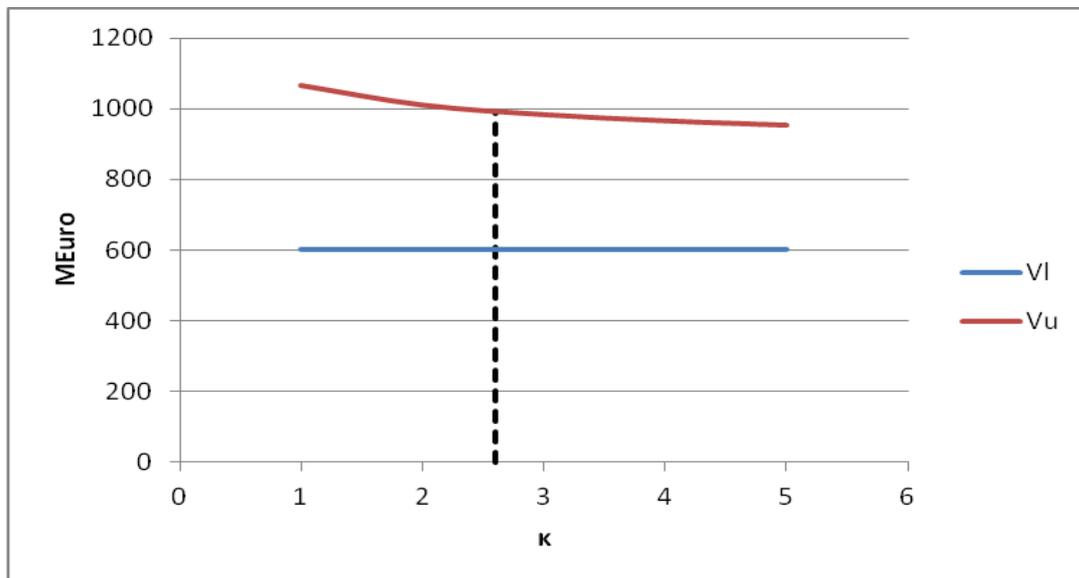
Διάγραμμα 31. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισορροπίας.



Διάγραμμα 32. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της τυπικής απόκλισης ισορροπίας.

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση ισορροπίας, τόσο αυξάνεται το άνω και το κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, δηλαδή η επένδυση καθίσταται ασύμφορη.

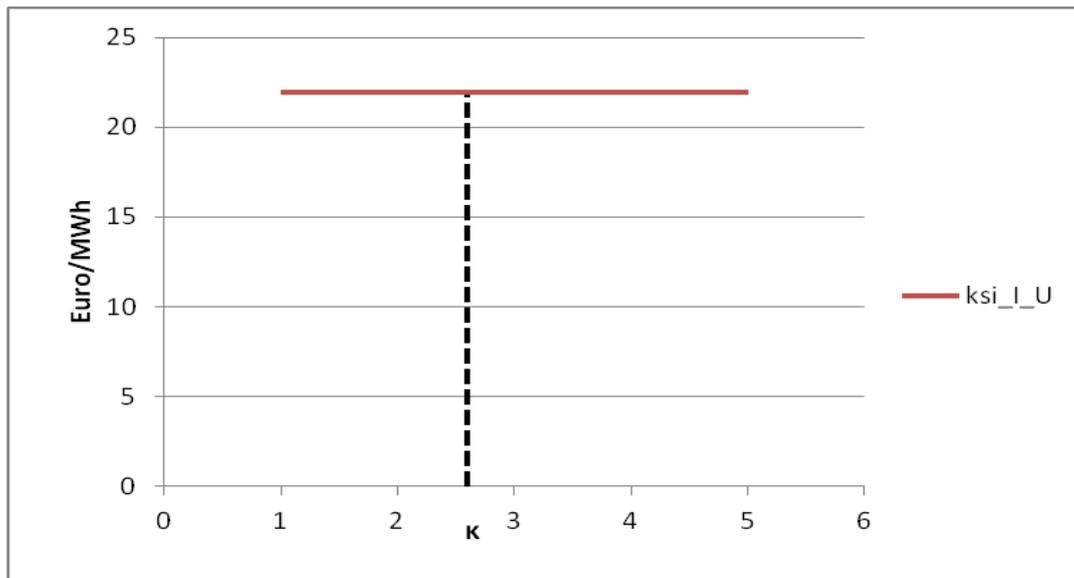
Συνεχίζουμε την ανάλυση ευαισθησίας με την παράμετρο μέσης επιστροφής κ . Αρχικά βλέπουμε τη συμπεριφορά των ορίων της αξίας του εργοστασίου.



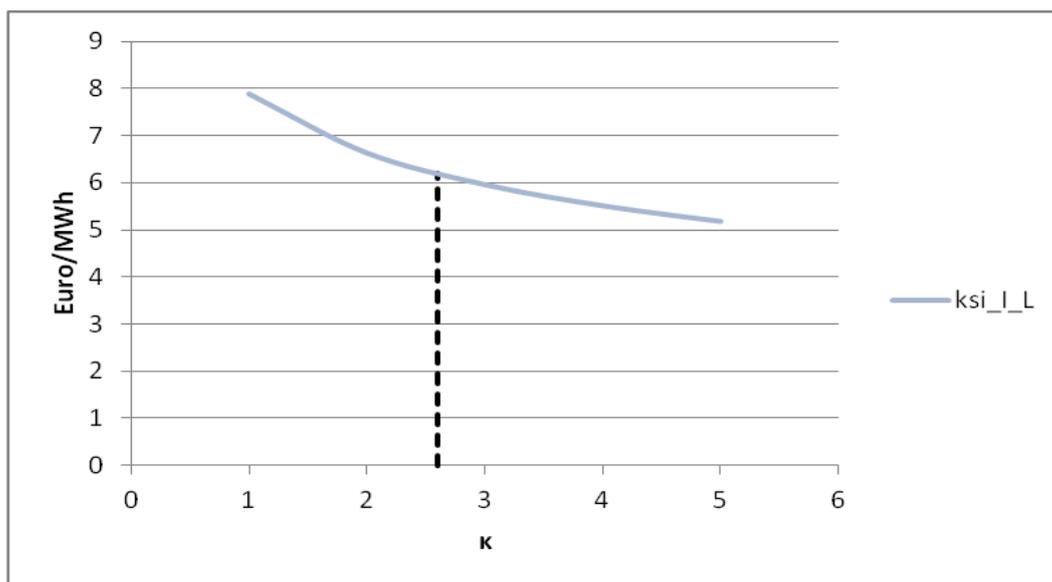
Διάγραμμα 33. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει της παραμέτρου της μέσης επιστροφής.

Το κάτω όριο της αξίας του εργοστασίου δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή της παραμέτρου κ , γιατί και πάλι αφορά εργοστάσιο φορτίου βάσης, ενώ το άνω όριο ευέλικτο εργοστάσιο.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραμέτρου κ .



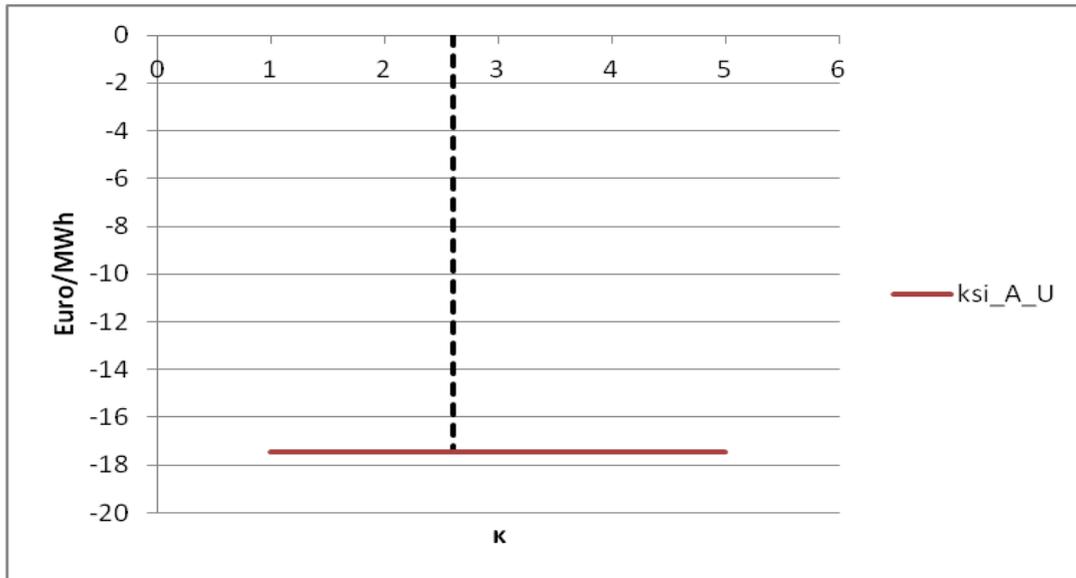
Διάγραμμα 34. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραμέτρου της μέσης επιστροφής.



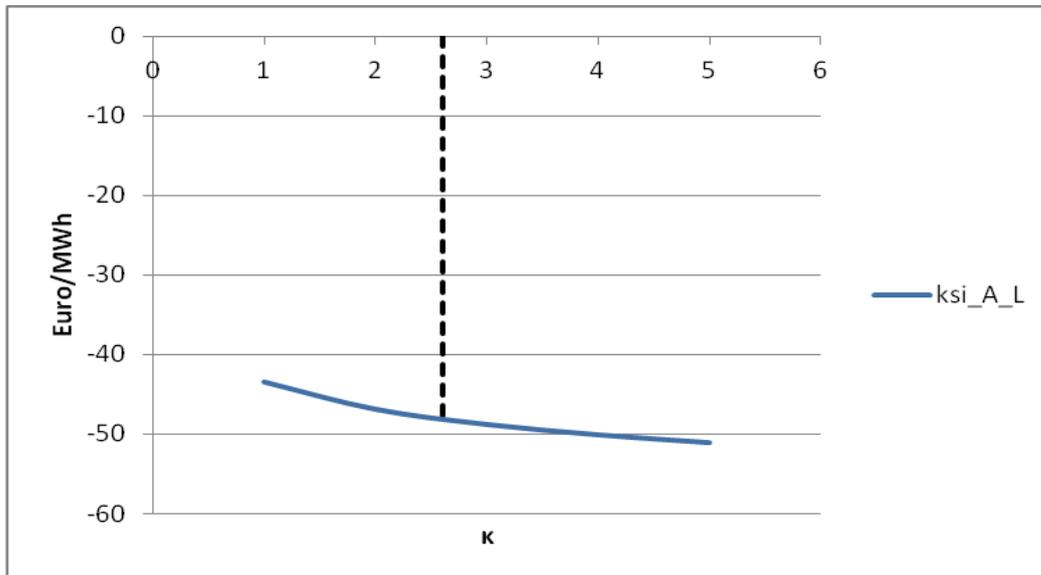
Διάγραμμα 35. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραμέτρου της μέσης επιστροφής.

Στο παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η παράμετρος μέσης επιστροφής, τόσο μειώνεται το κάτω όριο της επένδυσης, δηλαδή η απόφαση για επένδυση γίνεται συμφέρουσα, ενώ αντίθετα το άνω όριο παραμένει σταθερό.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.



Διάγραμμα 36. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου της μέσης επιστροφής.

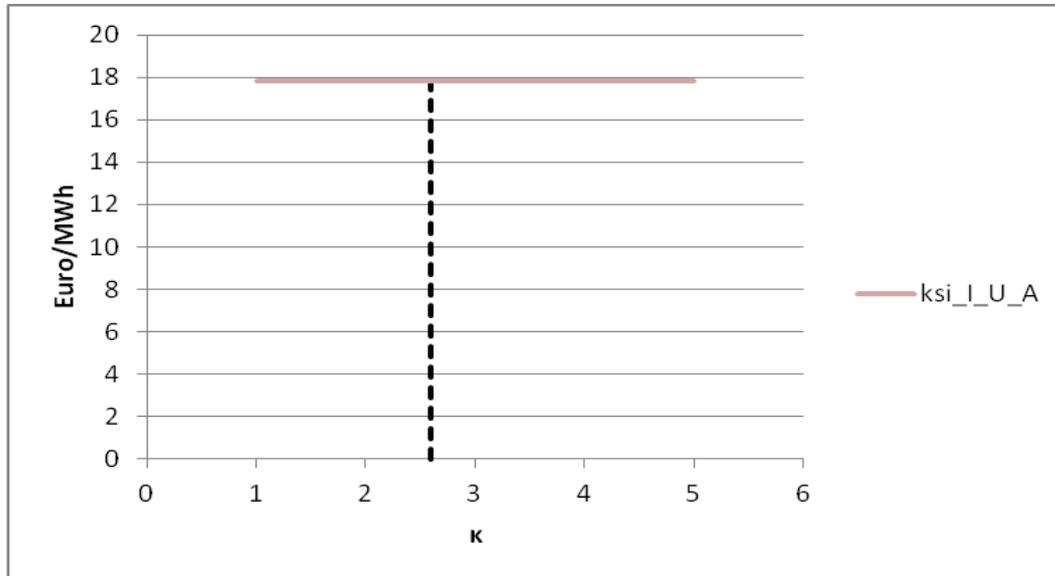


Διάγραμμα 37. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου της μέσης επιστροφής.

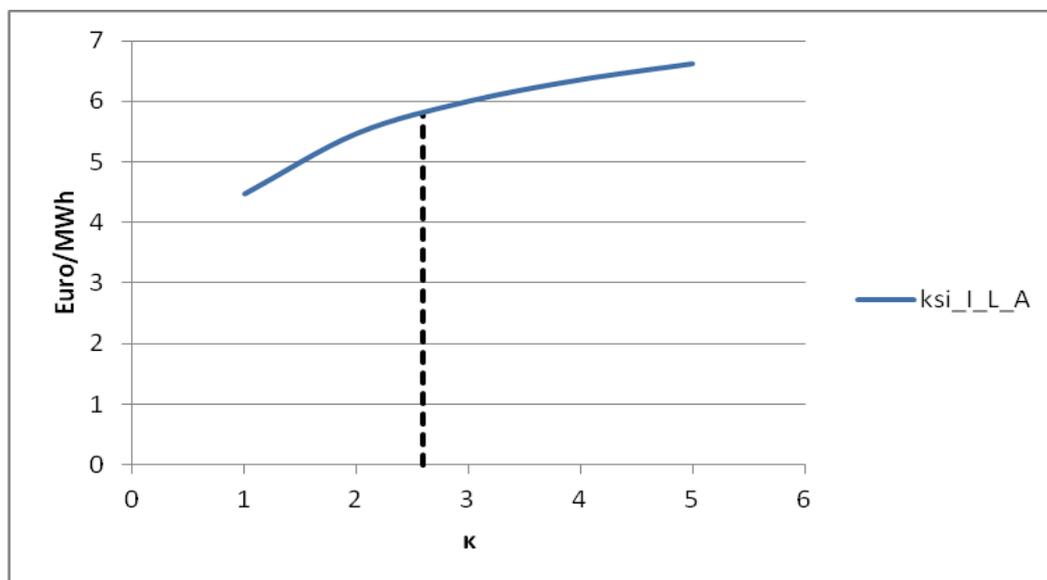
Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε πως το άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης παραμένει αμετάβλητο όσο αυξάνεται η παράμετρος

μέσης επιστροφής, ενώ το κάτω όριο μειώνεται. Δηλαδή, η απόφαση για εγκατάλειψη γίνεται πιο ασύμφορη.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



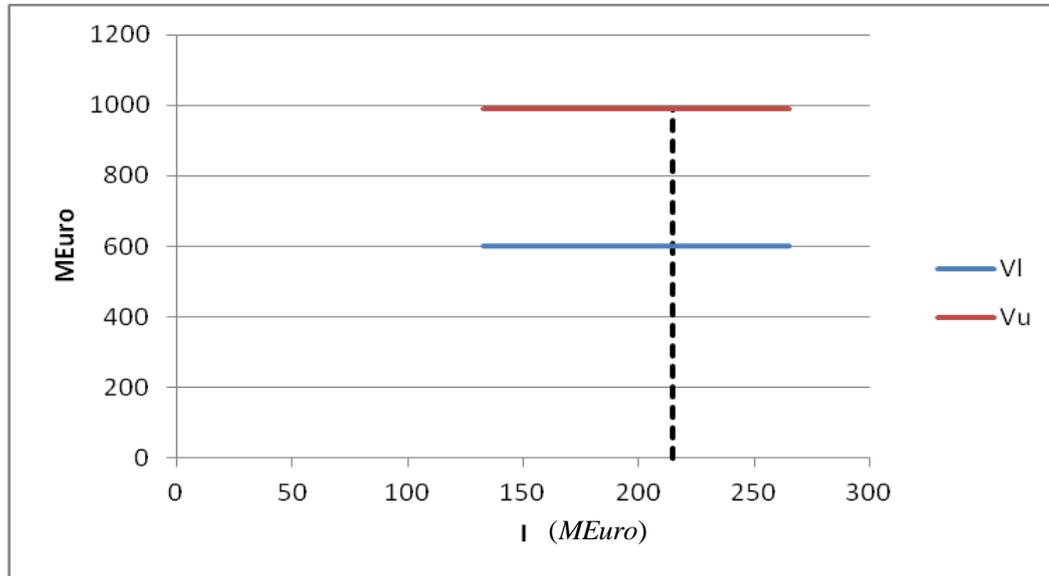
Διάγραμμα 38. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μέσης επιστροφής.



Διάγραμμα 39. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της παραμέτρου μέσης επιστροφής.

Βλέπουμε πως το άνω όριο δεν μεταβάλλεται συναρτήσει της παραμέτρου κ , ενώ το κάτω όριο αυξάνεται.

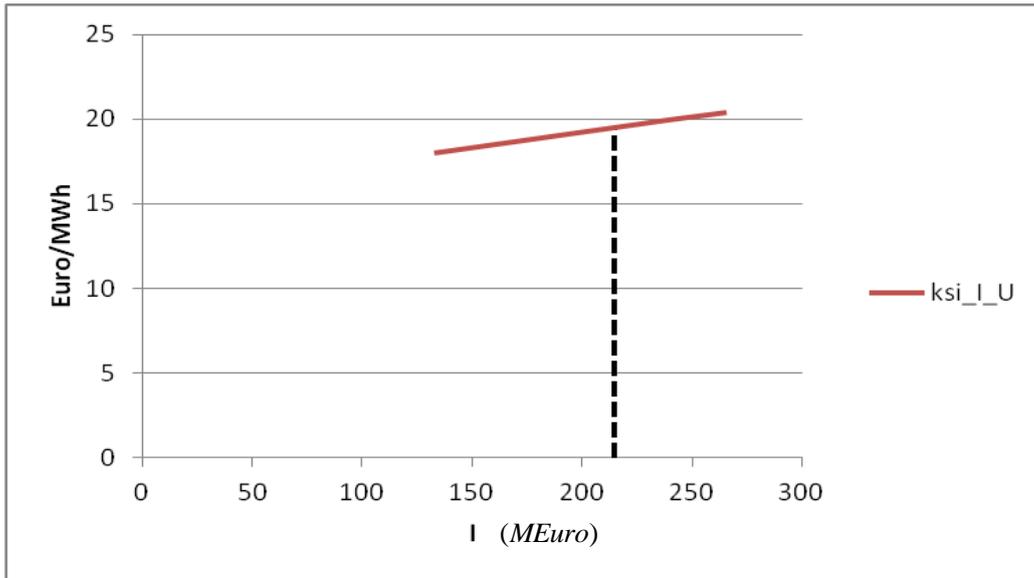
Τώρα ακολουθεί η ανάλυση ευαισθησίας με τα χαρακτηριστικά του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού. Ξεκινάμε με το κόστος επένδυσης I (MEuro) και την επίδραση που έχει στην αξία του εργοστασίου.



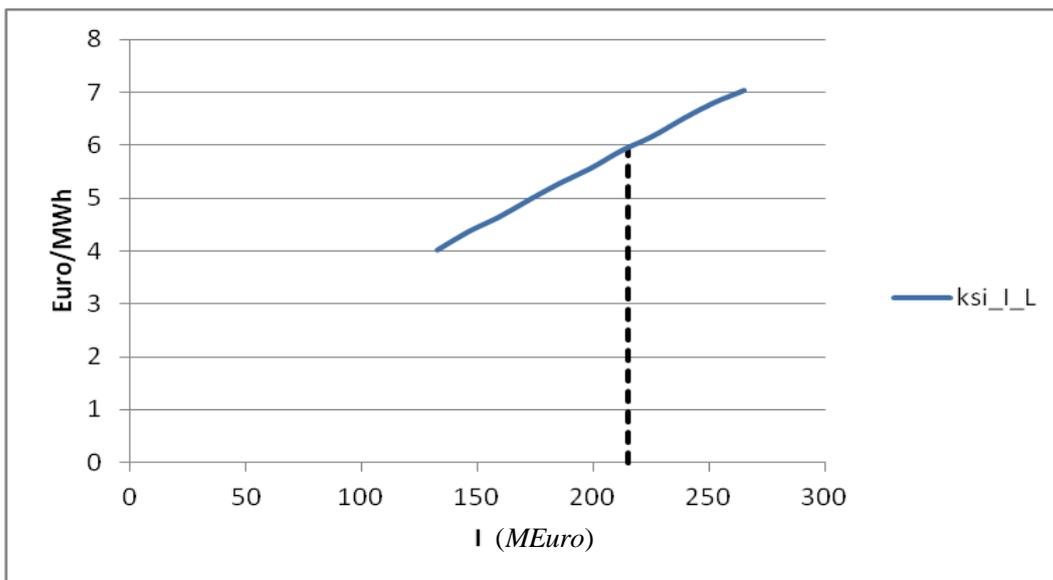
Διάγραμμα 40. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει του κόστους επένδυσης.

Παρατηρούμε πως η αξία του εργοστασίου δεν επηρεάζεται από το κόστος της επένδυσης I . Αυτό συμβαίνει γιατί η αξία του εργοστασίου στη μελέτη μας προκύπτει από το άθροισμα όλων των αναμενόμενων τιμών του spark spread μείον τα πάγια κόστη λειτουργίας.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης χωρίς να υπολογίσουμε τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



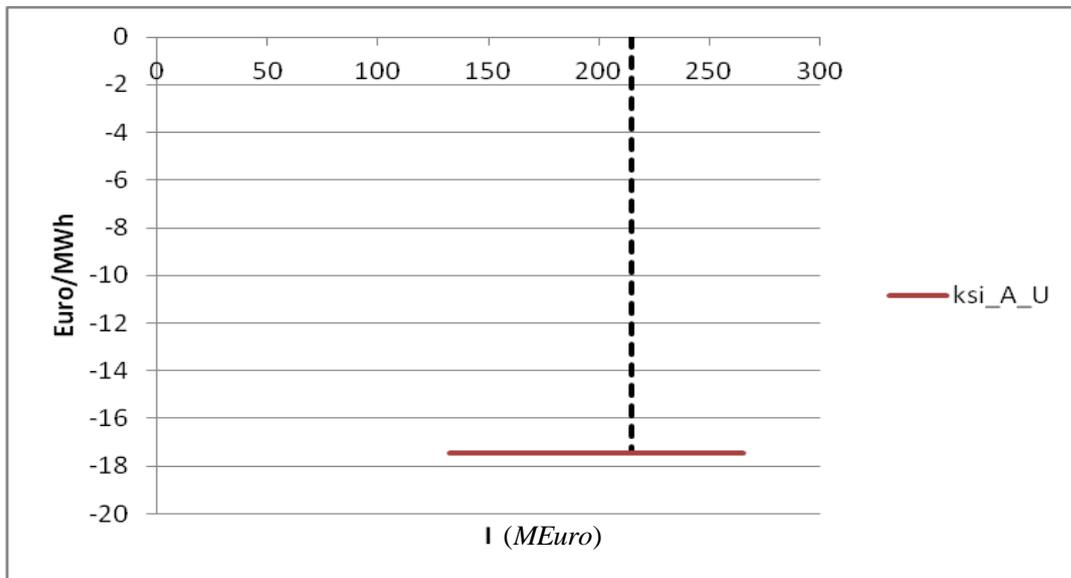
Διάγραμμα 41. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του κόστους επένδυσης.



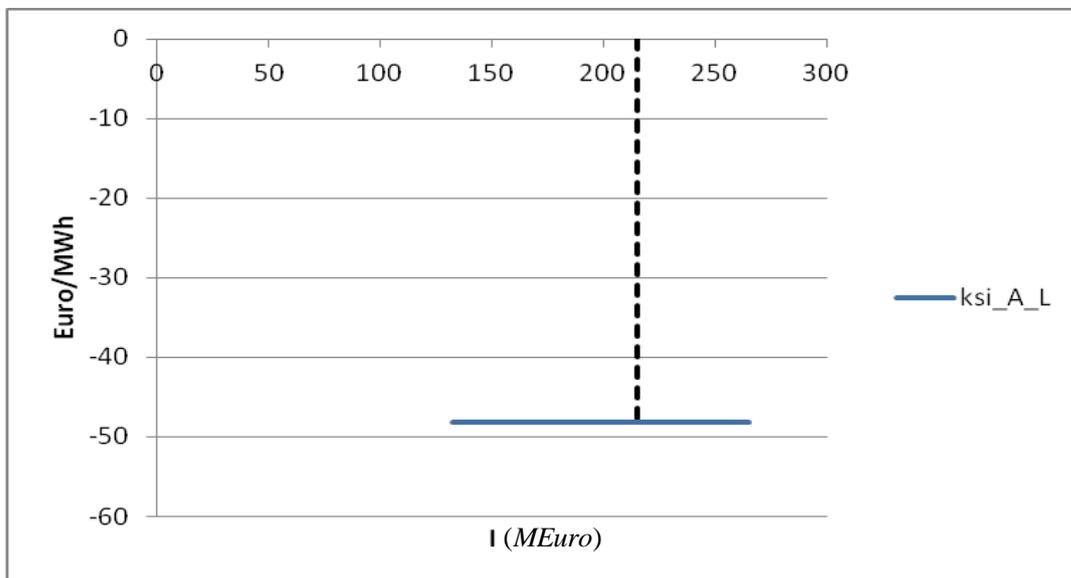
Διάγραμμα 42. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του κόστους επένδυσης.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε πως όσο μεγαλώνει το κόστος τόσο αυξάνονται και τα όρια για το κατώφλι επένδυσης. Αυτό σημαίνει πως η απόφαση για επένδυση γίνεται όλο και πιο ασύμφορη.

Έπειτα μελετάμε τα άνω και κάτω όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.



Διάγραμμα 43. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του κόστους επένδυσης.

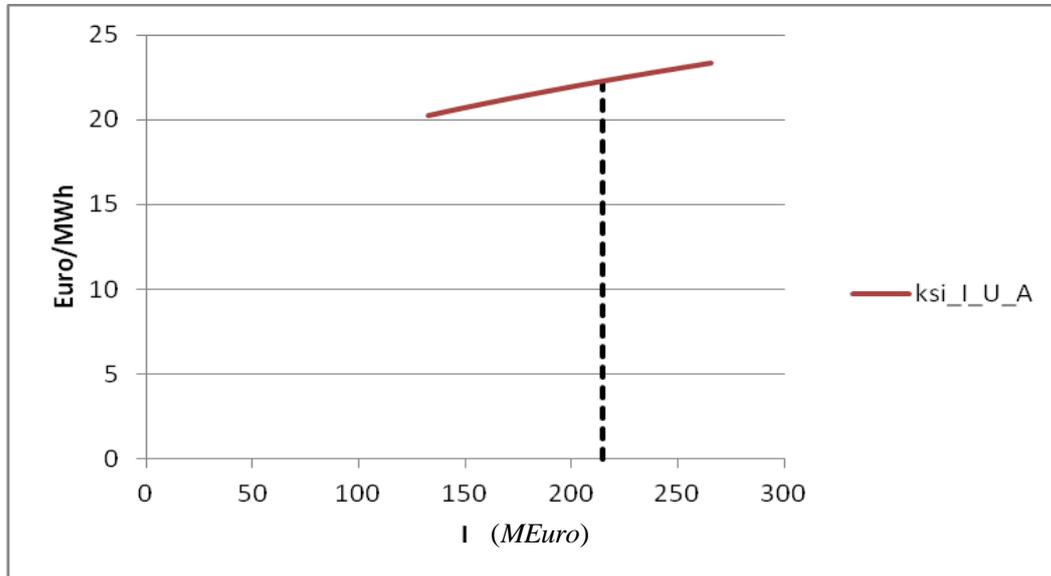


Διάγραμμα 44. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του κόστους επένδυσης.

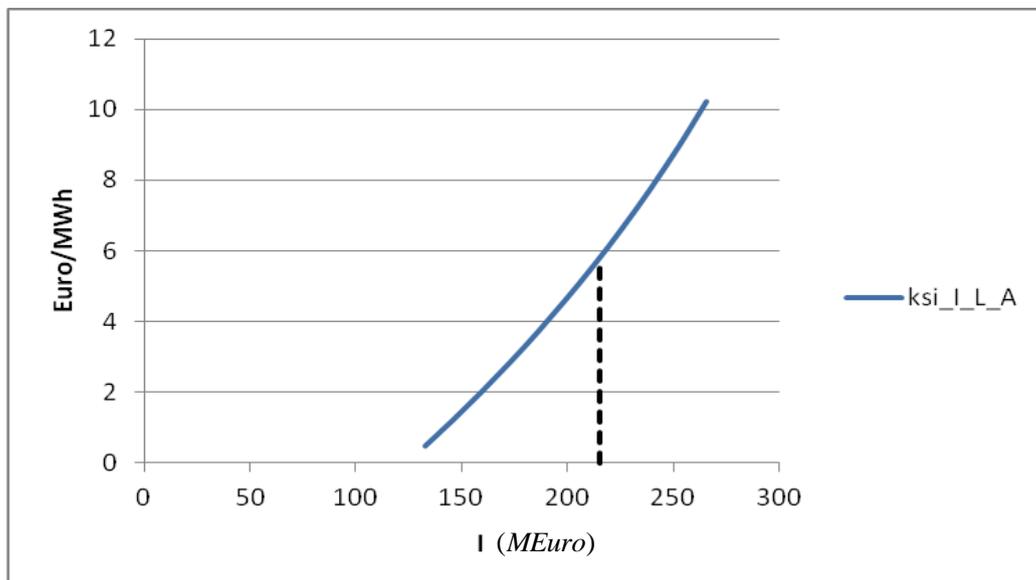
Βλέπουμε πως το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης παραμένει αμετάβλητο. Αυτό συμβαίνει γιατί τα όρια αυτά

επηρεάζονται από την υπολειμματική αξία J του εργοστασίου η οποία αναλύουμε παρακάτω.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



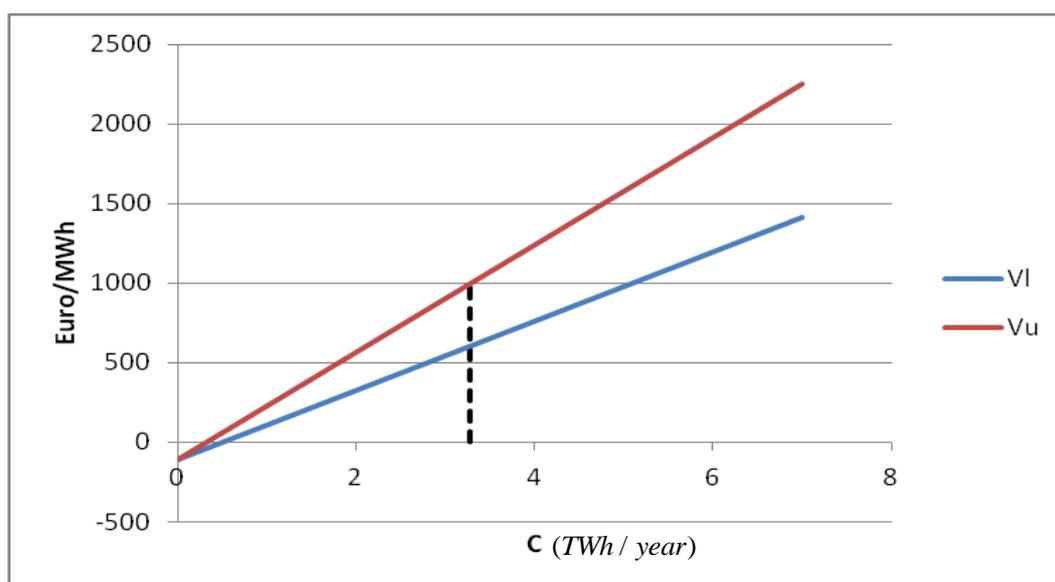
Διάγραμμα 45. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσεϊ του κόστους επένδυσης.



Διάγραμμα 46. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσεϊ του κόστους επένδυσης.

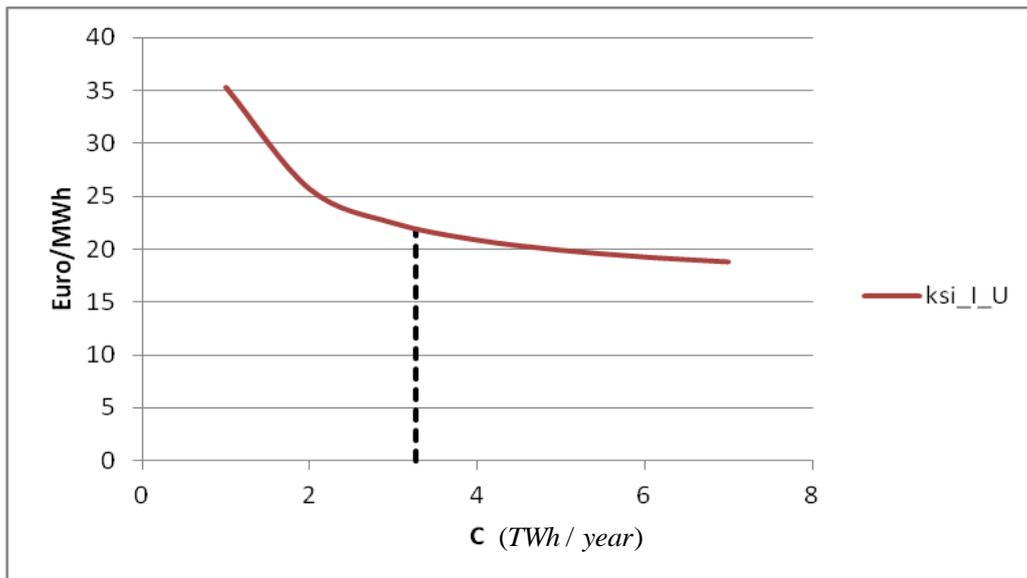
Βλέπουμε πως όσο αυξάνεται το κόστος επένδυσης, τόσο αυξάνεται το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Αυτή η παρατήρηση είναι λογική καθώς όταν αυξάνονται τα έξοδα κατασκευής του εργοστασίου θα πρέπει το κέρδος μας ανά MWh να είναι μεγαλύτερο προκειμένου να ξεκινήσουμε την επένδυση.

Συνεχίζουμε με την παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου C (TWh/year) παρατηρώντας αρχικά την επίδραση της στην αξία του εργοστασίου.

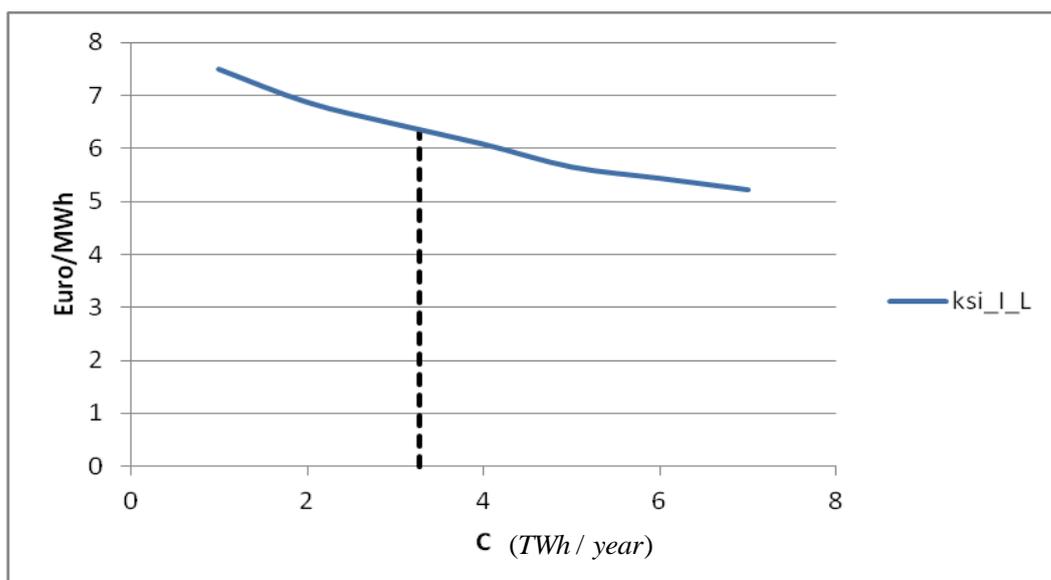


Διάγραμμα 47. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει της παραγωγικής του ικανότητας.

Παρατηρούμε πως όπως είναι λογικό όταν η παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου είναι μηδενική τότε η αξία του εργοστασίου είναι αρνητική, ενώ όσο αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα τόσο αυξάνεται και η αξία του εργοστασίου. Ακολουθεί η μελέτη της επίδρασης της παραγωγικής ικανότητας στα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης.



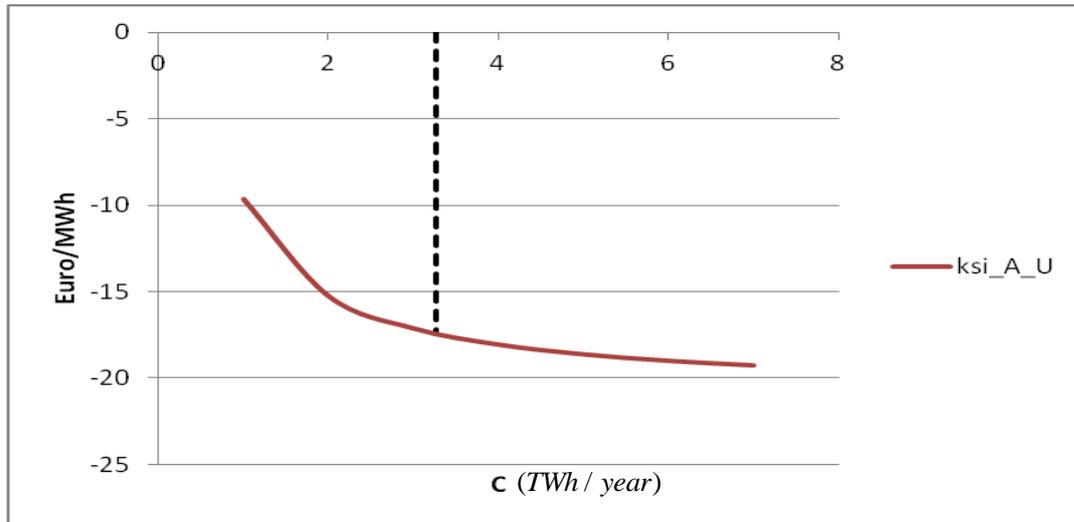
Διάγραμμα 48. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραγωγικής ικανότητας του εργοστασίου.



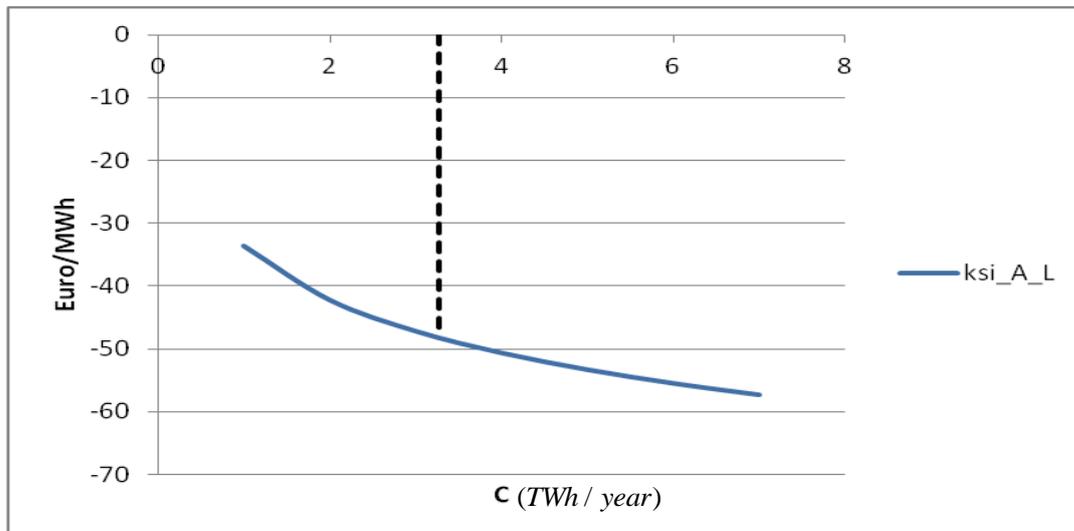
Διάγραμμα 49. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της παραγωγικής ικανότητας του εργοστασίου.

Στα διαγράμματα βλέπουμε πως όσο αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου, τόσο μειώνονται τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Γεγονός λογικό καθώς όσο αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου τόσο μικρότερο θα πρέπει να είναι το κέρδος προκειμένου να ξεκινήσει η επένδυση. Δηλαδή, η απόφαση για επένδυση γίνεται πιο συμφέρουσα..

Ακολούθως παρουσιάζονται τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης.



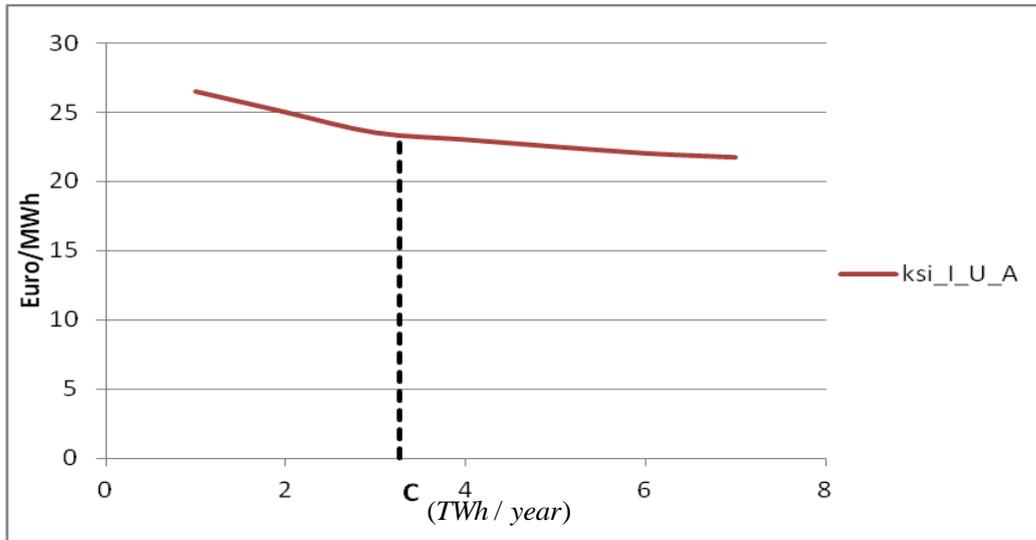
Διάγραμμα 50. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραγωγικής ικανότητας του εργοστασίου.



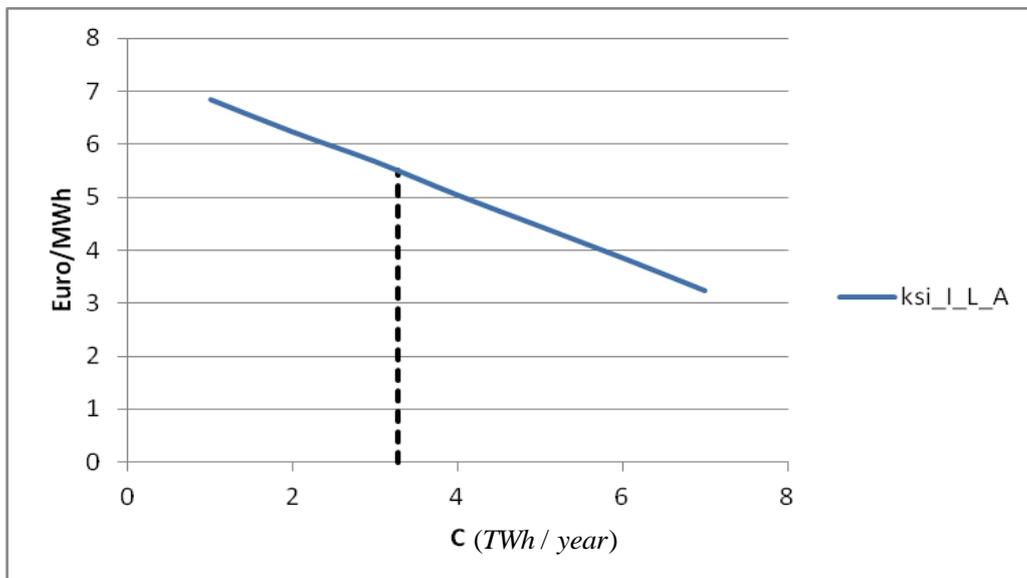
Διάγραμμα 51. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της παραγωγικής ικανότητας του εργοστασίου.

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα C του εργοστασίου τόσο μειώνονται το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης του εγχειρήματος. Γεγονός που δηλώνει πως η απόφαση για εγκατάλειψη δεν είναι συμφέρουσα.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



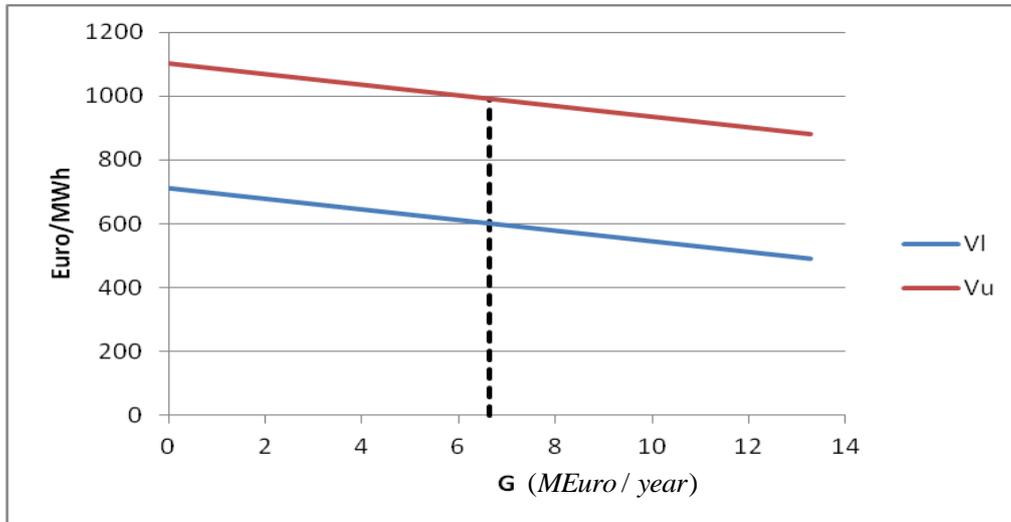
Διάγραμμα 52. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της ικανότητας παραγωγής του εργοστασίου.



Διάγραμμα 53. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της ικανότητας παραγωγής του εργοστασίου.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης μειώνονται, δηλαδή η απόφαση για επένδυση γίνεται πιο συμφέρουσα.

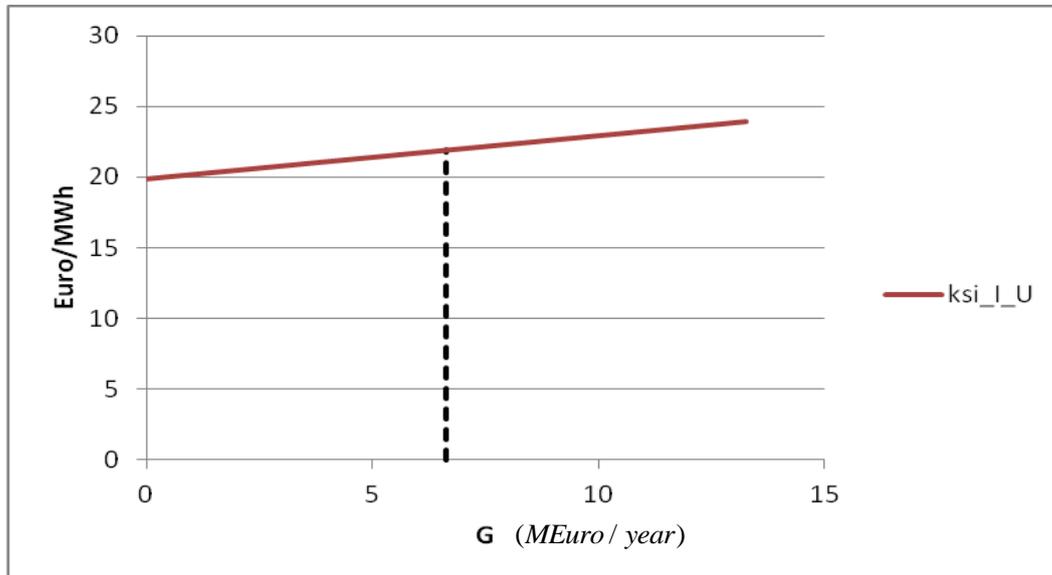
Συνεχίζουμε τη μελέτη ευαισθησίας με τα πάγια κόστη G (MEuro/year). Παρουσιάζουμε στην αρχή τη μεταβολή των ορίων της αξίας του εργοστασίου.



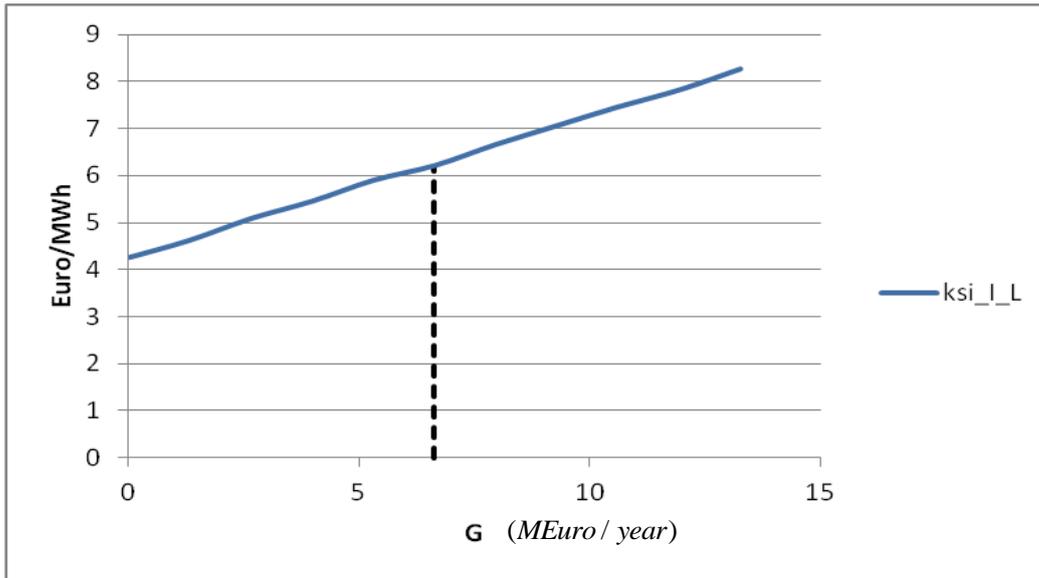
Διάγραμμα 54. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει του πάγιου κόστους.

Παρατηρούμε, όπως είναι φυσικό, όσο αυξάνονται τα πάγια κόστη, τόσο μειώνεται η αξία του εργοστασίου.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης του εργοστασίου.



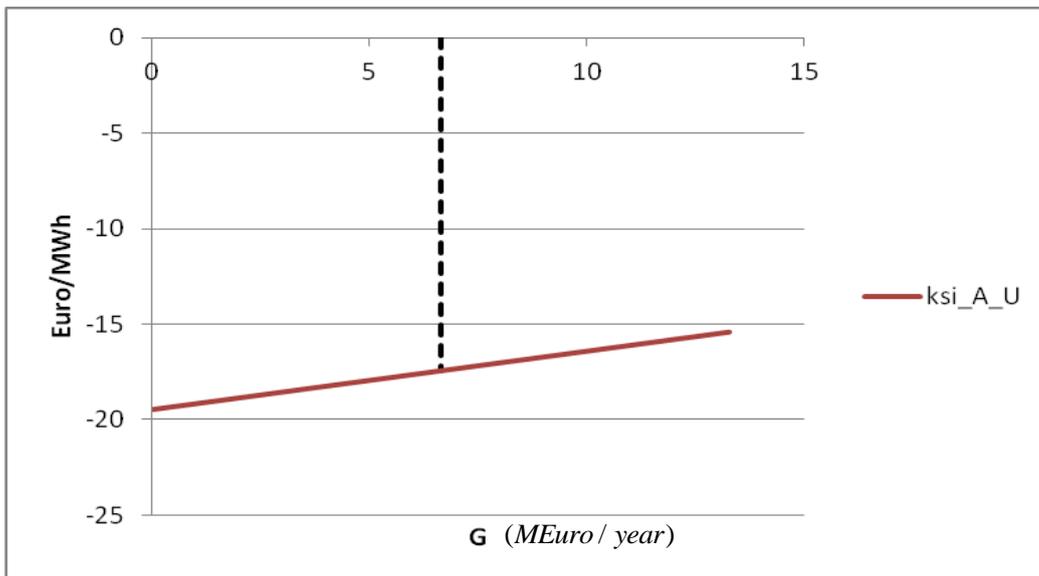
Διάγραμμα 55. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του πάγιου κόστους.



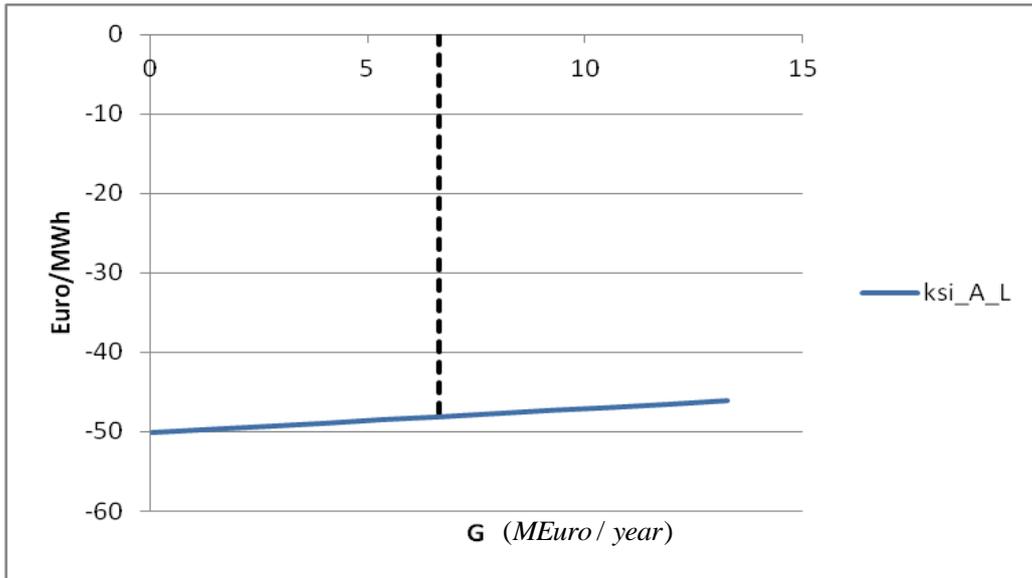
Διάγραμμα 56. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει του πάγιου κόστους.

Παρατηρούμε πως όσο αυξάνονται τα πάγια κόστη, τόσο αυξάνονται και τα όρια για το κατώφλι επένδυσης, γεγονός που δείχνει πως η απόφαση για επένδυση γίνεται όλο και πιο ασύμφορη.

Ακολουθούν τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης της επένδυσης.



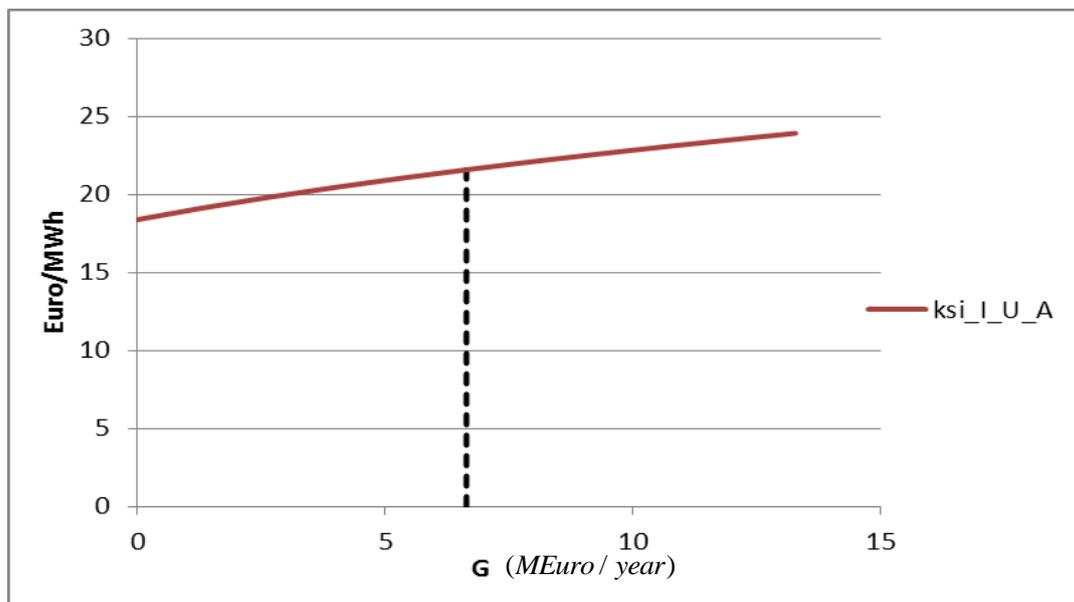
Διάγραμμα 57. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του πάγιου κόστους.



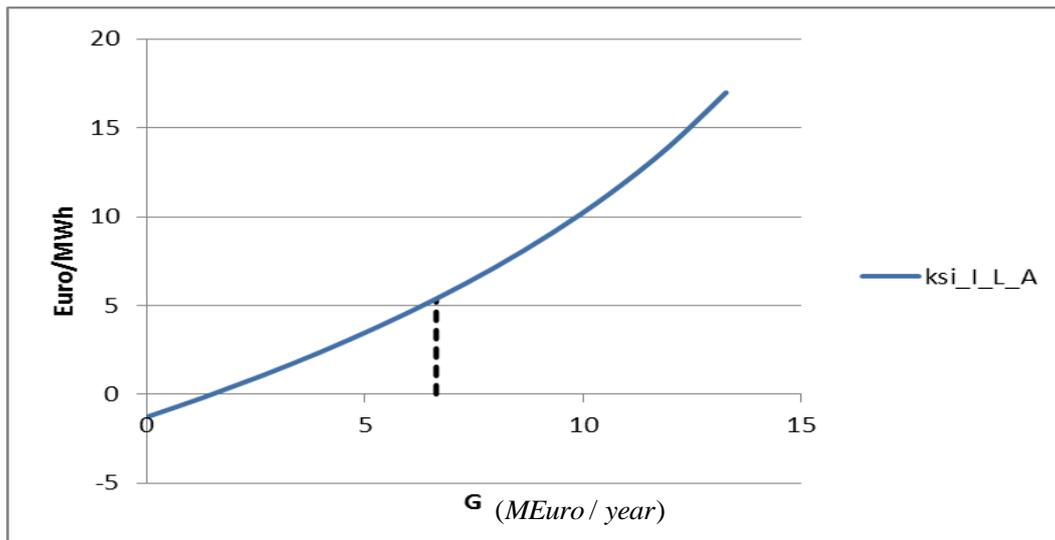
Διάγραμμα 58. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει του πάγιου κόστους.

Βλέπουμε πως όσο αυξάνονται τα πάγια λειτουργικά κόστη, τόσο μειώνονται το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης του εργοστασίου. Δηλαδή, η απόφαση για εγκατάλειψη για πιο συμφέρουσα.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



Διάγραμμα 59. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει του πάγιου κόστους.

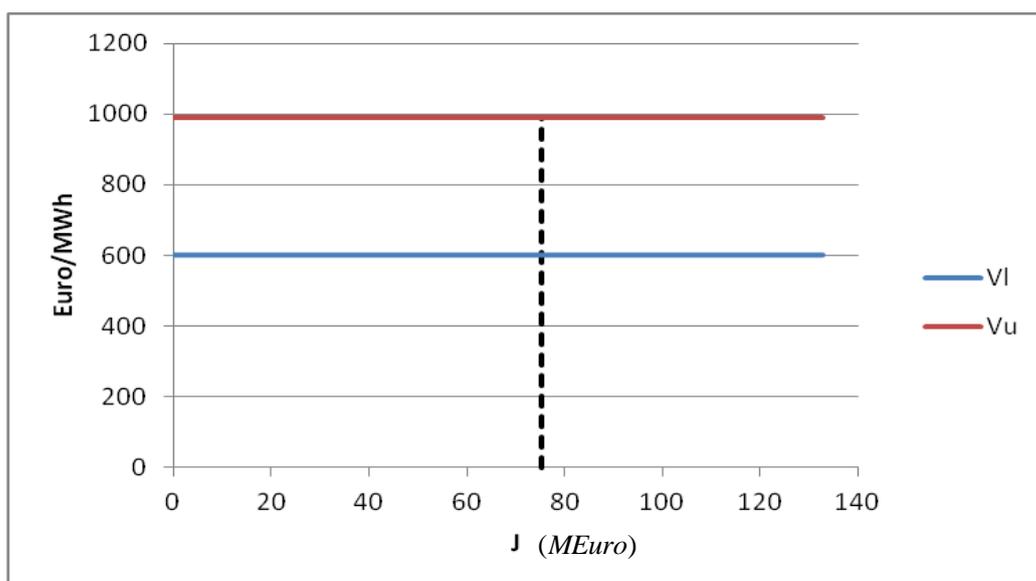


Διάγραμμα 60. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει του πάγιου κόστους.

Φαίνεται πως όσο αυξάνονται τα πάγια λειτουργικά κόστη, τόσο αυξάνονται το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Δηλαδή η απόφαση για επένδυση γίνεται σταδιακά ασύμφορη.

Τέλος, ολοκληρώνουμε την ανάλυση ευαισθησίας με την υπολειμματική αξία J (MEuro), δηλαδή την αξία του εξοπλισμού αν αποφασίζαμε να εγκαταλείψουμε την λειτουργία του εργοστασίου και να τον εκποιήσουμε.

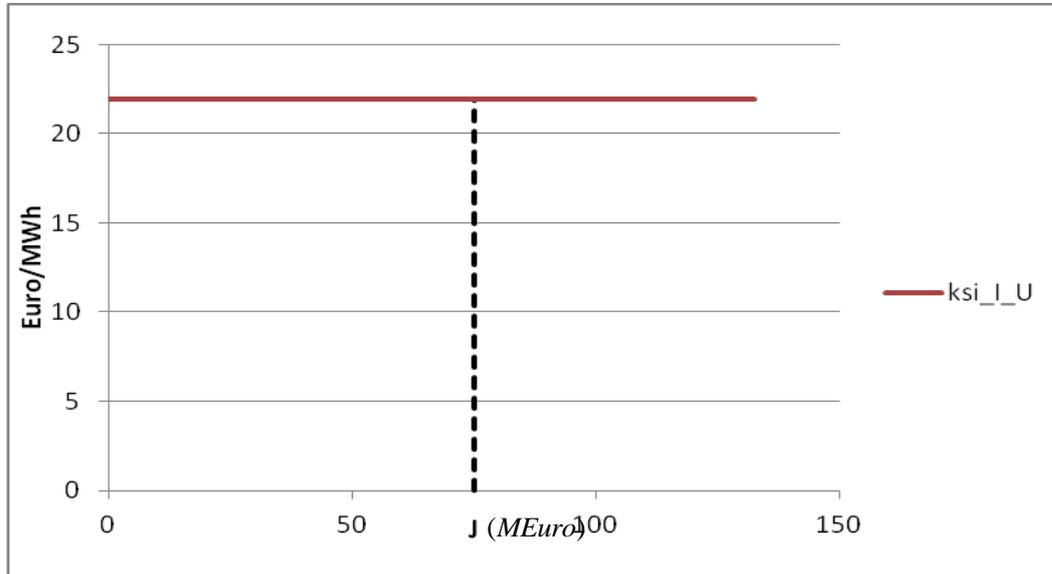
Αρχικά παρατηρούμε την επίδραση της υπολειμματικής αξίας J στην αξία του εργοστασίου.



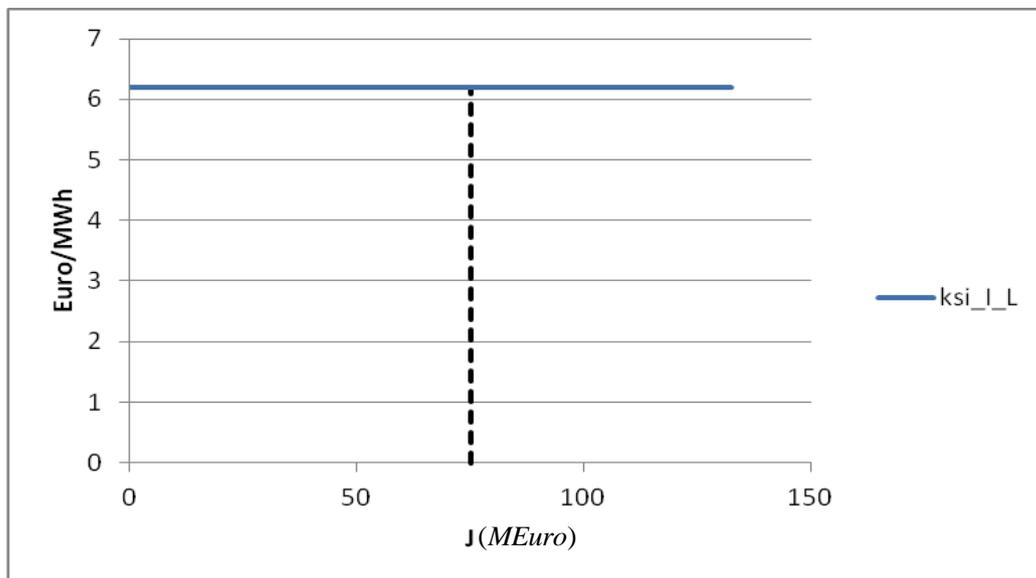
Διάγραμμα 61. Όρια αξίας εργοστασίου συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.

Παρατηρούμε πως η υπολειμματική αξία δεν επηρεάζει την αξία του εργοστασίου.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι επένδυσης του εργοστασίου.



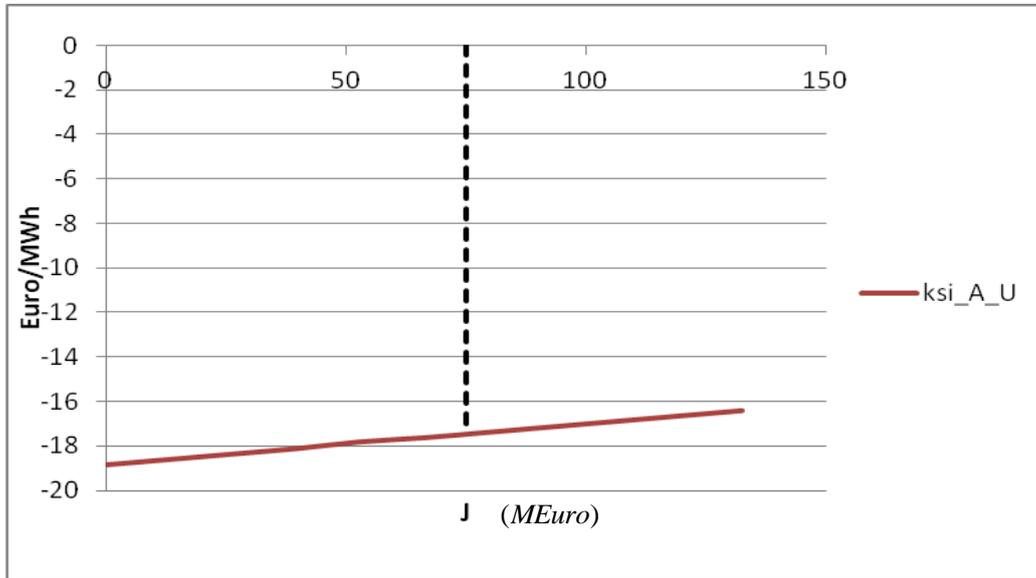
Διάγραμμα 62. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.



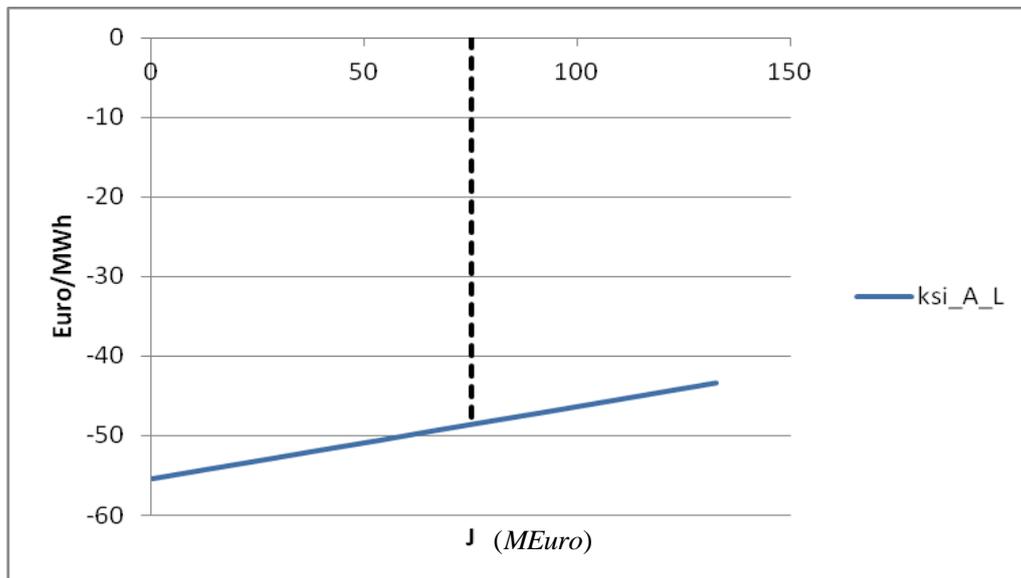
Διάγραμμα 63. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.

Βλέπουμε πως το άνω και κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης δεν επηρεάζεται από την υπολειμματική αξία J , καθώς η υπολειμματική αξία επηρεάζει μόνο την απόφαση για εγκατάλειψη.

Έπονται τα όρια εγκατάλειψης για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης του εργοστασίου.



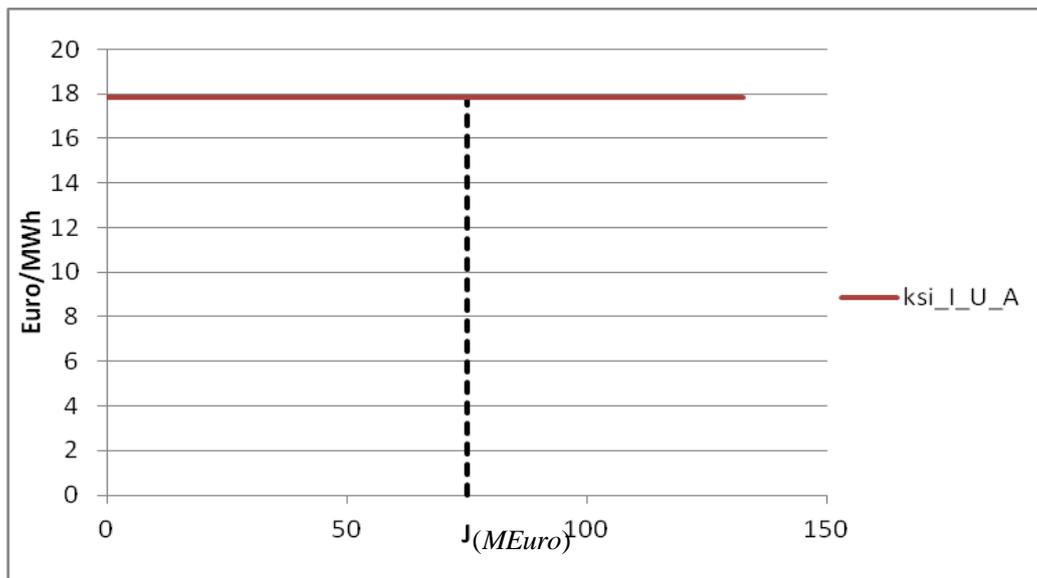
Διάγραμμα 64. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.



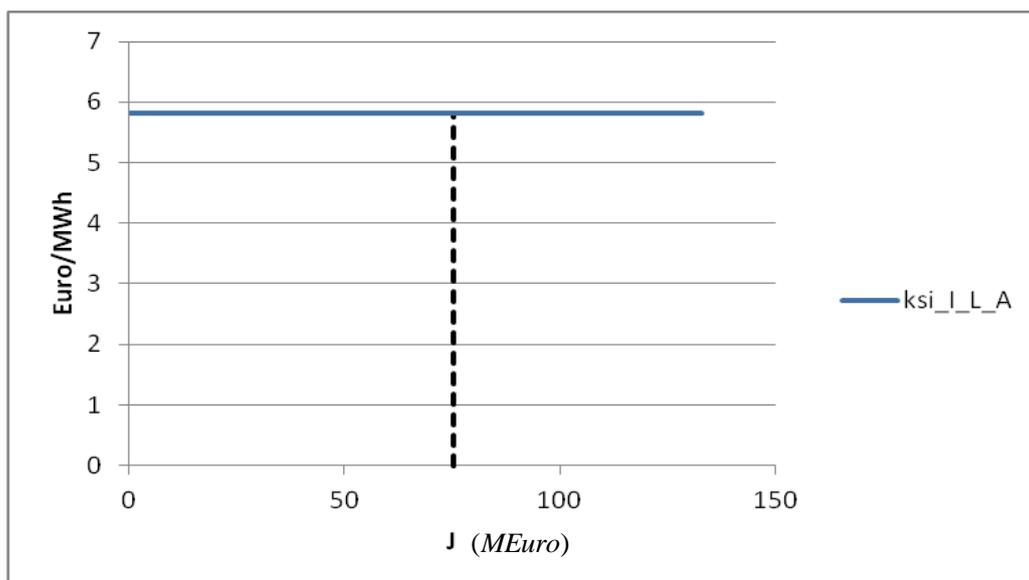
Διάγραμμα 65. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.

Όπως είναι λογικό, όσο αυξάνεται η υπολειμματική αξία του εργοστασίου, τόσο αυξάνονται και τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης. Δηλαδή, η απόφαση για εγκατάλειψη γίνεται πιο συμφέρουσα.

Συνεχίζουμε με τα όρια για το κατώφλι επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης.



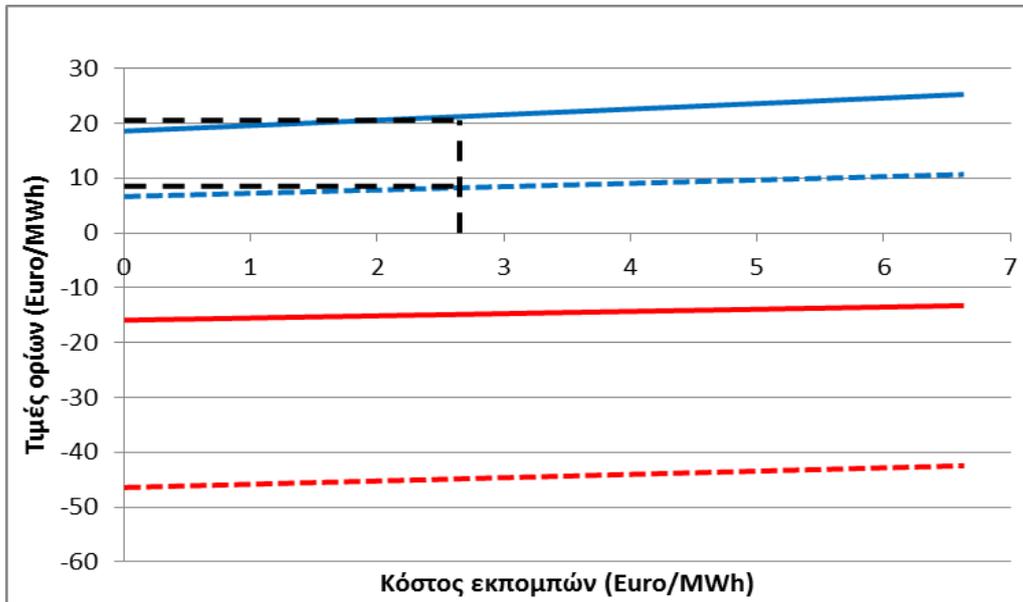
Διάγραμμα 66. Άνω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης υπολογίζοντας τη δυνατότητα εγκατάλειψης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.



Διάγραμμα 67. Κάτω όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης συναρτήσει της υπολειμματικής αξίας.

Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης δεν επηρεάζονται από την υπολειμματική αξία.

6.2. Τεχνολογία δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα

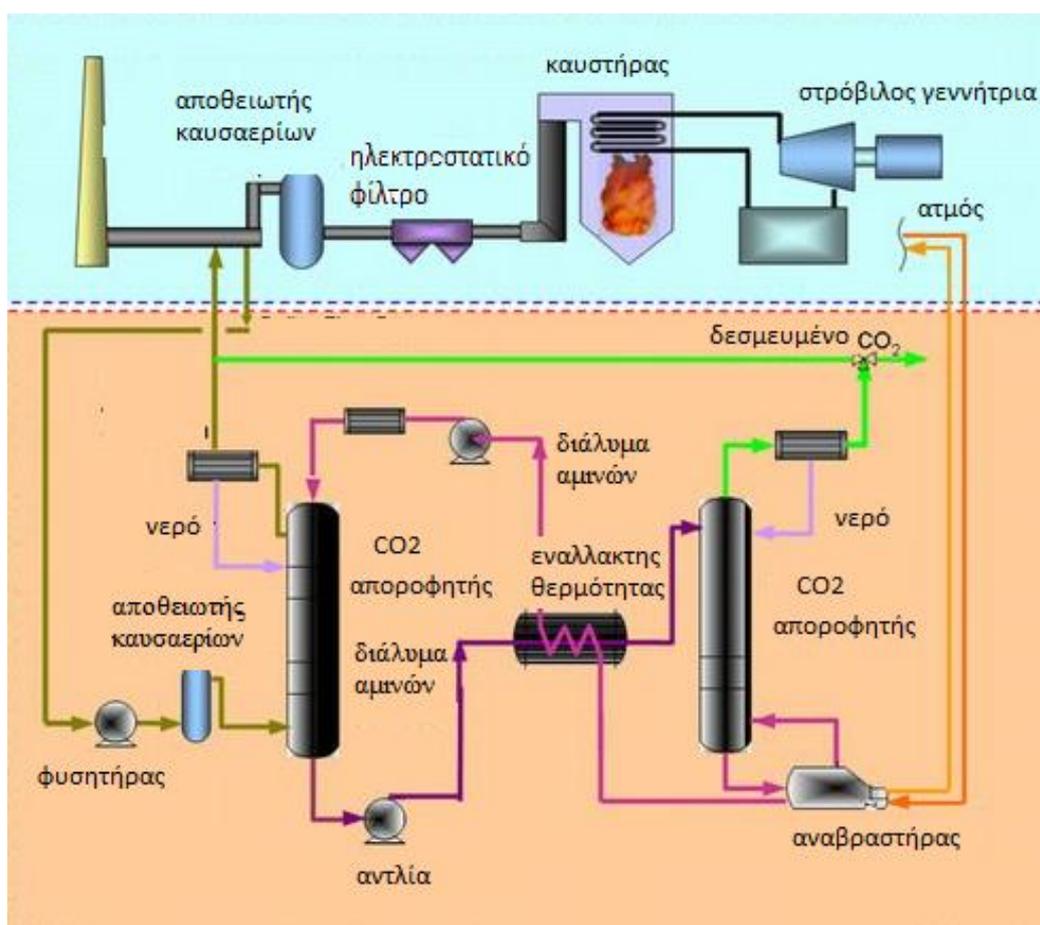


Διάγραμμα 68. Τα όρια επένδυσης και εγκατάλειψης σαν συνάρτηση του κόστους εκπομπών. Οι συμπαγείς γραμμές αντιστοιχούν στην επιλογή για εγκατάσταση (μπλε) ή εγκατάλειψη (κόκκινο) για εργοστάσιο φορτίου βάσης, ενώ οι διακεκομμένες για ευέλικτο εργοστάσιο.

Το Διάγραμμα 68 παρουσιάζει τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης ως συνάρτηση του κόστους εκπομπών E . Στο Διάγραμμα 68 η μονάδα για το κόστος εκπομπών είναι $Euro/MWh$, αν και συνηθίζεται το $USD/tonne$. Η παραγωγή CO_2 του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με φυσικό αέριο είναι $363 kg/MWh$. Με μια τιμή ισοτιμίας στα $0.81 Euro/USD$, το κόστος εκπομπής των $1.327 Euro/MWh$ αντιστοιχεί σε $4.51 USD/tonne$. Αλλαγή στα κόστη εκπομπών μπορεί να φανεί σαν αλλαγή στην αρχική αξία του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread. Αν και έχουμε χρησιμοποιήσει σταθερά κόστη για τις εκπομπές, υπάρχει αβεβαιότητα για τα μελλοντικά επίπεδα τους. Ένας εύκολος τρόπος για να μοντελοποιηθεί η αβεβαιότητα στα κόστη εκπομπών, είναι να αυξηθεί η αβεβαιότητα του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας

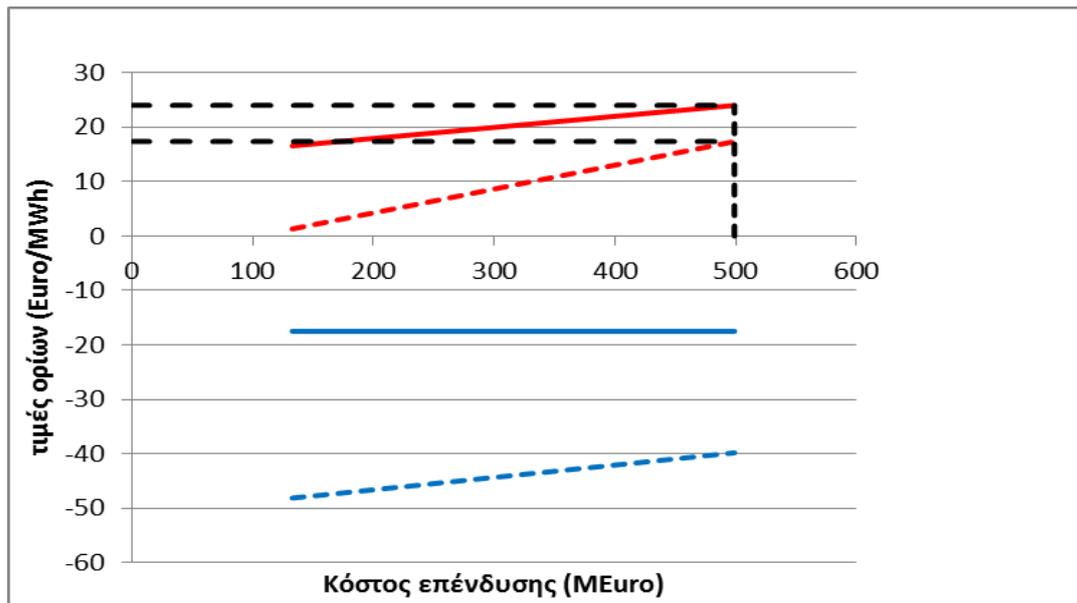
του spark spread. Αυτό σημαίνει ότι μια αύξηση στην αναμενόμενη τιμή για τα κόστη εκπομπών, αλλά επίσης και η αβεβαιότητα για τα κόστη αυτά, αναβάλλουν τις επενδυτικές αποφάσεις, δηλαδή αυξάνουν τα όρια και μειώνουν τα όρια εγκατάλειψης για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης του έργου.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Undrum et al. (2000) προκύπτει ότι το κόστος εγκατάστασης εξοπλισμού για την συλλογή διοξειδίου του άνθρακα από καυσαέριο, χρησιμοποιώντας απορροφήσεις από διαλύματα αμινών (όπως φαίνεται στην εικόνα 1), είναι 283.98 MEuro.



Εικόνα 1. Τεχνολογία δέσμευσης CO₂ με χρήση διαλυμάτων αμινών

Αφού έχει δοθεί το κόστος επένδυσης στον Πίνακα 1, το κόστος ενός εργοστασίου παραγωγής ενέργειας με φυσικό αέριο με χαμηλές εκπομπές άνθρακα είναι 498.95 MEuro. Η υπολειμματική αξία είναι 35% του κόστους επένδυσης, δηλαδή $J=0.35I$. Η αξία επαναπώλησης του εργοστασίου με τεχνολογία συλλογής CO₂ είναι 174.24 MEuro.



Διάγραμμα 69. Τα όρια επένδυσης και εγκατάλειψης σαν συνάρτηση του κόστους επένδυσης. Οι συμπαγείς γραμμές αντιστοιχούν στην επιλογή για εγκατάσταση (κόκκινο) ή εγκατάλειψη (μπλε) για εργοστάσιο φορτίου βάσης, ενώ οι διακεκομμένες για ευέλικτο εργοστάσιο.

Τα απαιτούμενα όρια για εγκατάσταση ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού με εξοπλισμό συλλογής CO₂, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 69, είναι στο εσωτερικό [17.38 ; 24.02] Euro/MWh. Στον Πίνακα 2 η τρέχουσα τιμή του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread υπολογίζεται στα 8.26 Euro/MWh. Ως εκ τούτου, με τις τρέχουσες τιμές για τον εξοπλισμό συλλογής του διοξειδίου δεν είναι βέλτιστο να επενδύσουμε σε τέτοιο εξοπλισμό. Για να απλοποιήσουμε την ακόλουθη ανάλυση, υποθέτουμε ότι τα όρια για το κατώφλι επένδυσης είναι στην μέση του ανώτατου και κατώτατου ορίου δηλαδή 20.70 Euro/MWh. Ένα συνηθισμένο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου πρέπει να πληρώνει κόστη εκπομπών, ενώ ένα εργοστάσιο χαμηλού διοξειδίου δεν απαιτείται να πληρώνει. Για να καθορίσουμε το επίπεδο του κόστους εκπομπών που κάνει αδιάφορη την επιλογή μεταξύ των δύο εναλλακτικών, βρίσκουμε το κόστος εκπομπών, το οποίο είναι τόσο υψηλό που κάνει τα όρια για το κατώφλι επένδυσης ίδια και για τις δύο περιπτώσεις. Από την στιγμή που το κόστος εκπομπών γίνει περίπου 8.63 Euro/MWh, το μέσο ανώτατου και κατώτατου ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης είναι 20.70 Euro/MWh για ένα εργοστάσιο χωρίς εξοπλισμό συλλογής διοξειδίου του άνθρακα. Υποθέτοντας ότι όλα τα κόστη εκπομπών οφείλονται στο CO₂ και αγνοώντας τη

μειωμένη απόδοση του εργοστασίου, όταν ο εξοπλισμός του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιείται, και την αβεβαιότητα του κόστους εκπομπών CO₂, βρίσκουμε ότι είναι βέλτιστο να εγκαταστήσουμε εξοπλισμό συλλογής CO₂, όταν το κόστος εκπομπών είναι μεγαλύτερο από 8.63 Euro/MWh, δηλαδή 29.4 USD/tonne.

Στη συνέχεια καθορίζουμε πόσο πολύ το κόστος επένδυσης πρέπει να μειωθεί έτσι ώστε να είναι προτιμότερη η εγκατάσταση εξοπλισμού συλλογής άνθρακα, χρησιμοποιώντας τα τρέχοντα επίπεδα του κόστους εκπομπών. Τη στιγμή της ανάλυσης η αγορά εκπομπών άνθρακα δεν έχει ξεκινήσει την λειτουργία της, ωστόσο η Υπόθεση είναι ότι τα κόστη εκπομπών θα είναι κάπου μεταξύ 5 USD/tonne και 20 USD/tonne, όπου η χαμηλότερη βαθμίδα είναι πιο πιθανή. Το διάγραμμα 68 δείχνει ότι όταν τα κόστη εκπομπών είναι 6 USD/tonne, δηλαδή 2.69 Euro/MWh, τα όρια για το κατώφλι επένδυσης, χωρίς εξοπλισμό συλλογής CO₂ είναι στο εσωτερικό [8.51 ; 20.52] Euro/MWh. Υποθέτοντας ξανά ότι το επενδυτικό όριο είναι στα μέσα του ανώτατου και κατώτατου ορίου του, βλέπουμε ότι το όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης χωρίς εξοπλισμό συλλογής CO₂ είναι 14.52 Euro/MWh. Λαμβάνοντας υπόψη το Διάγραμμα 69, ο μέσος όρος των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης ενός εργοστασίου που διαθέτει εξοπλισμό συλλογής CO₂ μειώνεται από 20.70 Euro/MWh σε 14.52 Euro/MWh, εφόσον το κόστος επένδυσης μειώνεται στα 293.93 MEuro. Ως εκ τούτου, αν το κόστος εγκατάστασης ενός εργοστασίου με εξοπλισμό συλλογής CO₂ μειωθεί κατά 204.36 MEuro είναι βέλτιστο να φτιάξουμε ένα τέτοιο εργοστάσιο.

Αφού έχουμε αγνοήσει την μειωμένη απόδοση του εργοστασίου όταν ο μηχανισμός συλλογής CO₂ έχει εγκατασταθεί, το ποσό των 204.36MEuro μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κατώτερο όριο για το πλήθος των επιδοτήσεων που χρειάζονται για να ενταχθεί η επένδυση στην τεχνολογία δέσμευσης CO₂. Ένας ακόμα λόγος για τον οποίο τα 204.36 MEuro είναι μια υποεκτίμηση των χορηγήσεων που χρειάζονται είναι το γεγονός ότι τα κόστη εκπομπών είναι αβέβαια και έτσι η εγκατάσταση εξοπλισμού για συλλογή CO₂ μπορεί να αναβληθεί επ' αόριστον πέρα από την επένδυση για το ίδιο το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας. Η επένδυση στην πράσινη τεχνολογία είναι μια πραγματική επιλογή, η οποία όμως δεν μπορεί να εφαρμοστεί πριν από την στιγμή που η παρούσα αξία είναι κατά πολύ επάνω από το κόστος επένδυσης.

7.Συμπεράσματα

Στη διπλωματική μας εργασία χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος υπολογισμού του άνω και κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου και των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης ή εγκατάλειψης. Το spark spread ακολουθεί ένα μοντέλο δύο παραγόντων, συμπεριλαμβάνοντας τη βραχυπρόθεσμη μέση επιστροφή και τη μακροπρόθεσμη αβεβαιότητα, μοντέλο που αναπτύχθηκε στη μελέτη των Näsäkkälä and Fleten (2010) .

Για να λειτουργήσει αυτό το έργο ως μοντέλο υποστήριξης αποφάσεων, πρέπει κανείς να επεξεργάζεται τη διαδικασία εκτίμησης τακτικά ώστε να ενημερώνει τις παραμέτρους στις τρέχουσες τιμές της αγοράς και τις πρόσφατες δυναμικές. Αυτό περιλαμβάνει τη λήψη πληροφοριών που αφορούν την τρέχουσα μακροπρόθεσμη τιμή ισορροπίας του spark spread ώστε να φαίνεται κατά πόσο μία επένδυση πρέπει να ξεκινήσει ή όχι. Φυσικά η τιμή ισορροπίας είναι μερικώς παρατηρήσιμη από τις τιμές των μακροπρόθεσμων swaps.

Η παρούσα μελέτη αντιμετωπίζει την έρευνα από τη σκοπιά ενός επενδυτή που έχει άδεια να εγκαταστήσει ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο. Αρχικά υπολογίζονται τα όρια της αξίας του εργοστασίου. Το κάτω όριο δίνεται θεωρώντας ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης, ενώ το επάνω θεωρώντας ένα ιδανικό ευέλικτο εργοστάσιο. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως τα όρια της αξίας του εργοστασίου ακολουθούν αυξητική πορεία μέχρι τα 80 χρόνια και από εκεί και πέρα σταθεροποιούνται, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 3.

Στη συνέχεια, φαίνεται πως η επιλογή εγκατάλειψης κάνει τη λειτουργική ευελιξία να είναι λιγότερο πολύτιμη, αφού και οι δύο προσφέρουν σχεδόν το ίδιο είδος προστασίας απέναντι στις χαμηλές τιμές του spark spread. Δηλαδή, η προσθήκη της επιλογής εγκατάλειψης δεν αλλάζει δραματικά τα όρια για το κατώφλι επένδυσης, γεγονός που φαίνεται στον Πίνακα 3 αν δούμε τα όρια για το κατώφλι επένδυσης με και χωρίς τη δυνατότητα εγκατάλειψης.

Επιπροσθέτως, στον Πίνακα 3 των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι το κενό μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων ορίων του ορίου για το κατώφλι απόφασης επένδυσης, είναι αρκετά μεγάλο [6.14 Euro/MWh - 21.93 Euro/MWh]. Αυτό δείχνει πως η αξία του ευέλικτου εργοστασίου διαφέρει σημαντικά από εκείνη του εργοστασίου φορτίου βάσης, γεγονός που είναι εμφανές και στο Διάγραμμα 3. Στη μελέτη που παραθέτουμε λοιπόν, ακόμα και με μηδενικά κόστη εκπομπών, το να

εγκαταστήσουμε ένα εργοστάσιο φορτίου βάσης δεν είναι η καλύτερη επιλογή. Το βέλτιστο θα ήταν να επενδύσουμε σε ένα πιο αποτελεσματικό ευέλικτο εργοστάσιο. Ως εκ τούτου, η επενδυτική ευελιξία έχει σημαντική επίδραση στην επιλογή κατασκευής.

Σε συνέχεια των δύο προηγούμενων συμπερασμάτων, όταν πραγματοποιούνται επενδύσεις σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού, μια καλή συνολική εικόνα του επενδυτικού προβλήματος μπορεί να γίνει αγνοώντας την επιλογή εγκατάλειψης, ενώ αντίθετα η λειτουργική ευελιξία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Για ένα εργοστάσιο με τα χαρακτηριστικά που προσδιορίσαμε στον πίνακα 1, όταν η τιμή του spark spread γίνει μεγαλύτερη ή ίση σε σχέση με το κατώφλι επένδυσης $\xi_I=14$ (Euro/MWh), τιμή που αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή του άνω και κάτω ορίου για το κατώφλι επένδυσης, θα πρέπει να ξεκινήσει η επένδυση. Σε αντίθετη περίπτωση η αναμονή είναι προτιμότερη. Αντίστοιχα, όταν η τιμή του spark spread είναι μικρότερη ή ίση σε σχέση με το κατώφλι εγκατάλειψης $\xi_A=-32.8$ (Euro/MWh), είναι προτιμότερο να εγκαταλείψουμε το εγχείρημα.

Μια αύξηση στην τυπική απόκλιση ισορροπίας σ_ξ , αυξάνει το κατώφλι επένδυσης, ενώ ταυτόχρονα, η το κατώφλι εγκατάλειψης μειώνεται, δηλαδή η αβεβαιότητα κάνει την αναμονή προτιμότερη, όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 27, 28, 29 και 30. Σύμφωνα με το Διάγραμμα 26, μια αύξηση στην τυπική απόκλιση ισορροπίας δεν αλλάζει την αξία του εργοστασίου φορτίου βάσης, αλλά αυξάνει την αξία ενός ευέλικτου εργοστασίου. Γι' αυτό, το κενό μεταξύ των ορίων που αφορούν την επιλογή εγκατάλειψης, αυξάνεται ως συνάρτηση της αβεβαιότητας γεγονός που γίνεται αντιληπτό και αν παρατηρήσουμε τα Διαγράμματα 29 και 30.

Όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας $\xi(t)$ του spark spread είναι μικρός και η αγορά γίνεται πιο άστατη, τόσο πιο αποδοτικό είναι το ευέλικτο εργοστάσιο σε σχέση με αυτό του φορτίου βάσης. Επιπλέον, μεγαλώνει το κενό μεταξύ των ορίων που αφορούν την επιλογή εγκατάλειψης. Από την άλλη πλευρά, όταν ο όρος μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread είναι υψηλός, η διαφορά μεταξύ της αξίας φορτίου αιχμής και φορτίου βάσης δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την αβεβαιότητα. Άρα, το κενό μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων ορίων της επιλογής εγκατάστασης δεν αυξάνεται πολύ σαν συνάρτηση του όρου μακροπρόθεσμης ισορροπίας του spark spread, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.

Από το Διάγραμμα 40 το οποίο δείχνει την αξία του εργοστασίου συναρτήσει του κόστους επένδυσης I , συμπεραίνουμε ότι όσο και αν αυτό μεταβάλλεται, η αξία του εργοστασίου παραμένει σταθερή. Ωστόσο, όταν αυξάνεται το κόστος επένδυσης, αυξάνονται και τα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάστασης, δηλαδή η λήψη της απόφασης για πραγματοποίηση επένδυσης γίνεται λιγότερο συμφέρουσα, όπως φαίνεται και από τα Διαγράμματα 41 και 42.

Όσον αφορά τα πάγια κόστη λειτουργίας G του εργοστασίου, στο Διάγραμμα 54 φαίνεται ότι η σταδιακή αύξηση αυτών οδηγεί σε σταδιακή μείωση της αξίας του. Εν συνεχεία, από τα Διαγράμματα 55, 56, 57 και 58 παρατηρείται το γεγονός ότι η αύξηση του πάγιου κόστους δημιουργεί άνοδο των ορίων για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης που με τη σειρά τους κάνουν προτιμότερη την επιλογή για εγκατάλειψη του όλου εγχειρήματος.

Από την άλλη πλευρά, η παραγωγική ικανότητα C του εργοστασίου λειτουργεί τελείως διαφορετικά. Από το Διάγραμμα 47 παρατηρούμε πως αύξηση της παραγωγικής ικανότητας καταλήγει σε αύξηση της αξίας του εργοστασίου. Συμπερασματικά και σύμφωνα με τα Διαγράμματα 48, 49, 50 και 51 το βέλτιστο θα είναι να ξεκινήσει η διαδικασία εγκατάστασης, απομακρύνοντας από το προσκήνιο την επιλογή για εγκατάλειψη.

Ένας ακόμα παράγοντας που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη για την εγκατάσταση ή την εγκατάλειψη ενός εργοστασίου είναι η υπολειμματική του αξία J . Όπως γίνεται κατανοητό από τα Διαγράμματα 61, 62 και 63 η υπολειμματική αξία δεν επηρεάζει ούτε την αξία του εργοστασίου, ούτε τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Αντιθέτως, τα Διαγράμματα 64 και 65 δείχνουν ότι επιδρά στα όρια για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η υπολειμματική αξία του εργοστασίου, τόσο προτιμότερη γίνεται η επιλογή για εγκατάλειψη.

Τέλος, έχουμε θεωρήσει το κόστος εκπομπών CO₂, ως σταθερό. Στην Ευρώπη, όπου το σύστημα εμπορίας ρύπων είναι σε ισχύ, θα ήταν προτιμότερο το μοντέλο αυτό να αναπτυχθεί ως μια στοχαστική διαδικασία. Ωστόσο, η προσθήκη περισσότερων παραγόντων στο μοντέλο θα κάνει πιο πολύπλοκη την αποτίμηση και τον υπολογισμό της λήψης απόφασης.

Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπόψη την παραπάνω παραδοχή, μέσα από τη μελέτη εγκατάστασης τεχνολογίας δέσμευσης CO₂ προκύπτουν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα. Εκτιμάται ότι είναι βέλτιστο να εγκαταστήσουμε

εξοπλισμό συλλογής CO₂, όταν το κόστος εκπομπών είναι μεγαλύτερο από 8.63 Euro/MWh, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 68. Από τη διαδικασία που περιγράφεται στο τμήμα 6.2 χρησιμοποιώντας τα Διαγράμματα 68 και 69 διαπιστώνεται πως αν το κόστος της επένδυσης μπορεί να μειωθεί κατά 204.36MEuro, τότε είναι πραγματικά συμφέρον να εγκαταστήσουμε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου, προσθέτοντας τον απαραίτητο εξοπλισμό δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα. Το χρηματικό αυτό ποσό είναι το ελάχιστο που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός τέτοιου εξοπλισμού. Βέβαια, ένα τέτοιο επιπλέον κεφάλαιο της τάξης των 204,36MEuro θα μπορούσε να εξασφαλιστεί και μέσω επιδοτήσεων ή/και φοροελαφρύνσεων από το κράτος ή άλλους φορείς, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, στα πλαίσια της «πράσινης» ανάπτυξης.

8.Βιβλιογραφία

➤ Βιβλία

1. Deng, S.J., Johnson, B., Sogomonian, A., 2001. Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission assets. *Decision Support Systems* 30 (3), 383–392.
2. Deng, S.J., 2005. Valuation of investment and opportunity to invest in power generation with spikes in power prices. *Managerial Finance* 31 (6), 95–115.
3. Ellerman, D., 1998. Note on the seemingly indefinite extension of power plant lives, a panel contribution. *Energy Journal* 19 (2), 129–132.
4. Gibson, R., and E. S. Schwartz. 1990. Stochastic convenience yield and the pricing of oil contingent claims. *Journal of Finance*: 959-976.
5. Näsäkkälä, E., Fleten, S.-E., 2005. Flexibility and technology choice in gas-fired power plant investments. *Review of Financial Economics* 14, 371–393.
6. Näsäkkälä, E., Fleten, S.-E, 2010 Gas Fired Power Plants: Investment Timing, Operating Flexibility and CO2 capture, *Energy Economics* 32(4), 805-816.
7. Pilipović, D., 1998. *Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives*. McGraw-Hill.
8. Ross, S., 1997. Hedging long run commitments: exercises in incomplete market pricing, *Banca Monte Econom. Notes* 26, 99–132.
9. Schwartz, E.S., 1997. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging. *Journal of Finance* 52 (3), 923–973.
10. Schwartz, E., Smith, J.E., 2000. Short-term variations and long-term dynamics in commodity prices. *Management Science* 46 (7), 893–911.

➤ **Δικτυακοί τόποι**

1. www.energy.eu
2. www.pointcarbon.com
3. www.investopedia.com
4. www.sciencedirect.com
5. www.lib.ntua.gr
6. www.stat.berkeley.edu
7. www.wikipedia.org
8. www.metapress.com
9. www.elsevier.com/locate/eneco
10. www.wolframalpha.com
11. www.iaee.org
12. www.beg.utexas.edu/energyecon
13. www.energypress.gr
14. www.econews.gr

9. Παραρτήματα

9.1. Παράρτημα Α

Ένα ευέλικτο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού λειτουργεί μόνο όταν το spark spread υπερβαίνει τα κόστη εκπομπών. Η αξία του εργοστασίου, τη χρονική στιγμή t , είναι οι αναμενόμενες χρηματοροές μείον τα λειτουργικά κόστη G .

$$V_U(\chi(t), \xi(t)) = \int_t^{\bar{T}} e^{-r(s-t)} (\bar{C}c(\chi(s), \xi(s)) - G) ds \quad (A1)$$

Όπου: \bar{T} : είναι ο χρόνος ζωής του εργοστασίου,

\bar{C} : είναι η παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου

$c(\chi(s), \xi(s))$: είναι η αναμενόμενη αξία του spark spread τη χρονική στιγμή s , δηλαδή:

$$c(\chi(s), \xi(s)) = E[\max(S(s) - E, 0)] = \int_E^{\infty} (y - E)h(y)dy \quad (A2)$$

Στην (A2) $h(y)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας μίας ομαλά κατανομημένης μεταβλητής y , της οποίας η μέση τιμή και η διακύμανση είναι και η μέση τιμή και η διακύμανση του spark spread τη χρονική στιγμή s , όπως δόθηκαν στο Πόρισμα 1. Για σαφήνεια ξαναγράφουμε τη μέση τιμή και τη διακύμανση:

$$E_s[S(T)] = e^{-\kappa(T-s)} \chi(s) + \xi(s) + \mu_{\xi}(T - s) \quad (A3)$$

$$Var_s(S(T)) = \frac{\sigma_{\chi}^2}{2\kappa} (1 - e^{-2\kappa(T-s)}) + \sigma_{\xi}^2 (T - s) + 2(1 - e^{-\kappa(T-s)}) \frac{\rho\sigma_{\chi}\sigma_{\xi}}{\kappa} \quad (A4)$$

Ολοκλήρωση δίνει:

$$V_U(\chi(t), \xi(t)) = \bar{C} \int_t^{\bar{T}} e^{-r(s-t)} \left(\frac{\sqrt{\text{Var}_t(S(s))}}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E_t[S(s)]-E)^2}{2\text{Var}_t(S(s))}} + (E_t[S(s)] - E) \Phi\left(\frac{E_t[S(s)] - E}{\sqrt{\text{Var}_t(S(s))}}\right) \right) ds - \frac{G}{r} (1 - e^{-r(\bar{T}-t)}) \quad (\text{A5})$$

Όπου: $\Phi(\cdot)$ είναι η ομαλή αθροιστική συνάρτηση διασποράς.

Οι συναρτήσεις A1 και A5 μας δίνουν την αξία του ευέλικτου εργοστασίου.

9.2. Παράρτημα Β

Όταν δεν είναι βέλτιστο να ασκήσουμε την επιλογή για κατασκευή, δηλαδή όταν $\xi < \xi_I$, η επιλογή κατασκευής F_0 πρέπει να ακολουθεί την εξίσωση Bellman

$$rF_0(\xi)dt = E[dF_0(\xi)] - Wdt \quad (B1)$$

Όταν: $\xi < \xi_I$.

Χρησιμοποιώντας το λήμμα του Ito και λαμβάνοντας τη προσδοκία παίρνουμε την παρακάτω διαφορική εξίσωση για την αξία της επιλογής

$$\frac{1}{2}\sigma^2 \frac{d^2 F_0(\xi)}{d\xi^2} + \mu_\varepsilon \frac{dF_0(\xi)}{d\xi} - rF_0(\xi) - W = 0 \quad (B2)$$

Όταν: $\xi < \xi_I$.

Μια λύση της διαφορικής εξίσωσης είναι ένας γραμμικός συνδυασμός δύο ανεξάρτητων λύσεων συν οποιαδήποτε ειδική λύση. Έτσι η αξία της επιλογής κατασκευής είναι

$$F_0(\xi) = A_1 e^{\beta_1 \xi} + A_2 e^{\beta_2 \xi} - \frac{W}{r} \quad (B3)$$

Όταν: $\xi < \xi_I$.

Όπου A_1, A_2 είναι άγνωστες μη αρνητικές παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν και β_1, β_2 είναι οι ρίζες της θεμελιώδους τετραγωνικής εξίσωσης. Αυτή η θεμελιώδης τετραγωνική εξίσωση βρίσκεται αντικαθιστώντας τη γενική λύση $F(\xi) = A e^{\beta \xi} - W/r$ στην (B2), και δίνεται από :

$$\frac{1}{2}\sigma^2 \beta^2 + \mu_\varepsilon \beta - r = 0$$

(B4)

Αυτό δίνει:

$$\beta_1 = \frac{-\mu_\xi + \sqrt{\mu_\xi^2 + 2\sigma_\xi^2 r}}{\sigma_\xi^2} > 0 \quad (\text{B5})$$

$$\beta_2 = \frac{-\mu_\xi - \sqrt{\mu_\xi^2 + 2\sigma_\xi^2 r}}{\sigma_\xi^2} < 0 \quad (\text{B6})$$

Η αξία της δυνατότητας κατασκευής προσεγγίζει το μηδέν όσο το spark spread μειώνεται, δηλαδή το A_2 πρέπει να ισούται με το μηδέν. Έτσι:

$$F_0(\xi) = A_1 e^{\beta_1 \xi} - \frac{W}{r} \quad (\text{B7})$$

Όταν $\xi \leq \xi_I$

9.3. Παράρτημα Γ

Είναι βέλτιστο να ασκήσουμε το δικαίωμα κατασκευής όταν η αξία του δικαιώματος γίνεται ίσο με τις αξίες που κερδίζονται από την άσκηση του δικαιώματος (I είναι το κόστος επένδυσης).

$$F_0 = V(0, \xi_I) - I + F_1(\xi_I) \quad (C1)$$

Αντίστοιχα, είναι βέλτιστο να εγκαταλείψουμε όταν οι αξίες που κερδίζονται από την εγκατάλειψη (υπολειμματική αξία J) είναι ίσες με τις αξίες που χάνονται

$$F_1(\xi_A) + V(0, \xi_A) = J \quad (C2)$$

Οι συνθήκες smooth-pasting πρέπει επίσης να ισχύουν όταν ασκούνται τα δικαιώματα

$$\frac{dF_0(\xi_I)}{d\xi} = \frac{\partial V(0, \xi_I)}{\partial \xi} + \frac{dF_1(\xi_I)}{d\xi} \quad (C3)$$

$$\frac{dF_1(\xi_A)}{d\xi} + \frac{\partial V(0, \xi_A)}{\partial \xi} = 0 \quad (C4)$$

Τα όρια κατασκευής και εγκατάλειψης ξ_I και ξ_A , καθώς και οι παράμετροι επιλογών A_1 και D_2 για όλες της αξίες του εργοστασίου V πρέπει να ικανοποιούν τις (C1)-(C4). Μένει να δειχθεί ότι μία αύξηση στην αξία του εργοστασίου μειώνει τα όρια για το κατώφλι απόφασης επένδυσης και εγκατάλειψης.

$$G^U(\xi_I, A_1, D_2) = F_0(\xi_I) - V(0, \xi_I) + I - F_1(\xi_I) \quad (C5)$$

$$G^L(\xi_A, D_2) = F_1(\xi_A) + V(0, \xi_A) - J \quad (C6)$$

Όπου A_1 και D_2 είναι οι παράμετροι των δικαιωμάτων επένδυσης και εγκατάλειψης αντίστοιχα και ξ_I και ξ_A είναι τα όρια για το κατώφλι επένδυσης όταν η αξία του εργοστασίου είναι V. Ορίζοντας τις μερικές παραγώγους με δείκτες, οι συνθήκες value-matching και smooth-pasting για αξία εργοστασίου V είναι

$$G^U(\xi_I, A_1, D_2) = 0 \quad (C7)$$

$$G^L(\xi_A, D_2) = 0 \quad (C8)$$

$$G_{\xi_I}^U(\xi_I, A_1, D_2) = 0 \quad (C9)$$

$$G_{\xi_A}^L(\xi_A, D_2) = 0 \quad (C10)$$

Όταν η αξία του εργοστασίου V μεταβάλλεται κατά df , η διαφορίση δίνει

$$G_{A_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)dA_1 + G_{D_2}^U(\xi_1, A_1, D_2)dD_2 + G_{\xi_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)d\xi_1 = df \quad (C11)$$

$$G_{D_2}^L(\xi_A, D_2)dD_2 + G_{\xi_A}^L(\xi_A, D_2)d\xi_A = -df \quad (C12)$$

Διαφορίση της συνθήκης smooth-pasting δίνει

$$G_{\xi_1 \xi_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)d\xi_1 + G_{\xi_1 A_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)dA_1 + G_{\xi_1 D_2}^U(\xi_1, A_1, D_2)dD_2 = 0 \quad (C13)$$

$$G_{\xi_A \xi_A}^L(\xi_A, D_2)d\xi_A + G_{\xi_A D_2}^L(\xi_A, D_2)dD_2 = 0 \quad (C14)$$

Οι εξισώσεις (C10),(C12) και (C14) δίνουν για τη μεταβολή του ορίου για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης

$$d\xi_A = \frac{G_{\xi_A D_2}^L(\xi_A, D_2)df}{G_{\xi_A \xi_A}^L(\xi_A, D_2)G_{D_2}^L(\xi_A, D_2)dD_2} = \frac{\beta_2 df}{G_{\xi_A \xi_A}^L(\xi_A, D_2)} \quad (C15)$$

Η δεύτερη ισότητα προσδιορίζεται υπολογίζοντας τις παραγώγους τις δυνατότητας εγκατάλειψης. Πριν την εγκατάλειψη, στη συνθήκη value-matching, η $G^L(\xi_A, D_2)$ προσεγγίζει το μηδέν από «πάνω» (ξεκινώντας π.χ. από $\xi = \xi_1$, $G^L(\xi_1, D_2) = F_0(\xi_1) + I - J > 0$), έτσι η $G^L(\xi, D_2)$ πρέπει να κυρτώνει στο ξ . Όταν η αξία του εργοστασίου αυξάνεται κατά μία θετική ποσότητα π.χ. $df > 0$, παίρνουμε

$$d\xi_A < 0 \quad (C16)$$

Ως εκ τούτου, όταν η αξία του εργοστασίου αυξάνεται, το όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης μειώνεται.

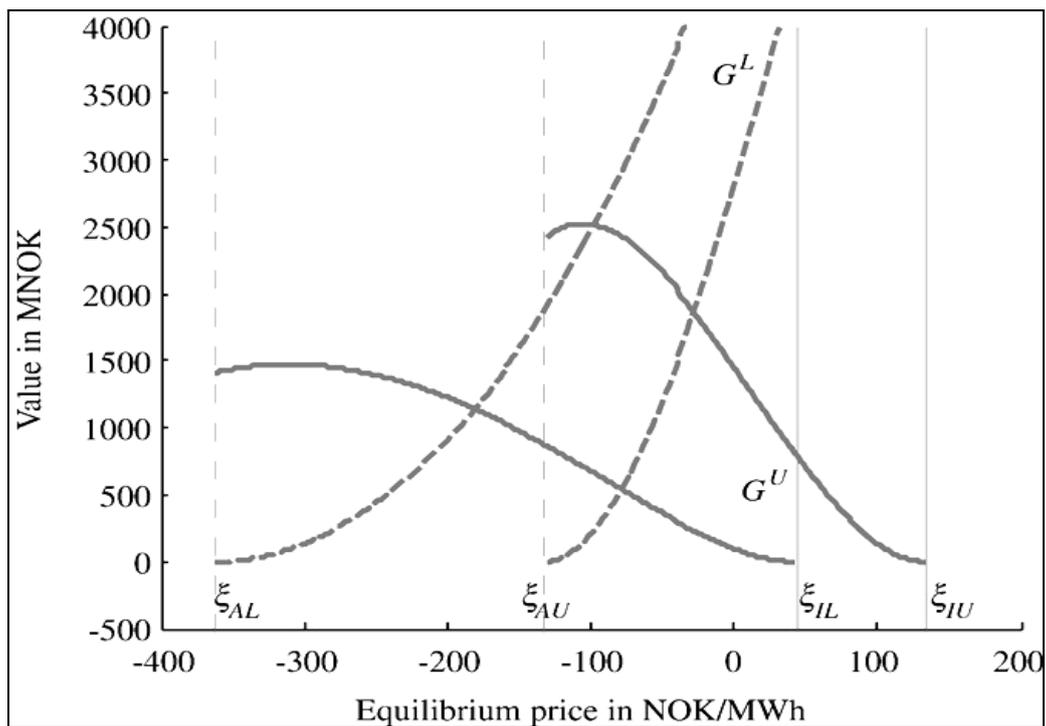
Οι εξισώσεις (C9),(C11),(C13) και (C15) δίνουν τη μεταβολή στο όριο κατασκευής

$$d\xi_1 = \frac{G_{\xi_1 A_1}^U(\xi_1, A_1, D_2) \left(\frac{df + G_{\xi_1}^U(\xi_1, A_1, D_2) \frac{df}{G_{D_2}^L(\xi_A, D_2)}}{G_{A_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)} \right) + df \frac{G_{\xi_1 D_2}^U(\xi_1, A_1, D_2)}{G_{D_2}^L(\xi_A, D_2)}}{G_{\xi_1 \xi_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)} \quad (C17)$$

$$= \frac{-\beta_1(1 + e^{\beta_2(\xi_1 - \xi_A)}) + \beta_2 e^{\beta_2(\xi_1 - \xi_A)}}{G_{\xi_1 \xi_1}^U(\xi_1, A_1, D_2)} df$$

Όπου η δεύτερη ισότητα προσδιορίζεται υπολογίζοντας τις παραγώγους δικαιωμάτων των ορίων κατασκευής και εγκατάλειψης. Πριν την κατασκευή, στη συνθήκη value-matching, η $G^U(\xi_i, A_1, D_2)$ προσεγγίζει το μηδέν από «πάνω» (π.χ. $G^U(\xi_A, A_1, D_2) = F_0(\xi_A) + I - J > 0$), έτσι η $G^U(\xi_A, A_1, D_2)$ πρέπει να κυρτώνει στο ξ κοντά στο όριο. Όταν η αξία του εργοστασίου αυξάνεται κατά μια θετική ποσότητα, π.χ. $df > 0$, παίρνουμε

$$D_{\xi_1} < 0 \quad (C18)$$



Διάγραμμα 70. Όρια για το δικαίωμα της υπερβάλλουσας αξίας. G^U είναι η αξία του δικαιώματος επένδυσης μείον την υποκείμενη ποσότητα, δηλαδή $F_0 - V - F + I$ και κυρτώνει κοντά στο όριο για το κατώφλι απόφασης επένδυσης για το κατώφλι απόφασης επένδυσης. Η G^L είναι η αξία του δικαιώματος εγκατάλειψης μείον την υποκείμενη ποσότητα, δηλαδή $F_1 + V - J$ και είναι κυρτή.

Το διάγραμμα 70 Fleten and Nasakkala (2010) παρουσιάζει για το παράδειγμα μας τα όρια για την αξία των συναρτήσεων G στις (C5) και (C6).

9.4. Παράρτημα-Κώδικας

Αρχικά γράψαμε το script (variables.m) που περιέχει όλες τα απαραίτητα δεδομένα που χρειαζόμαστε για τους μετέπειτα υπολογισμούς.

➤ Variables.m

```
format compact
disp('W=κόστος διατήρησης άδειας [MNok/year]')
W=2.5
disp('C=ετήσια ηλεκτρική απόδοση [TWh/year]')
C=3.27
disp('G=πάγια κόστη [MNok/year]')
G=50
disp('I=κόστος επένδυσης [MNok]')
I=1620
disp('J=υπολειμματική αξία [MNok]')
J=576
disp('r=επιτόκιο')
r=0.06
disp('k=δείκτης mean reversion')
k=2.6
disp('μξ=(δείκτης) drift [Nok/MWh]')
drift=2.18
disp('p=Brownian motion term')
p=-0.21
disp('σχ=Ornstein-Uhlenbeck process parameter [Nok/MWh]')
sigma_x=382.2
disp('σξ=μεταβλητότητα ισοροπίας [Nok/MWh]')
sigma_ksi=47.8
disp('x0=short deviation price when t=0 [Nok/MWh]')
x0=52.9
disp('ξ0=equilibrium price when t=0 [Nok/MWh]')
ksi_0=62.3
```

t=0

Στη συνέχεια υπολογίσαμε το κατώτερο όριο της αξίας του εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού. Αυτό το κάναμε με δύο τρόπους: αρχικά με συμβολική ολοκλήρωση (VL1a.m) της συνάρτησης 9. Και έπειτα με αριθμητική ολοκλήρωση Simpson (VL1.m).

➤ VL1a.m

matlabpool % η εντολή matlabpool αξιοποιεί όλους τους πυρήνες του υπολογιστή για ταχύτερα αποτελέσματα.

disp('VL=κάτω όριο αξίας εργοστασίου [MNok]')

VL=@(s,t)exp(-r.*(s-t)).*(C.*(exp(-k.*(s-t)).*x0+ksi_0+drift*(s-t))-G);

syms t s % η εντολή syms χρησιμοποιείται για να ορίσουμε τις συμβολικές μεταβλητές s t

ko1=int(VL1,s,0,100)

matlabpool close

Με αυτόν τον αλγόριθμο εντοπίζουμε τη συμβολική συνάρτηση του κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου και στη συνέχεια αντικαθιστώντας βρίσκουμε την τιμή του.

VL1.m

disp('VL=κάτω όριο αξίας εργοστασίου')

VL=@(s)exp(-r.*(s)).*(C.*(exp(-k.*(s)).*x0+ksi_0+drift*(s))-G);

quad(VL,0,100)

Με αυτόν τον αλγόριθμο υπολογίζουμε απευθείας την τιμή του κάτω ορίου της αξίας του εργοστασίου με τη βοήθεια της αριθμητικής ολοκλήρωσης Simpson.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το άνω όριο της αξίας του εργοστασίου. Καθώς δεν είναι δυνατό να εντοπιστεί η συμβολική εξίσωση, ακολουθούμε διαφορετική προσέγγιση απ' ότι προηγουμένως. Κάνουμε αριθμητική ολοκλήρωση τραπεζίου.

Αρχικά, κατασκευάσαμε μία συνάρτηση function στην οποία ορίσαμε την σχέση 9.

```
function [f] = fx(s)

W=2.5;
C=3.27;
G=50;
I=1620;
J=576;
r=0.06;
k=2.6;
drift=2.18;
p=-0.21;
sigma_x=382.2;
sigma_ksi=47.8;
x0=52.9;
ksi_0=62.3;
f=exp(-r.*(s)).*((sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2.*3.14)).*exp(-((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s)).^2/2.*((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k)))))+exp(-r.*(s)).*2.*(exp(-
k.*(s)).*2.*x0+1.5.*ksi_0+drift.*(s)).*0.5.*(1+erf(((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s))./sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2)))));

end
```

Στη συνέχεια κατασκευάσαμε ένα script (trapezoidal.m) που κάνει αριθμητική ολοκλήρωση τραπεζίου της συνάρτησης function και βρίσκει το άνω όριο της αξίας του εργοστασίου.

➤ trapezoidal.m

```
fprintf('Δώσε τιμή για το κάτω όριο a=');
a=input("");
fprintf(' Δώσε τιμή για το άνω όριο b=');
b=input("");
fprintf('\nds=');
ds=input("");
sum=0;
for (s=a:ds:b)
    sum=sum+fx(s)*ds;
end
Vu=C*sum-(G/r)
```

Το παραπάνω script το κατασκευάσαμε έτσι ώστε να μπορούμε να ορίζουμε εμείς το άνω και το κάτω όριο καθώς και το βήμα σύμφωνα με το οποίο θα γίνονται οι επαναλήψεις.

Στη συνέχεια για επαλήθευση του αποτελέσματος το υπολογίζουμε ξανά με αριθμητική ολοκλήρωση Simpson

➤ VU.m

```
VU=@(s)exp(-r.*(s)).*((sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2.*3.14)).*exp(-((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s)).^2/2.*((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k)))))+exp(-r.*(s)).*2.*(exp(-
k.*(s)).*2.*x0+1.5.*ksi_0+drift.*(s)).*0.5.*(1+erf(((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s))./sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2))))
disp('VU:άνω όριο της αξίας του εργοστασίου [MNok]')
Vu=C*quad(VU,0,1000)-G/r
```

Έπειτα, υπολογίσαμε το άνω (ksi_I_U.m) και κάτω (ksi_I_L.m) όριο του εναρκτήριου ποσού που απαιτείται ανά μονάδα MWh χωρίς να λάβουμε υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης κατασκευής του εργοστασίου.

➤ ksi_I_U.m

```
disp('Fo= value of the building option')
disp('Fo_ksi=A1*exp(b1*ksi)-W/r')
disp('Η παράμετρος b1 δίνεται από:')
b1=(-drift+sqrt(drift^2+2*sigma_ksi^2*r))/sigma_ksi^2
disp('the lower bound of the building threshold ξiu [Nok/MWh] is given by:')
ksi_IU=(1/b1)-(W/C)-(drift/r)+(G/C)+r*I/C
disp('The positive parameter A1 is given by:')
A1=C/(r*b1*exp(b1*ksi_IU))
```

➤ ksi_I_L.m

```
A1=1179;
ksi_0=46.3;
x0=0;
b=@(s)exp(-r.*(s)).*((sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2.*3.14)).*exp(-((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s)).^2/2.*((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*(p.*sigma_x.*sigma_ksi./k)))))+exp(-r.*(s)).*(exp(-
k.*(s)).*2.*x0+1.5.*ksi_0+drift.*(s)).*0.5.*(1+erf(((exp(-
k.*(s)).*2.*x0+0.5.*ksi_0+drift.*(s))./sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2))))
Vu_ksi_IL=C*quad(b,0,1000)-W/r
Fo_ksi_IL=Vu_ksi_IL-I
disp('Fo= value of the building option')
disp('Fo_ksi=A1*exp(b1*ksi)-W/r')
disp('Η παράμετρος b1 δίνεται από:')
b1=(-drift+sqrt(drift^2+2*sigma_ksi^2*r))/sigma_ksi^2
```

disp('the lower bound of the building threshold ξ_{IU} [Nok/MWh] is given by:')

$$\text{ksi_IL}=\log((V_u_{\text{ksi_IL}}-I+(W/r))/A1)/b1$$

Εδώ εφαρμόσαμε επαναληπτική μέθοδο και τελικά η ζητούμενη ποσότητα συγκλίνει στην τελική της τιμή.

Έπειτα, υπολογίσαμε το άνω (ksi_A_U) και κάτω (ksi_A_L) όριο για το κατώφλι απόφασης εγκατάλειψης κατασκευής του εργοστασίου.

➤ ksi A U

disp('The parameter b2 is given by:')

$$b2=(-\text{drift}-\sqrt{\text{drift}^2+2*\sigma_{\text{ksi}}^2*r})/\sigma_{\text{ksi}}^2$$

disp('The upper bound of an abandonment threshold ξ_{AU} [Nok/MWh] is given by: $\text{ksi_AU}=J*(r/C)+(G/C)+(1/b2)-(\text{drift}/r)$ ')

$$\text{ksi_AU}=J*(r/C)+(G/C)+(1/b2)-(\text{drift}/r)$$

disp('The parameter D2 is given by: $D2=-\text{(C/r)}*(1/(b2*\exp(b2*\text{ksi_AU})))$ ')

$$D2=-\text{(C/r)}*(1/(b2*\exp(b2*\text{ksi_AU})))$$

➤ ksi A L

$$D2=40;$$

$$x0=0;$$

$$\text{ksi}=1;$$

$$\text{eee}=100;$$

while eee>1,

$$\begin{aligned} a=&@(\text{s})((\text{erf}((2.^{(1/2)}.*(\text{ksi} + \text{drift}.*\text{s} + x0./\exp(k.*\text{s}))))/(2.*(s.*\sigma_{\text{ksi}}.^2 - \\ &(k.*\sigma_x.^2.*(1./\exp(2.*k.*\text{s}) - 1))./2 - (2.*p.*\sigma_x.*\sigma_{\text{ksi}}.*(1./\exp(k.*\text{s}) \\ &- 1))./k).^{(1/2}))) + 1).*0.59.*(\text{drift} - (k.*x0)/\exp(k.*\text{s}))/\exp(r.*\text{s}) - \\ &(0.5.*r.*(\text{erf}((2.^{(1/2)}.*(\text{ksi} + \text{drift}.*\text{s} + x0./\exp(k.*\text{s}))))/(2.*(s.*\sigma_{\text{ksi}}.^2 - \\ &(k.*\sigma_x.^2.*(1./\exp(2.*k.*\text{s}) - 1))./2 - (2.*p.*\sigma_x.*\sigma_{\text{ksi}}.*(1./\exp(k.*\text{s}) \\ &- 1))./k).^{(1/2}))) + 1).*(\text{ksi} + \text{drift}.*\text{s} + x0./\exp(k.*\text{s}))/\exp(r.*\text{s}) + (1.0.*\exp((\text{ksi} + \\ &\text{drift}.*\text{s} + x0./\exp(k.*\text{s})).^2/(2.*(k.*\sigma_x.^2.*(1./\exp(2.*k.*\text{s}) - 1))./2 - \\ &s.*\sigma_{\text{ksi}}.^2 + (2.*p.*\sigma_x.*\sigma_{\text{ksi}}.*(1./\exp(k.*\text{s}) - \\ &1))./k))))*(2.^{(1/2)}.*(\text{drift} - (k.*x0)/\exp(k.*\text{s}))/2.*(s.*\sigma_{\text{ksi}}.^2 - \\ &(k.*\sigma_x.^2.*(1./\exp(2.*k.*\text{s}) - 1))./2 - (2.*p.*\sigma_x.*\sigma_{\text{ksi}}.*(1./\exp(k.*\text{s}) \\ &- 1))./k).^{(1/2})) - (2.^{(1/2)}.*(\sigma_{\text{ksi}}.^2 + (k.^2.*\sigma_x.^2)/\exp(2.*k.*\text{s}) + \\ &(2.*p.*\sigma_x.*\sigma_{\text{ksi}})/\exp(k.*\text{s})).*(\text{ksi} + \text{drift}.*\text{s} + \end{aligned}$$

```

x0./exp(k.*s))./(4.*(s.*sigma_ksi.^2 - (k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 -
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) - 1))./k).^3./2)).*(ksi + drift.*s +
x0./exp(k.*s))./(pi.^1./2).*exp(r.*s)) + (2.^1./2).*exp((ksi + drift.*s +
x0./exp(k.*s)).^2./((k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 - s.*sigma_ksi.^2 +
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) - 1))./k)).*((2.*(drift -
(k.*x0)/exp(k.*s)).*(ksi + drift.*s +
x0./exp(k.*s))./((k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 - s.*sigma_ksi.^2 +
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) - 1))./k) + ((sigma_ksi.^2 +
(k.^2.*sigma_x.^2)./exp(2.*k.*s) + (2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi)/exp(k.*s)).*(ksi +
drift.*s + x0./exp(k.*s)).^2)/((k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 -
s.*sigma_ksi.^2 + (2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) -
1))./k).^2).*(s.*sigma_ksi.^2 - (k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 -
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) - 1))./k).^1./2))./(2.*pi.^1./2).*exp(r.*s)) -
(2.^1./2).*r.*exp((ksi + drift.*s + x0./exp(k.*s)).^2)/((k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s)
- 1))./2 - s.*sigma_ksi.^2 + (2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) -
1))./k)).*(s.*sigma_ksi.^2 - (k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 -
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) - 1))./k).^1./2))./(2.*pi.^1./2).*exp(r.*s))
+ (2.^1./2).*exp((ksi + drift.*s + x0./exp(k.*s)).^2)/((k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s)
- 1))./2 - s.*sigma_ksi.^2 + (2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s) -
1))./k)).*(sigma_ksi.^2 + (k.^2.*sigma_x.^2)./exp(2.*k.*s) +
(2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi)/exp(k.*s))./(4.*pi.^1./2).*exp(r.*s)).*(s.*sigma_ksi.^2 -
(k.*sigma_x.^2.*(1./exp(2.*k.*s) - 1))./2 - (2.*p.*sigma_x.*sigma_ksi.*(1./exp(k.*s)
- 1))./k).^1./2))
Vu_a=C*quad(a,0,100);
disp('F1=the value of an abandonment option')
disp('F1=D2*exp(b2*ksi)')
disp('The parameter b2 is given by:')
b2=(-drift-sqrt(drift^2+2*sigma_ksi^2*r))/sigma_ksi^2
F1=-Vu_a;
ksi_new=log(F1/(D2*b2))/b2
eee=abs(ksi_new-ksi)
ksi=ksi_new;
end

```

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το άνω (ksi_I_U_A.m) και κάτω (ksi_I_L_A.m) όριο του εναρκτήριου ποσού κατασκευής που απαιτείται ανά μονάδα MWh, λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα εγκατάλειψης της κατασκευής του εργοστασίου.

➤ ksi_I_U_A

```
disp('F1=the value of an abandonment option')
```

```
disp('F1=D2*exp(b2*ksi)')
```

```
disp('The parameter b2 is given by:')
```

```
b2=(-drift-sqrt(drift^2+2*sigma_ksi^2*r))/sigma_ksi^2
```

```
K=A1*(1-b1/b2)
```

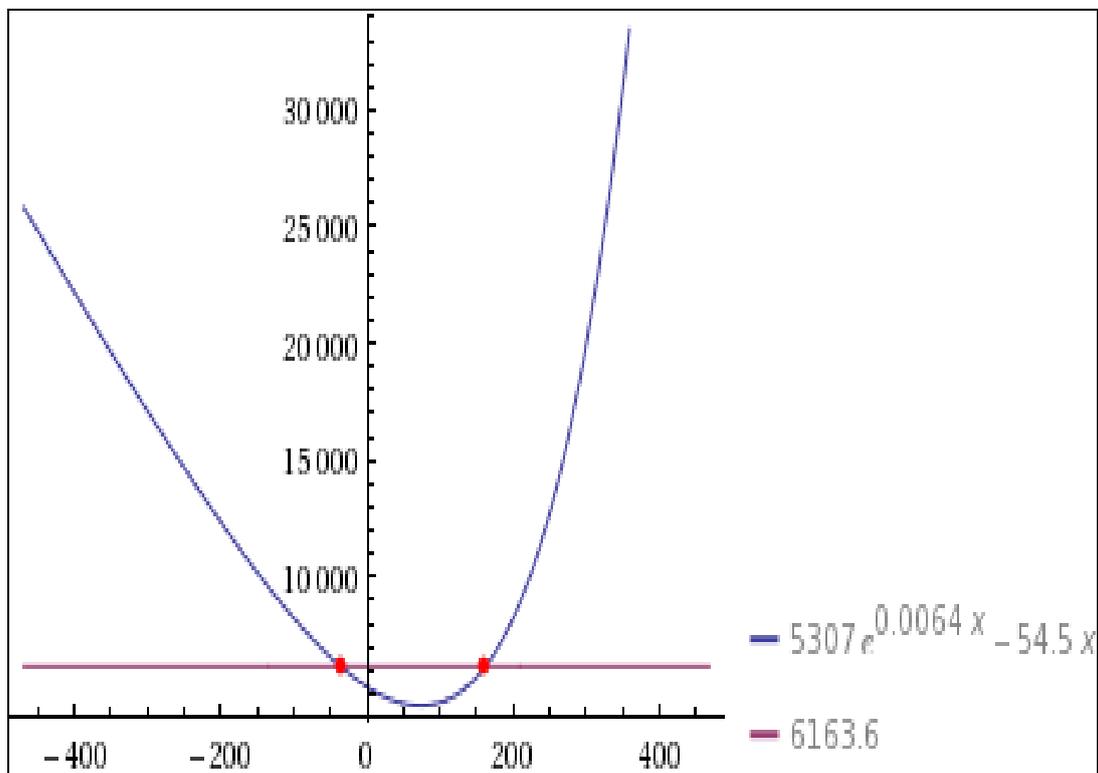
```
L=C/r
```

```
M=(W/r)+(C/r)*((drift/r)-(1/b2))-(G/r)-I
```

Σε αυτό το script επειδή δεν μπορέσαμε να καταλήξουμε σε μία τελική εξίσωση φτάσαμε σε μία συνάρτηση της μορφής:

$$K * e^{(0.0064 * x)} - L * x = M$$

Με το script αυτό υπολογίζουμε τα K,L,M. Στη συνέχεια, απεικονίζουμε γραφικά την συνάρτηση δεξιά της ισότητας και τη συνάρτηση αριστερά αυτής. Έπειτα εντοπίσαμε που τέμνονται οι δύο συναρτήσεις με αποτέλεσμα να βρούμε τη ζητούμενη τιμή.



➤ ksi_IL_A

```
A1=1179;
D2=2263.8;
ksi_0=43.8
b=@(s)exp(-r.*(s)).*(exp(-k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s)).*0.5.*(1+erf(((exp(-
k.*(s)).*x0+ksi_0+drift.*(s))./sqrt((sigma_x.^2./2.*k).*(1-exp(-
2.*k.*(s)))+sigma_ksi.^2.*(s)+2.*(1-exp(-
k.*(s))).*p.*sigma_x.*sigma_ksi./k))./sqrt(2))))
Vu_ksi_IL_A=C*quad(b,0,1000)-G/r;
Fo_ksi_IL_A=A1*exp(b1*ksi_0)-W/r;
F1_ksi_IL_A=Vu_ksi_IL_A+Fo_ksi_IL_A-I
ksi_IL_A=log(F1_ksi_IL_A/D2)/b2
```

210% **READING**

matlabpool

```
prices=xlsread('IO.xls','load&price_DESMHE');
pricesX=(prices(:,27)); pricesY=(prices(:,28));
PR=[pricesX pricesY]; returns =price2ret(PR);
```

```
% TA METETREPSA SE PRICE2RET DIOTI STIN GBM to DRIFT
PROERXETAI EKS'ORISMOU
% APO CONTINUES COMPOUNDING!
```

% **GBM DATA**

```
nPeriods=3000; ntrials=1500; ITER=2000; whichvariabletocheck=1; YY=20;
```

% **STATISTICS**

```
drift = diag(mean(returns));
sigma = diag(std(returns));
correlation = corrcoef(returns);
```

```
xaxa=size(drift);
```

```
startstate=[PR(end,1) PR(end,2)]';
```

```

% GBM MODEL
GBM1=gbm(drift, sigma,'StartState',startstate,'Correlation',correlation);
tic
%LOOP FOR coping with memory overflow of Monte-Carlo. Every ITER lasts for
parfor k=1:ITER,
[X1,T]=GBM1.simByEuler(nPeriods,'ntrials',ntrials);
X11=mean(X1,3); XX(:,:,k)=X11; XYY(k,:)=X1(YY,whichvariabletocheck,:);
Xlastday(k,:)=X1(nPeriods,whichvariabletocheck,:);
end
XXX=mean(XX,3);
toc
kk=size(XYY); k1=kk(1,1);
%! DES AMESWS PIO KATW! ETSI KRATW MONO THN
% TRITH DIASTASH APO TOUS 3D pinakes lastdaymatrix, firstYYdaymatrix
lastdaymatrix=reshape(Xlastday,[k1*ntrials 1]);
firstYYdaymatrix=reshape(XYY,[k1*ntrials 1]);

disp('make LOGNOMRAL statistical distribution fitting and compare between i.e.
10th day and last (nperiod) day for all the ntrial number (Monte Carlo trials) ')
disp('REMEMBER, to statistical confidence bound einai sigma/sqrt(N) opou N ta
MonteCarlo trials- giayto ekana etsi to vectorising wste na ta lambanei stin YY mera
ypopsin !!!')
plot(XXX(1:nPeriods,1:xaxa(1,1)), 'DisplayName', 'XXX(1:nPeriods,1:xaxa(1,1))',
'YDataSource', 'XXX(1:nPeriods,1:xaxa(1,1))'); grid on;
matlabpool close

```