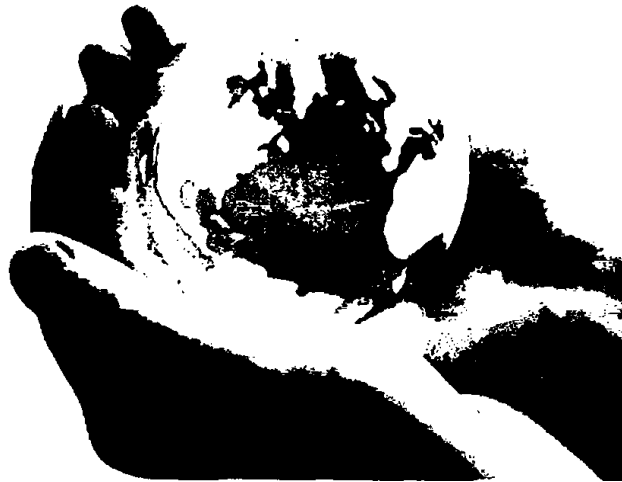




**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
«ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ»**

Αξιολόγηση περιβαλλοντικής επίδοσης χωρών του Ο.Ο.Σ.Α.



Αγγέλη Ελένη

Επιβλέπων καθηγητής: Γκωλέτσης Γεώργιος

Διπλωματική εργασία κατατεθείσα στο Τμήμα Οικονομικών Επιστημών
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Ιανουάριος 2013



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000345295



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Οικονομικών Επιστημών κ. Γεώργιο Γκωλέτση για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς και για τις κατευθύνσεις που μου επέδειξε για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής. Όπως επίσης και όλους τους καθηγητές του τμήματος Οικονομικών Επιστημών για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ηθική και την οικονομική συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΑΡΧΑΙΑ:.....
Α. Β. Ζ.:..... 10235/2003.



Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στην περιβαλλοντική επίδοση σε 30 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. Η μελέτη επικεντρώνεται στην εκτίμηση των ανεπιθύμητων εκροών, για τα έτη 2000, 2005 και 2009. Η εκτίμηση της αποδοτικότητας πραγματοποιείται με την μη-παραμετρική μέθοδο DEA (data envelopment analysis). Η παραπάνω μέτρηση αποδοτικότητας συμπεριλαμβάνει και τις ανεπιθύμητες εκροές στη μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρία μοντέλα, τα οποία είναι αυτό των σταθερών αποδόσεων κλίμακας, αυτό των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας και το μοντέλο ανεπιθύμητων εκροών. Οι εισροές και εκροές που χρησιμοποιήθηκαν αντιπροσωπεύουν πλήρως την παραγωγική διαδικασία ώστε να γίνει ξεκάθαρη η επιρροή των ανεπιθύμητων εκροών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι οι χώρες στην πλειοψηφία τους είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Αυτό οφείλεται ίσως σε διάφορους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Τέλος προτείνονται βελτιώσεις για την περιβαλλοντική επίδοση των χωρών, ώστε να μπορέσουν να θέσουν τις ανεπιθύμητες εκροές κάτω από ένα καθεστώς αυστηρότερου ελέγχου.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντική Επίδοση, Data envelopment analysis, ανεπιθύμητες εκροές

Abstract

The aim of this study involves the assessment of the environmental efficiency of 30 OECD countries. The study particularly focuses on the measurement of undesirable outputs, for years 2000, 2005 and 2009. The efficiency is estimated with the use of non-parametric method DEA (data envelopment analysis). This study incorporates the undesirable outputs for the measure of environmental efficiency three models are used, which are the constant returns to scale model (CCR), the variant returns to scale model (BCC) and the undesirable-measure model. The inputs and outputs used in the analysis were selected to sufficiently represent the production process and to clarify the impacts of undesirable outputs.

The results of the study show that the majority of the selected countries proved to be inefficient for the environmental efficiency. This may happen due to social and economic reasons. Finally, DEA suggests some potential improvements on environmental efficiency, in order to put undesirable outputs under control.

Key words: Environmental efficiency, Data envelopment analysis, undesirable outputs



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Α΄ ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1. Εισαγωγή.....	7
2. Η Μέτρηση της Περιβαλλοντικής Επίδοσης.....	9
2.1. Ορισμός – έννοια	9
2.2. Δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης.....	10
2.3. Τρόποι μέτρησης.....	12
2.3.1. Παραμετρικές και μη-παραμετρικές μέθοδοι.....	12
2.3.2. Ντετερμινιστικές και στοχαστικές μέθοδοι	13
2.4. Μελέτη ανεπιθύμητων εκροών.....	15
2.5. Σχετικές μελέτες.....	19
2.5.1. Εισαγωγή.....	19
2.5.2. Εφαρμογή της DEA για μέτρηση Περιβαλλοντικής Επίδοσης.....	19
2.5.3. Μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης με άλλες τεχνικές μεθόδους.....	25
3. Η μεθοδολογία της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA).....	26
3.1. Εισαγωγικές έννοιες.....	26
3.2. Το πρότυπο CCR (Charnes, Cooper and Rhodes, 1978).....	29
3.3. Το πρότυπο BCC (Banker, Charnes and Cooper, 1984).....	33
3.4. Το μοντέλο ανεπιθύμητων εκροών (Undesirable-measure model).....	35
3.4.1 Ανεπιθύμητες εκροές.....	36
3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της DEA.....	39

Β΄ ΜΕΡΟΣ: ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1. Μέτρηση της σχετικής περιβαλλοντικής επίδοσης σε χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. με ανεπιθύμητες εκροές.....	42
1.1. Εισαγωγή.....	42
1.2. Επιλογή χωρών – μονάδων λήψης απόφασης (DMUs).....	43



1.3 Επιλογή και περιγραφή του μείγματος εισροών-εκροών-ανεπιθύμητων εκροών.....	43
1.4. Επιλογή μοντέλου ανάλυσης.....	55
2. Αποτελέσματα εφαρμογής της DEA.....	56
2.1. Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) και μοντέλα μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών.....	56
2.1.1. Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών.....	56
2.1.2. Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών.....	60
2.2. Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) και μοντέλα μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές.....	64
2.2.1. Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές	64
2.2.2. Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές	68
2.3. Μοντέλο ανεπιθύμητων εκροών (Undesirable-measure model).....	72
2.4. Η κατάταξη των χωρών με βάση την αποδοτικότητά τους.....	76
2.5. Ομότιμες μονάδες.....	86
3. Συμπεράσματα – Προοπτικές.....	88
Βιβλιογραφία.....	89

Α΄ ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1. Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ο αντίκτυπος της παραγωγικής δραστηριότητας στο περιβάλλον ήταν αρκετά έντονος, όσο και το ενδιαφέρον τόσο από την πλευρά των σχεδιαστών της πολιτικής όσο και των ακαδημαϊκών στο πεδίο των οικονομικών του περιβάλλοντος. Η αυξανόμενη αναγνώριση στις αναπτυγμένες χώρες του περιβάλλοντος ως ένα «δημόσιο αγαθό», προέτρεψε ένα μεγάλο μέρος της νομοθεσίας να ρυθμίσει τις εκπομπές των ρύπων κάτω από έναν πιο ουσιαστικό έλεγχο. Με αυτό τον τρόπο, τα περιβαλλοντικά θέματα μετατράπηκαν σε ένα μείζον θέμα ανησυχίας για τις διοικήσεις επιχειρήσεων, οι οποίες μόλις πρόσφατα συνειδητοποίησαν ότι υιοθετώντας μια περιβαλλοντική συμπεριφορά, θα μπορούσαν να επωφεληθούν σημαντικά.

Ως αποτέλεσμα αυτού του ενδιαφέροντος, η οικονομική βιβλιογραφία έδειξε όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική επίδοση. Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις για την μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης προέρχονται από διαφορετικές οπτικές, όπως εκείνη που βασίζεται στην ανάλυση του κύκλου ζωής, την προσέγγιση περιβαλλοντικής μέτρησης ή την θεωρία στο πλαίσιο παραγωγής, εκ των οποίων κάθε μία έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Παρόλα αυτά, αυτές οι προσεγγίσεις προβάλουν ένα ευρύ σύνολο από δείκτες (EPIs) που ποικίλουν από πολύ απλοποιημένους δείκτες σε πολύπλοκους, επικεντρώνοντας ο καθένας σε διαφορετικές οπτικές περιβαλλοντικής επίδοσης.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται μια προσπάθεια να εκτιμηθεί η περιβαλλοντική επίδοση σε 30 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α., ώστε να γίνει πιο ξεκάθαρη η εικόνα για την περιβαλλοντική «συνείδηση» της κάθε χώρας, όσο και μια σύγκριση μεταξύ τους.

Η δομή της μελέτης έχει ως εξής: στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η έννοια της περιβαλλοντικής επίδοσης, οι δείκτες περιβαλλοντικής εκτίμησης και οι τρόποι μέτρησής της. Επίσης γίνεται αναφορά στις σχετικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί είτε με την μέθοδο της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (Data envelopment analysis – DEA) είτε με άλλες μεθόδους. Επίσης παρατίθεται συνοπτικός πίνακας των μελετών ώστε να μπορέσει να γίνει ευκολότερα η σύγκριση μεταξύ των εισροών και των εκροών που χρησιμοποιούνται. Στη

συνέχεια, αναλύεται η μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA), η οποία έχει να κάνει με την περιβαλλοντική επίδοση και είναι και αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Έπειτα υπάρχει το εμπειρικό μέρος, όπου γίνεται αναλυτική περιγραφή της μέτρησης της περιβαλλοντικής επίδοσης στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. που επιλέχθηκαν με την μέθοδο DEA, αφού έχουν προηγουμένως περιγραφεί τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στη μελέτη χρησιμοποιούνται τρία μοντέλα για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Τέλος παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές για τις μη αποδοτικές περιβαλλοντικά χώρες.

2. Η μέτρηση της Περιβαλλοντικής Επίδοσης

2.1 Ορισμός - Έννοια

Πολύς λόγος έχει γίνει τελευταία και πολλές είναι οι πιέσεις που ασκούνται από μέρος των χωρών για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Στα πλαίσια λοιπόν μιας σωστής περιβαλλοντικής διαχείρισης, είναι αναγκαία η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης ορίζεται ως *μία εσωτερική διαδικασία και ένα διοικητικό εργαλείο σχεδιασμένο έτσι ώστε να δίνει αξιόπιστες και επαληθεύσιμες πληροφορίες σε συνεχή βάση με σκοπό να καθοριστεί το εάν η περιβαλλοντική επίδοση ενός οργανισμού συναντά τα κριτήρια που έχει ο ίδιος θέσει (Jasch, 1999).*

Για να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ των όρων περιβαλλοντική διαχείριση και περιβαλλοντική επίδοση, θεωρείται απαραίτητη η αναφορά του ορισμού της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Συγκεκριμένα, η περιβαλλοντική διαχείριση περιλαμβάνει τις τεχνικές και τις διαχειριστικές δραστηριότητες που λαμβάνονται από την επιχείρηση για να μειώσει τον περιβαλλοντικό της αντίκτυπο και να ελαχιστοποιήσει τις επιδράσεις της στο οικοσύστημα. Το αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι η περιβαλλοντική επίδοση (Henri and Journeault 1998).

Η αξιολόγηση και η παρακολούθηση της περιβαλλοντικής επίδοσης με δείκτες είναι σημαντικές για τον έλεγχο της συμμόρφωσης μιας επιχείρησης με την απαίτηση για συνεχή βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Μια επιχείρηση χρησιμοποιεί δείκτες με σκοπό την εξαγωγή στοιχείων και πληροφοριών συγκρίνοντας την παρελθοντική και παρούσα περιβαλλοντική επίδοση ενός οργανισμού. Η μεγαλύτερη πρόκληση στην κατασκευή ενός περιβαλλοντικά αποτελεσματικού δείκτη και γενικά σύνθετων περιβαλλοντικών δεικτών επίδοσης είναι να συγκεντρωθούν οι πολλαπλές περιβαλλοντικές επιδράσεις σε έναν περιβαλλοντικό δείκτη ζημιάς (Thoresen, 1999).

2.2 Δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης

Οι δείκτες χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν την πολύ μεγάλη ποσότητα των δεδομένων μιας επιχείρησης με περιεκτικό και συνοπτικό τρόπο. Εφαρμόζονται συνήθως για να θέσουν τα απόλυτα στοιχεία υλικών και ενέργειας σε σχέση με άλλες μεταβλητές προκειμένου να αυξηθεί η αξία των ποσοτικών δεδομένων (Perotto et al., 2008).

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες έχουν τους παρακάτω σκοπούς:

- ✓ Τη σύγκριση της περιβαλλοντικής επίδοσης διαχρονικά
- ✓ Την εστίαση του ενδιαφέροντος στις δυνατότητες βελτιστοποίησης της επίδοσής του
- ✓ Την αναζήτηση και τήρηση των περιβαλλοντικών στόχων
- ✓ Την ταυτοποίηση των ευκαιριών της αγοράς και τις δυνατότητες για τη μείωση του κόστους
- ✓ Την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης μεταξύ εταιριών του ίδιου κλάδου (benchmarking)
- ✓ Τη χρήση τους ως ένα επικοινωνιακό εργαλείο για τις περιβαλλοντικές εκθέσεις
- ✓ Τη χρήση τους ως ένα αναδραστικό όργανο για την παροχή πληροφοριών και την υποκίνηση του εργατικού δυναμικού
- ✓ Την τεχνική υποστήριξη του Ευρωπαϊκού Κανονισμού EMAS και του Διεθνούς Προτύπου ISO 14001.

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες επίσης προσφέρονται για να χρησιμοποιηθούν από την ανώτατη διοίκηση, του υπεύθυνους για την περιβαλλοντική διαχείριση, καθώς και από άλλα τμήματα ενός οργανισμού ως κατανοητά και συνοπτικά σύνολα δεδομένων. Παρέχουν στους αποφασίζοντες των επιχειρήσεων μια επισκόπηση της σχετικής προόδου, αλλά και επισημαίνουν τις περιοχές που εντοπίζεται πρόβλημα. Σύμφωνα με αυτά, οι περιβαλλοντικοί στόχοι μπορούν να τεθούν με συγκεκριμένους αριθμούς, οι οποίοι καθιστούν τους περιβαλλοντικούς στόχους ελέγξιμους και επαληθεύσιμους. Επιπλέον, η σύνδεσή τους με άλλους παραδοσιακούς δείκτες επιτρέπει τον εντοπισμό από πιθανά οικονομικά οφέλη.

Η «δύναμη» των περιβαλλοντικών δεικτών κρύβεται στην αριθμητική ανάλυση των τάσεων και των συγκρίσεων ανά έτος. Εφόσον υπόκεινται σε συχνή αξιολόγηση και σε έλεγχο στόχων, ο περιβαλλοντικοί δείκτες μπορούν να

επισημάνουν στις δυσμενείς τάσεις μέσω ενός περιβαλλοντικού ελέγχου – υιοθετώντας τη λειτουργία ενός «συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης».

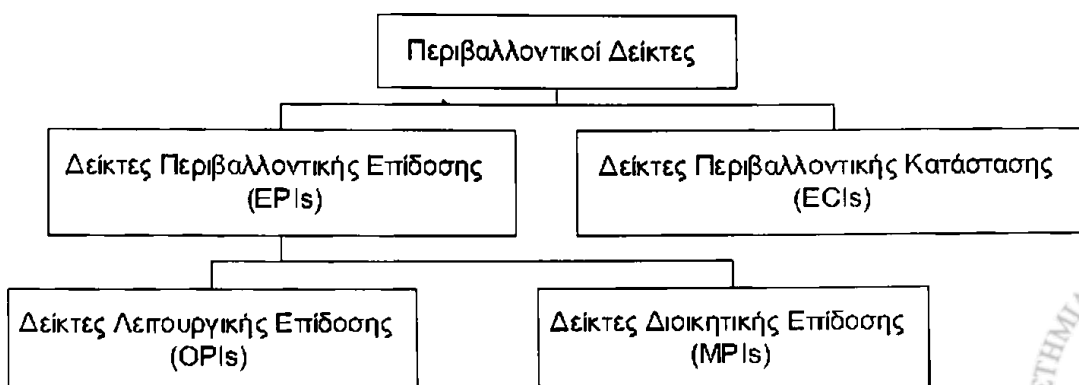
Επιπλέον, η αξιολόγηση και σύγκριση ανάμεσα σε κλάδους προσφέρει την ευκαιρία να ταυτοποιηθούν αδύνατα σημεία και πιθανές βελτιώσεις.

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες διαιρούνται σε δύο γενικές κατηγορίες:

1. Στους Δείκτες Περιβαλλοντικής Επίδοσης-ΔΠΕ (Environmental Performance Indicators-EPIs) και
2. Στους Δείκτες Περιβαλλοντικής Κατάστασης-ΔΠΚ (Environmental Condition Indicators-ECIs).

Οι Δείκτες Περιβαλλοντικής Κατάστασης (ΔΠΚ) παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση του περιβάλλοντος, οι οποίες μπορούν να αποδειχθούν χρήσιμες κατά την εφαρμογή της αξιολόγησης της περιβαλλοντικής επίδοσης μέσα σε έναν οργανισμό. Οι Δείκτες Περιβαλλοντικής Επίδοσης (ΔΠΕ) υποδιαιρούνται σε δύο ακόμη κατηγορίες, τους Δείκτες Διοικητικής Επίδοσης-ΔΔΕ (Management Performance Indicators-MPIs) και τους Δείκτες Λειτουργικής Επίδοσης-ΔΛΕ (Operational Performance Indicators-OPIs).

Οι Δείκτες Διοικητικής Επίδοσης (ΔΔΕ) αποτελούν ένα τύπο περιβαλλοντικών δεικτών, ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τις προσπάθειες της διοίκησης για να επηρεάσει την περιβαλλοντική επίδοση του λειτουργιών του οργανισμού. Οι Δείκτες Λειτουργικής Επίδοσης (ΔΛΕ) αποτελούν ένα τύπο περιβαλλοντικού δείκτη που παρέχει πληροφορίες για την λειτουργία του οργανισμού και σχετίζεται με το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη διατήρηση των κτιρίων και του εξοπλισμού του οργανισμού. Επίσης με την προμήθεια υλικών, την ενέργεια που χρησιμοποιούν, τις υπηρεσίες που προσφέρει και τις εκπομπές ρύπων και αποβλήτων (Jasch, 1999).



2.3 Τρόποι μέτρησης

Η μέτρηση της αποδοτικότητας βασίζεται στην εν δυνάμει συνάρτηση παραγωγής, η οποία αποτελεί μια συναρτησιακή έκφραση του ορίου της τεχνολογίας παραγωγής με την έννοια ότι καθορίζει την μέγιστη ποσότητα εκροών που δύναται να παραχθεί από ένα δεδομένο διάνυσμα εκροών. Εκτός από την έννοια συνάρτηση παραγωγής χρησιμοποιείται και η έννοια του συνόρου αποδοτικότητας (ανάλογα με την μέθοδο μέτρησης της αποδοτικότητας). Το σύνоро (όριο), σχηματίζεται από τις πιο αποδοτικές μονάδες, δηλαδή από τις μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούν την ελάχιστη εισροή για να παράγουν συγκεκριμένη ποσότητα εκροής, ή εναλλακτικά παράγουν την μέγιστη εκροή δεδομένης ποσότητας εισροής και περιβάλλει τις υπόλοιπες υπό εξέταση μονάδες. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της αποδοτικότητας χωρίζονται σε παραμετρικές και μη-παραμετρικές μεθόδους καθώς και σε στοχαστικές και ντετερμινιστικές μεθόδους. Το κάθε σύνολο τεχνικών έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε εκτενέστερα αυτές τις μεθόδους και αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

2.3.1 Παραμετρικές και μη-παραμετρικές μέθοδοι

Οι παραμετρικές μέθοδοι βασίζονται σε τεχνικές παλινδρομήσεως και υποθέτουν μια συναρτησιακή μορφή με παραμέτρους οι οποίοι εκτιμώνται με βάσει τα διαθέσιμα δεδομένα. Ο προσδιορισμός της συνάρτησης παραγωγής γίνεται από την αρχή της μελέτης. Οι μη-παραμετρικές μέθοδοι κατασκευάζουν εικονικές μονάδες οι οποίες χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για τον υπολογισμό της σχετικής αποδοτικότητας. Το σύνоро αποδοτικότητας δεν ορίζεται από πριν όπως γίνεται στις παραμετρικές μεθόδους, αλλά προκύπτει στην πορεία από τα διαθέσιμα δεδομένα. Η βασική διαφορά τους έγκειται στο ότι η παραμετρική προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικές εκτιμήσεις της μη-αποδοτικότητας εξαιτίας εσφαλμένου προσδιορισμού της συναρτησιακής μορφής της εν δυνάμει συνάρτησης, ενώ η μη-παραμετρική είναι λιγότερο επιρρεπής σε τέτοιου είδους σφάλματα.

2.3.2. Ντετερμινιστικές και στοχαστικές μέθοδοι

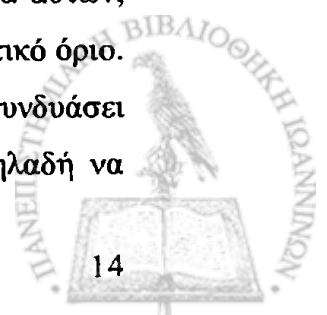
Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι ερμηνεύουν την απόσταση της κάθε μονάδας από το αποδοτικό σύνορο ως αποτέλεσμα μη-αποδοτικότητας του εξεταζόμενου συστήματος, ενώ αντίθετα στις στοχαστικές οι οποίες θεωρούν ότι η απόσταση αυτή οφείλεται κυρίως σε κάποιους τυχαίους παράγοντες (π.χ. εξωγενείς διαταραχές οι οποίες βρίσκονται εκτός ελέγχου του συστήματος παραγωγής). Σημαντικό να σημειωθεί ότι οι ντετερμινιστικές προσεγγίσεις δεν αποτελούν ένα τέλειο εργαλείο μέτρησης της τεχνικής αποδοτικότητας διότι δεν αφήνουν περιθώρια για σφάλματα (Tandon, 2005). Όλοι οι παραπάνω μέθοδοι συνοψίζονται στον πίνακα 1 που ακολουθεί.

Πίνακας 1: Μέθοδοι εκτίμησης της μέτρησης της αποδοτικότητας

	Παραμετρικές	Μη-παραμετρικές
Ντετερμινιστικές	✓ Παραμετρικός μαθηματικός προγραμματισμός ✓ Οικονομετρική ανάλυση ντετερμινιστικού συνόρου (COLS)	✓ Data envelopment analysis (DEA) ✓ Free disposal hull (FDH)
Στοχαστικές	✓ Οικονομετρική ανάλυση στοχαστικού ορίου (SFA)	✓ Στοχαστική DEA

Ο παραμετρικός μαθηματικός προγραμματισμός βασίζεται στην εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού. Θέτει όμως ακατάλληλη τη δομή για την τεχνολογία και επίσης τα αποτελέσματά του είναι αρκετά ευαίσθητα σε ακραίες τιμές. Όσον αφορά τον τομέα του περιβάλλοντος δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα σχετικές δημοσιεύσεις. Η παραμετρική οικονομική ανάλυση, χρησιμοποιεί οικονομικές

τεχνικές και μπορεί να είναι είτε ντετερμινιστική είτε στοχαστική. Η πιο απλή μορφή μιας παραμετρικής και στοχαστικής μεθόδου είναι αυτή της απλής παλινδρόμησης με τυχαίο σφάλμα. Στην βιβλιογραφία γενικά συναντούμε την μέθοδο COLS (μέθοδος διορθωμένων ελάχιστων τετραγώνων), η οποία ακολουθεί την ντετερμινιστική προσέγγιση. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο η συνάρτηση παραγωγής αρχικά εκτιμάται χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, και έπειτα προσδιορίζεται η αποδοτικότητα. Μια πιο ευρύτερα χρησιμοποιούμενη παραμετρική μέθοδος είναι η Στοχαστική Ανάλυση (Stochastic Frontier Analysis). Η μέθοδος αυτή αξιολογεί την σχετική αποδοτικότητα (relative efficiency). Δηλαδή, την αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας σε σχέση με το στοχαστικό του όριο παραγωγής (stochastic frontier output). Οι δημιουργοί της SFA (Aigner, Lovell and Schmidt, 1997, Meeusen and van de Broeck, 1977) θεώρησαν ότι η μη αποδοτική λειτουργία μιας επιχειρησιακής μονάδας δεν οφείλεται εξολοκλήρου στο σχετικά μη αποδοτικό τρόπο χρησιμοποίησης των εισροών για την παραγωγή εκροών, αλλά και στην πιθανότητα σφάλματος στη διαδικασία προσδιορισμού του βέλτιστου παραγωγικού ορίου. Η πιθανότητα σφάλματος ενδέχεται να οφείλεται σε παράλειψη εισαγωγής κάποιας εισροής στη συνάρτηση παραγωγής, σε λάθη κατά τη διάρκεια εισαγωγής δεδομένων (εισροών και εκροών) ή σε στρογγυλοποιήσεις τιμών (Coelli et al, 2005). Η DEA, (Data Envelopment Analysis - Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων) είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος που συναντά κανείς στη βιβλιογραφία για τη μελέτη της περιβαλλοντικής επίδοσης. Είναι μια μη-παραμετρική μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού η οποία μετρά την σχετική αποδοτικότητα των μονάδων λήψης απόφασης όταν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πολλαπλές εισροές και εκροές, δημιουργώντας ένα σύνολο αποδοτικότητας. Αυτό το σύνολο δεν προκύπτει από πριν αλλά καθορίζεται από τα διαθέσιμα δεδομένα, και πιο συγκεκριμένα σχηματίζεται από γραμμικούς συνδυασμούς που ενώνουν τις βέλτιστες παρατηρήσεις, δημιουργώντας έτσι ένα κυρτό όριο πιθανότητας παραγωγής. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτικότερη παρουσίαση αυτής της μεθόδου, καθώς αποτελεί το εργαλείο της εμπειρικής μας ανάλυσης. Η μέθοδος FDH (Free Disposal Hull) διαφέρει από την DEA ως προς το ότι το σύνολο παραγωγικών δυνατοτήτων της περιλαμβάνει μόνο τα σημεία που αποτελούν τις κορυφές του συνόρου και τα εσωτερικά αυτών, χωρίς να περιλαμβάνει τις γραμμές που ενώνουν τα σημεία πάνω στο αποδοτικό όριο. Τέλος, πρόσφατα αναπτύσσεται η στοχαστική DEA, η οποία προσπαθεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα όλων των μεθόδων εκτίμησης της αποδοτικότητας, δηλαδή να



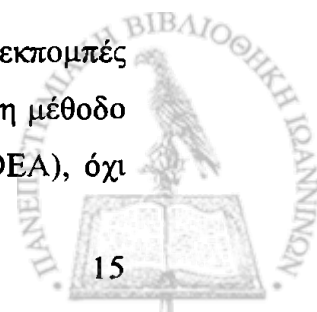
λάβει υπόψη τα τυχαία σφάλματα αλλά και να μην χρειάζεται να κάνει εξαρχής κάποια υπόθεση για τη μορφή της συνάρτησης παραγωγής. Βέβαια οι εφαρμογές της ακόμη είναι ελάχιστες, και απουσιάζουν εντελώς από τον τομέα του περιβάλλοντος.

Αν θελήσει να απαντήσει κάποιος στο ερώτημα του ποια από τις παραπάνω προσεγγίσεις είναι η καλύτερη, δεν θα μπορούσε να είναι απόλυτος στην απάντηση του γιατί η κάθε προσέγγιση έχει τα δυνατά της σημεία αλλά και τα μειονεκτήματά της. Στην περίπτωση των παραμετρικών μεθόδων, το αρνητικό σημείο έγκειται στο ότι το λάθος μπορεί να ξεκινήσει από την αρχή με τον προσδιορισμό της συνάρτησης παραγωγής, και στην συνέχεια να δοθούν εσφαλμένες εκτιμήσεις της αποδοτικότητας. Ωστόσο, το πλεονέκτημα των παραμετρικών μεθόδων είναι ότι μπορούν να λάβουν υπόψη το τυχαίο σφάλμα αφού υπάρχει η δυνατότητα επιλογής είτε της στοχαστικής είτε της ντετερμινιστικής προσέγγισης, ανάλογα με τα εργαλεία μέτρησης που διαθέτει κάποιος. Στη ντετερμινιστική προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε γραμμικός προγραμματισμός είτε οικονομετρικές μέθοδοι, ενώ στην στοχαστική χρησιμοποιούνται μόνο οικονομετρικές μέθοδοι (με εξαίρεση την στοχαστική DEA). Τέλος, οι μη-παραμετρικές μέθοδοι είναι πιο ευέλικτες κάτι που οφείλεται στο ότι το αποδοτικό σύνορο δεν προσδιορίζεται από την αρχή, αλλά προκύπτει από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

2.4 Μελέτη ανεπιθύμητων εκροών

Οι Cooper et al. (2007) στο βιβλίο τους αναφέρουν ότι σύμφωνα με την παγκόσμια περιβαλλοντική νομοθεσία, εκροές σχετικά με την διαδικασία παραγωγής, όπως απόβλητα και ατμοσφαιρικοί ρύποι αναγνωρίζονται ως ανεπιθύμητες. Συνεπώς σε κάθε τομέα παραγωγής κρίνεται απαραίτητη η εξέλιξη της τεχνολογίας σχετικά με τη μείωση των ανεπιθύμητων εκροών. Λαμβάνοντας υπόψη ένα από τα κριτήρια της DEA, δηλ. τη χρήση περισσότερων εισροών σε σχέση με τη χρήση λιγότερων εκροών, αλλά και την ύπαρξη ανεπιθύμητων εκροών, επιχειρήσεις με περισσότερες επιθυμητές εκροές και λιγότερες ανεπιθύμητες αναγνωρίζονται ως αποτελεσματικές (Cooper, Seiford and Tone, 2007).

(Η μοντελοποίηση των ανεπιθύμητων (κακών) εκροών όπως οι εκπομπές ρύπων έχει εισπράξει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον σε πρόσφατες μελέτες με τη μέθοδο της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (Data envelopment analysis – DEA), όχι

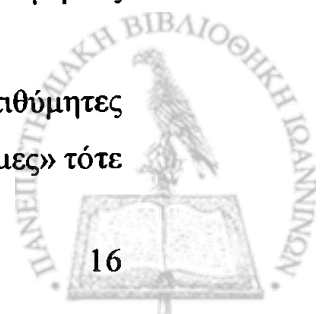


μόνο από πλευράς μέτρησης περιβαλλοντικής επίδοσης και παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και για μέτρηση της μείωσης του κόστους της ρύπανσης.)

(Στη βιβλιογραφία υπάρχουν 4 αντιπροσωπευτικά μοντέλα ορίου που ενσωματώνουν ανεπιθύμητες εκροές: Η “directional distance” συνάρτηση – (Directional Distance Function-DDF) Chung et al. 1997), η μέτρηση της «υπερβολικής συνάρτησης» (Hyperbolic model) (Färe et al. 1989), το μοντέλο Seiford and Zhu (SZ model; Seiford and Zhu 2002), και το μοντέλο «των ανεπιθύμητων εκροών σαν εισροές» (Undesirable Input - UINP) (Haliu and Veeman 2001). Στο μοντέλο DDF, οι επιχειρήσεις ακολουθούν μια προκαθορισμένη πορεία προς το σύνορο. Στο hyperbolic model, η μη αποδοτικότητα μετράται επεκτείνοντας τις επιθυμητές εκροές της επιχείρησης και εμποδίζοντας τις ανεπιθύμητες. Το μοντέλο των Seiford and Zhu (2002) απεικονίζει μια διαφορετική προσέγγιση για τις ανεπιθύμητες εκροές. Το μοντέλο αυτό αντικαθιστά τις μεταβλητές των ανεπιθύμητων εκροών με βοηθητικές μεταβλητές εκροών. Τέλος, το μοντέλο «των ανεπιθύμητων εκροών σαν εισροές» (Undesirable Input - UINP) χρησιμοποιεί τις ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές, επειδή οι επιχειρήσεις προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις εισροές τους. Το μοντέλο UINP είναι λοιπόν το ίδιο με αυτό της παραδοσιακής DEA. Η τιμή αποδοτικότητας αναπαριστά το πόσο η επιχείρηση μπορεί να αυξήσει τις επιθυμητές εκροές της, δεδομένων των εισροών και των ανεπιθύμητων εκροών. Για το λόγο αυτό, το μοντέλο αυτό έχει υποστεί αρκετές κριτικές για τη μη ακριβή αναπαράσταση της παραγωγικής διαδικασίας, επειδή οι ανεπιθύμητες εκροές μοντελοποιούνται σαν εισροές (Seiford and Zhu 2002).)

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται *δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις* για τη μοντελοποίηση της δομής της περιβαλλοντικής τεχνολογίας με το βλέμμα στραμμένο στην οικολογική-περιβαλλοντική επίδοση. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί τις ανεπιθύμητες εκροές στην υφιστάμενη μορφή τους, με την υπόθεση ότι είναι «ασθενώς διαθέσιμες» (weakly disposable - WD), και η δεύτερη θεωρώντας τις σε διάφορες άλλες μορφές που έχουν υποστεί μετατροπή, με την υπόθεση ότι είναι «ισχυρά διαθέσιμες» (strongly disposable - SD). Η επιλογή της προσέγγισης ωστόσο απαιτεί μια ευδιάκριτη χρήση των ανεπιθύμητων εκροών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιφέρει ένα επίσης ευδιάκριτο σύνολο από εκτιμήσεις περιβαλλοντικής επίδοσης.

Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας τις ανεπιθύμητες εκροές στην αρχική τους μορφή και υποθέτοντας ότι είναι «ασθενώς διαθέσιμες» τότε



μόνο από πλευράς μέτρησης περιβαλλοντικής επίδοσης και παραγωγικής διαδικασίας, αλλά και για μέτρηση της μείωσης του κόστους της ρύπανσης.)

(Στη βιβλιογραφία υπάρχουν 4 αντιπροσωπευτικά μοντέλα ορίου που ενσωματώνουν ανεπιθύμητες εκροές: Η “directional distance” συνάρτηση – (Directional Distance Function-DDF) Chung et al. 1997), η μέτρηση της «υπερβολικής συνάρτησης» (Hyperbolic model) (Färe et al. 1989), το μοντέλο Seiford and Zhu (SZ model; Seiford and Zhu 2002), και το μοντέλο «των ανεπιθύμητων εκροών σαν εισροές» (Undesirable Input - UINP) (Hailu and Veeman 2001). Στο μοντέλο DDF, οι επιχειρήσεις ακολουθούν μια προκαθορισμένη πορεία προς το σύνορο. Στο hyperbolic model, η μη αποδοτικότητα μετράται επεκτείνοντας τις επιθυμητές εκροές της επιχείρησης και εμποδίζοντας τις ανεπιθύμητες. Το μοντέλο των Seiford and Zhu (2002) απεικονίζει μια διαφορετική προσέγγιση για τις ανεπιθύμητες εκροές. Το μοντέλο αυτό αντικαθιστά τις μεταβλητές των ανεπιθύμητων εκροών με βοηθητικές μεταβλητές εκροών. Τέλος, το μοντέλο «των ανεπιθύμητων εκροών σαν εισροές» (Undesirable Input - UINP) χρησιμοποιεί τις ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές, επειδή οι επιχειρήσεις προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν τις εισροές τους. Το μοντέλο UINP είναι λοιπόν το ίδιο με αυτό της παραδοσιακής DEA. Η τιμή αποδοτικότητας αναπαριστά το πόσο η επιχείρηση μπορεί να αυξήσει τις επιθυμητές εκροές της, δεδομένων των εισροών και των ανεπιθύμητων εκροών. Για το λόγο αυτό, το μοντέλο αυτό έχει υποστεί αρκετές κριτικές για τη μη ακριβή αναπαράσταση της παραγωγικής διαδικασίας, επειδή οι ανεπιθύμητες εκροές μοντελοποιούνται σαν εισροές (Seiford and Zhu 2002).)

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται *δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις* για τη μοντελοποίηση της δομής της περιβαλλοντικής τεχνολογίας με το βλέμμα στραμμένο στην οικολογική-περιβαλλοντική επίδοση. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί τις ανεπιθύμητες εκροές στην υφιστάμενη μορφή τους, με την υπόθεση ότι είναι «ασθενώς διαθέσιμες» (weakly disposable - WD), και η δεύτερη θεωρώντας τις σε διάφορες άλλες μορφές που έχουν υποστεί μετατροπή, με την υπόθεση ότι είναι «ισχυρά διαθέσιμες» (strongly disposable - SD). Η επιλογή της προσέγγισης ωστόσο απαιτεί μια ευδιάκριτη χρήση των ανεπιθύμητων εκροών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιφέρει ένα επίσης ευδιάκριτο σύνολο από εκτιμήσεις περιβαλλοντικής επίδοσης.

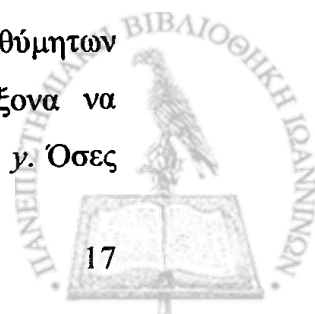
Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, χρησιμοποιώντας τις ανεπιθύμητες εκροές στην αρχική τους μορφή και υποθέτοντας ότι είναι «ασθενώς διαθέσιμες» τότε

συμβαδίζει κανείς με τους νόμους της φυσικής και με τα αξιώματα της θεωρίας της παραγωγής. Η «ασθενής διαθεσιμότητα» σημαίνει ότι οι εκπομπές ρύπων δεν μπορούν να μειωθούν χωρίς κόστος και γίνεται μία πρωταρχική υπόθεση για τις επιχειρήσεις που παράγουν σύμφωνα την περιβαλλοντική νομοθεσία και η εκπομπή ρύπων γίνεται μια διαδικασία με κόστος. Στην προσέγγιση της «ασθενούς διαθεσιμότητας», μια μείωση των ανεπιθύμητων εκροών θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των επιθυμητών. Αντίθετα, στην προσέγγιση της «ισχυρής διαθεσιμότητας» οι εισροές και εκροές μπορούν να αλλάξουν μονομερώς χωρίς να επηρεάζει η μία την άλλη. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση οι Färe και Grosskopf μέτρησαν την περιβαλλοντική επίδοση στο βαθμό εκείνο όπου, δεδομένων των εισροών, οι επιθυμητές εκροές μπορούν να αυξηθούν και οι ανεπιθύμητες μπορούν να μειωθούν. Παρόλα αυτά, δεδομένης της τεχνολογικής δομής, η μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί αν : 1) με δεδομένες εισροές και ανεπιθύμητες εκροές, μόνο οι επιθυμητές εκροές μπορούν να αυξηθούν, 2) με δεδομένες εισροές και επιθυμητές εκροές, μόνο οι ανεπιθύμητες εκροές μπορούν να μειωθούν και 3) με δεδομένες τις επιθυμητές εκροές, και οι εισροές και οι ανεπιθύμητες εκροές μπορούν να μειωθούν.

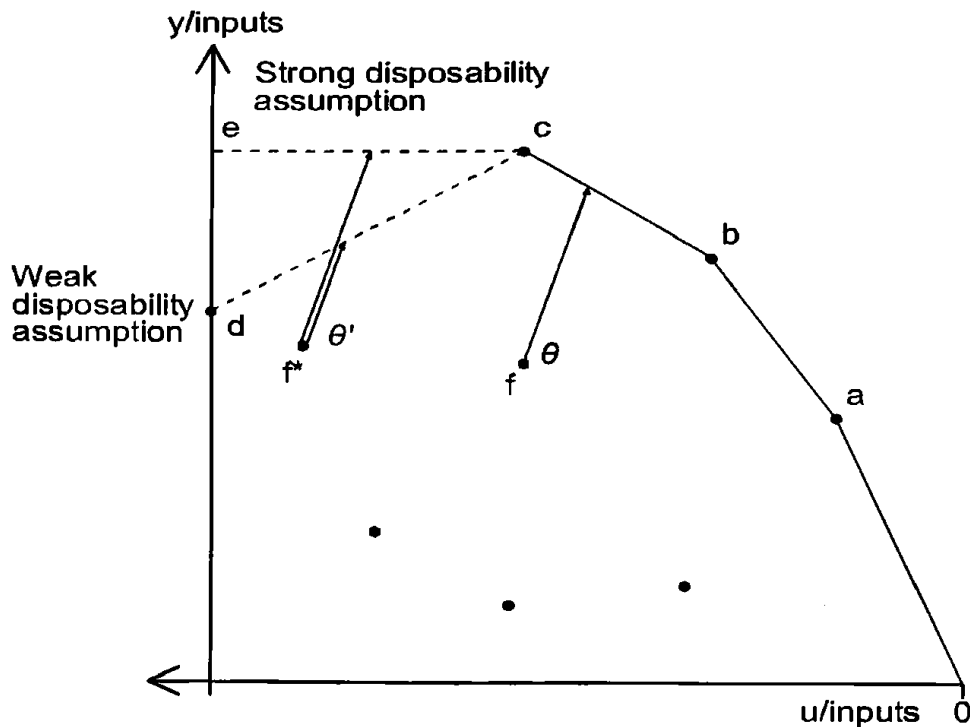
Η δεύτερη προσέγγιση που υιοθετήθηκε από τη βιβλιογραφία χρησιμοποιεί τις ανεπιθύμητες εκροές με διάφορες μορφές που βασίζονται στην μετατροπή των δεδομένων. Υπάρχουν δύο τύποι μετατροπής δεδομένων. Στον πρώτο τύπο, οι ανεπιθύμητες εκροές εμφανίζονται με τη μορφή των αντίστροφων. Αυτός ο τύπος προτάθηκε από τον Koopmans (1951) και τους Golany και Roll (1989), τον Lovell (1995), τους Athanassopoulos and Thanassoulis (1995) και Sheiford and Zhu (2002). Σε αυτόν τον τύπο, η περιβαλλοντική επίδοση μπορεί να μετρηθεί όταν μαζί επιθυμητές εκροές και εκροές που έχουν μετατραπεί μπορούν να αυξηθούν. Στο δεύτερο τύπο της μετατροπής, αντίθετα, οι ανεπιθύμητες εκροές βρίσκονται στη μορφή των additive inverses (πρόσθετων μετατροπών), και μετά με το κατάλληλο διάνυσμα μετατροπής που έχει προστεθεί σε αυτήν την αντιστροφή, μετατρέπονται όλες σε θετικές.

Στα μοντέλα UINP και SZ, υποθέτουμε «ισχυρή διαθεσιμότητα» των ανεπιθύμητων εκροών. Στα άλλα δύο μοντέλα έχουμε «ασθενή διαθεσιμότητα».

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται οι δύο προσεγγίσεις των ανεπιθύμητων εκροών. Παρουσιάζεται ένα σύνολο παραγωγής, με τον οριζόντιο άξονα να αναπαριστά μια ανεπιθύμητη εκροή u και τον κάθετο μια επιθυμητή εκροή y . Όσες



επιχειρήσεις είναι αποδοτικές βρίσκονται στο πάνω και δεξιό μέρος του γραφήματος, όπου παράγονται περισσότερες επιθυμητές εκροές και λιγότερες ανεπιθύμητες. Οι επιχειρήσεις που βρίσκονται στο πάνω στο όριο είναι αποδοτικές. Το όριο εάν οι ανεπιθύμητες εκροές είναι «ισχυρά διαθέσιμες» είναι το “0abce” ενώ αν είναι «ασθενώς διαθέσιμες» είναι το “0abcd”. Το τμήμα ce, κάτω από την υπόθεση της ισχυρής διαθεσιμότητας, δεν θεωρείται πλήρως αποδοτικό, αφού σημεία πάνω στο ce παράγουν όσες επιθυμητές εκροές παράγονται και στο σημείο c, αλλά και περισσότερες ανεπιθύμητες εκροές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, το σύνολο παραγωγής για την προσέγγιση των «ισχυρά διαθέσιμων» εκροών να είναι μεγαλύτερο από το σύνολο παραγωγής κάτω από την υπόθεση των «ασθενώς διαθέσιμων» εκροών.



2.5 Σχετικές μελέτες

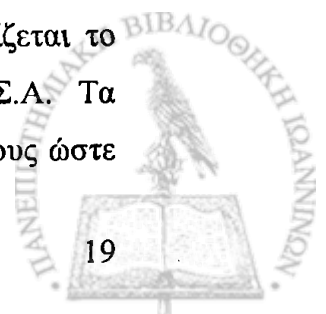
2.5.1 Εισαγωγή

Η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδοσης σε διαφορετικές περιοχές και τομείς απέδειξε ότι έχει ισχυρές επιπτώσεις σε πρακτικό επίπεδο. Η διεργασία αυτή αποτελεί ένα αντικειμενικό σημείο αναφοράς για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Παρόλα αυτά, οι σημερινές μέθοδοι αξιολόγησης της περιβαλλοντικής επίδοσης βασίζονται κυρίως στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών δεικτών εισροών και των εκροών. Ορισμένες μέθοδοι αξιολόγησης (όπως η DEA, η SFA) προτείνονται για μακροοικονομικό ή μικροοικονομικό επίπεδο.

Μέχρι τώρα, υπάρχουν αρκετές τεχνικές ποσοτικής ανάλυσης της περιβαλλοντικής επίδοσης, ανάμεσα στις οποίες η ανάλυση της παραγωγικής αποδοτικότητας έχει τραβήξει το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Η DEA είναι μια αποτελεσματική μη-παραμετρική μέθοδος για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας μονάδων λήψης απόφασης και χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των μελετών γιατί έχει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Ορισμένες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω και εμφανίζονται και σε συνοπτικό πίνακα για την ευκολότερη σύγκριση μεταξύ εισροών και εκροών που χρησιμοποιούνται.

2.5.2 Εφαρμογή της DEA για μέτρηση Περιβαλλοντικής Επίδοσης

Οι **Zaim and Taskin** (2000) χρησιμοποιώντας τη μη-παραμετρική μέθοδο DEA δημιούργησαν ένα δείκτη περιβαλλοντικής επίδοσης για χώρες του Ο.Ο.Σ.Α., ο οποίος επιτρέπει συγκρίσεις για την περίοδο 1980-1990. Σε αντίθεση με τις μεθόδους που μετρούν την περιβαλλοντική επίδοση με τα επίπεδα εκπομπής των ρύπων, ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη βασίζεται στην προσέγγιση της παραγωγής μεταξύ των χαρακτηριστικών διάθεσης των περιβαλλοντικών επιθυμητών ή μη εκροών. Με αυτόν τον τρόπο, η αξία από την απώλεια μιας επιθυμητής εκροής σχετίζεται με την ασθενή διάθεση των ρύπων σε κάθε χώρα και υπολογίζεται το μερίδιο των ρύπων στη συνολική απώλεια εκροών για τις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι , καθώς μετατρέπεται η διαδικασία παραγωγής τους ώστε



να ληφθούν υπόψη περιβαλλοντικές θεωρήσεις, η Ιαπωνία και η Γαλλία είναι οι 2 χώρες με το μεγαλύτερο φορτίο. Επιπλέον, ο αντίκτυπος μεταξύ των αναλογικών μειώσεων του διοξειδίου του άνθρακα για τις επιθυμητές εκροές κάθε χώρας υπολογίστηκε για το 1990 και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι εφικτή μία μείωση της τάξης του 10% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για μόλις εννέα από τις 25 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. ενώ μία μείωση της τάξης του 1% είναι εφικτή για 16 χώρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι εάν η διαθεσιμότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα περιοριζόταν αρκετά σαν αποτέλεσμα της νομοθεσίας, η συνολική τιμή της απώλειας των εκροών στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. σαν σύνολο θα έφτανε το 3.7%, 4.8% και 3.5% του συνολικού ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος των χωρών αυτών για το 1980, 1985 και 1990, αντίστοιχα.

Οι **Zofio and Prieto (2001)** χρησιμοποίησαν τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης (DEA) και με ένα τροποποιημένο μοντέλο μετασχηματισμού εξέτασαν την περιβαλλοντική επίδοση σε 14 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για τα έτη 1990 και 1995. Με αυτόν τον τρόπο ξεπέρασαν τα προβλήματα από τη γραμμική προσέγγιση. Εφαρμόζοντας την υπερβολική προσέγγιση, αξιολογούν την περιβαλλοντική επίδοση ενός συνόλου χωρών αξιολογώντας την δυνατότητα τους να παράγουν με μεγαλύτερη αύξηση στις επιθυμητές εκροές και μείωση στις ανεπιθύμητες.

Οι **Färe, Grosskopf and Hernandez-Sancho (2004)** χρησιμοποίησαν ένα δείκτη περιβαλλοντικής επίδοσης, ο οποίος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης (Data envelopment analysis – DEA). Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε σε ένα δείγμα χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. για το 1990. Οι χώρες που βρίσκονται κάτω από το μέσο όρο της περιβαλλοντικής επίδοσης είναι σχετικά πιο επιρρεπείς στη χρήση πετρελαίου σε σχέση με τις εκροές. Εκείνες με χαμηλή περιβαλλοντική επίδοση είναι εκείνες που είναι σε άμεση εξάρτηση με το πετρέλαιο – με τις Ηνωμένες Πολιτείες σε αυτήν την κατηγορία. Τέλος οι χώρες με υψηλή περιβαλλοντική επίδοση – Γαλλία και Σουηδία – έχουν τη μεγαλύτερη εξάρτηση από την πυρηνική ενέργεια.

Οι **Zhou, Ang and Poh (2006)**, δημιούργησαν με τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης (Data envelopment analysis – DEA), 2 «χαλαρές» μεταβλητές. Από τις 2 χαλαρές μετρήσεις, η μια είναι ένας σύνθετος δείκτης με υψηλή-μεγάλη διακριτική δύναμη για τη μοντελοποίηση οικονομικό-περιβαλλοντικής επίδοσης και ο άλλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν οι επιπτώσεις στην περιβαλλοντική νομοθεσία. Το δείγμα που επιλέχθηκε ήταν 30 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για την περίοδο

1998-2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το Λουξεμβούργο βρίσκεται πρώτο στον πρώτο δείκτη (SBEI₁). Παρόλα αυτά για την τριετία 1998-2000 καμία από τις χώρες δεν κατόρθωσε να πετύχει βαθμό επίδοσης 1, γεγονός που αποδεικνύει ότι καμία από τις χώρες δεν ήταν αποδοτική σε οικονομική-περιβαλλοντική επίδοση σε αυτήν την περίοδο. Οι λόγοι για την οικονομική αναποτελεσματικότητα μπορούν να ταυτοποιηθούν και να εκτιμηθούν από τις χαλαρές μεταβλητές.

Οι **Zhou, Ang and Poh (2007)**, προσπάθησαν να μην ακολουθήσουν τις προηγούμενες μελέτες που χρησιμοποιούσαν το κλασσικό μοντέλο DEA με radial (αναλογικές) μετρήσεις. Για το λόγο αυτό χρησιμοποίησαν μια non-radial προσέγγιση για πολλαπλές περιβαλλοντικές συγκριτικές αξιολογήσεις καθώς έναν non-radial δείκτη περιβαλλοντικής επίδοσης Malmquist για να δείξουν τις αλλαγές με το χρόνο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν 26 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για την περίοδο 1995-1997. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιβαλλοντική επίδοση στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. σαν σύνολο, έχει εξελιχθεί από το 1995-1997.

Οι **Zhou, Ang and Poh (2008)**, χρησιμοποίησαν τη μέθοδο DEA, οδηγώντας την έρευνα ένα βήμα πιο πέρα. Εξέτασαν την περιβαλλοντική επίδοση 8 ομάδων χωρών-περιοχών παγκοσμίως σε μη-αύξουσες αποδόσεις κλίμακας και σε μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας, σε αντίθεση με τις περισσότερες που εκτιμούν την περιβαλλοντική επίδοση σε σταθερές αποδόσεις κλίμακας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέτρηση είναι πιθανό να ποικίλει ανάλογα με τις διαφορετικές αποδόσεις κλίμακας που εξετάζονται.

Οι **Zhou, Ang and Poh (2008)**, μέσα στο πλαίσιο της παράλληλης παραγωγής επιθυμητών και ανεπιθύμητων εκροών, προσπάθησαν με το μέθοδο DEA να μετρήσουν την περιβαλλοντική επίδοση στην ενέργεια. Επιπλέον στο μοντέλο εμφανίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας σαν διαφορετικές εισροές με σκοπό οι αλλαγές στη μορφή της ενέργειας να υπολογιστούν στην περιβαλλοντική επίδοση. Τα μοντέλα που παρουσιάζονται για να μετρηθεί η περιβαλλοντική επίδοση 21 χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. για την περίοδο 1997-2001 αποτελούνται από 3 διαφορετικούς δείκτες, και έδειξαν ότι οι χώρες αυτές σαν σύνολο έδειξαν μικρή αλλαγή περιβαλλοντικής επίδοσης με την πάροδο του χρόνου.

Οι **Camarero, Picazo-Tadeo and Tamarit (2008)**, εξέτασαν την σύγκλιση της περιβαλλοντικής επίδοσης για ένα δείγμα από χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για την περίοδο 1971-2002. Αρχικά χρησιμοποίησαν την μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης (Data Envelopment Analysis) για να υπολογίσουν 2 δείκτες περιβαλλοντικής



επίδοσης (EPIs) στο πλαίσιο της παραγωγής. Έπειτα με την τεχνική SURE εξετάστηκε η σύγκλιση των χωρών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν 22 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. και καλύπτουν την περίοδο 1971-2002. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χώρες σαν σύνολο ακολουθούν πορεία σύγκλισης, έχοντας σαν χώρα ορόσημο την Ελβετία.

Οι **Kumar and Khanna** (2009), μέτρησαν την περιβαλλοντική επίδοση και την περιβαλλοντική παραγωγικότητα σε 38 χώρες για την περίοδο 1971-1992 και ανέλυσαν τις διαφορές σε αυτές τις χώρες. Η μελέτη έδειξε ότι ορισμένοι μακροοικονομικοί παράγοντες θα μπορούσαν να εξηγήσουν αυτές τις διαφορές, όπως το επίπεδο εισοδήματος και σε ποια βαθμό είναι ανοικτή μια οικονομία σε αυτές τις χώρες. Οι μέσοι δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης και παραγωγικότητας έδειξαν σταθερότητα για την περίοδο 1971-1992. Σε ορισμένες χώρες μία αύξηση στα επίπεδα εισοδήματος αρχικά οδηγούσε σε μια αύξηση της μέσης περιβαλλοντικής επίδοσης αλλά έπειτα σε μια μείωση. Παράλληλα ο βαθμός του πόσο ανοικτή είναι μια οικονομία έδειξε ότι έχει σημαντικό αντίκτυπο στην περιβαλλοντική επίδοση των χωρών.

Οι **Sahoo, Luptacik and Mahlberg** (2011), χρησιμοποίησαν τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης DEA ώστε να προσεγγίσουν τις ανεπιθύμητες εκροές από δύο διαφορετικές σκοπιές. Στη μία προσέγγιση τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην αρχική τους μορφή, ενώ στη δεύτερη σε άλλες μορφές που βασίζονταν στην μετατροπή των δεδομένων. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν κάποια προτιμώμενη επιλογή για την μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης. Όπως επίσης ότι η διαφοροποίηση των μοντέλων της DEA επέφερε διαφορετικές μετρήσεις περιβαλλοντικής επίδοσης. Το δείγμα χωρών που χρησιμοποιήθηκαν είναι 22 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για τα έτη 1995 και 2004.

Στον πίνακα που ακολουθεί, απεικονίζονται συνοπτικά οι παραπάνω μελέτες καθώς και οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας: Ανασκόπηση διεθνών μελετών με DEA

Μελέτες	Περίοδος Ανάλυσης	Δείγμα μονάδων	Εισροές	Εκροές
Zaim and Taskin (2000)	1980-1990	25 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1)Συνολικό εργατικό δυναμικό 2) Συνολικό απόθεμα κεφαλαίου	Πραγματικό ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Zofio and Prieto (2001)	1990,1995	14 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1) Συνολικό καθαρό απόθεμα κεφαλαίου 2) Εργασία	Αξία εργοστασιακής παραγωγής Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Färe, Grosskopf, Hernandez-Sancho (2004)	1990	17 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1)Κατανάλωση ενέργειας 2) Απόθεμα κεφαλαίου 3) Εργασία	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητες: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂) Οξείδιο του αζώτου (NOX) Οξείδιο του θείου (SOX)
Zhou, Ang, Poh (2006)	1998-2002	30 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1) Συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή 2) Πληθυσμός	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Zhou, Ang, Poh (2007)	1995-1997	26 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1) Εργατικό δυναμικό 2)Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητες: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂) Οξείδιο του αζώτου (NOX) Οξείδιο του θείου (SOX) Μονοδείξιο του άνθρακα (CO)

Zhou, Ang, Poh (2008)	2002	8 περιοχές του κόσμου	Συνολική κατανάλωση ενέργειας	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Zhou, Ang (2008)	1997-2001	21 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	Μη ενεργειακές εισροές: 1) Απόθεμα κεφαλαίου 2) Εργατικό δυναμικό Ενεργειακές εισροές: 1) Κάρβουνο 2) Πετρέλαιο 3) Αέριο 4) Άλλη μορφή ενέργειας	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Camarero, Picazo-Tadeo, Tamarit (2008)	1971-2002	22 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1) Κεφάλαιο 2) Εργασία	Πραγματικό ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Kumar, Khanna (2009)	1971-1992	38 χώρες	1) Εργατικό δυναμικό 2) Απόθεμα κεφαλαίου 3) Κατανάλωση ενέργειας	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)
Sahoo, Luptacik, Mahlberg (2011)	1995,2004	22 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α.	1) Εργασία 2) Κεφάλαιο	Ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π.) Ανεπιθύμητη: Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂) Μεθάνιο (CH ₄) Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O) Υδροφθοράνθρακες (HFCs) Υπερφθοράνθρακες (PFCs) Εξαθφοριούχο θείο (SF ₆)

2.5.3 Μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης με άλλες τεχνικές μεθόδους

Παρόλο που στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η μη-παραμετρική μέθοδος της DEA θα αναφερθεί ακόμα μια σημαντική μελέτη που αφορά την περιβαλλοντική επίδοση.

Ο Kortelain (2008), χρησιμοποίησε μία δυναμική περιβαλλοντική ανάλυση επίδοσης από μία στατικό επίπεδο σε ένα δυναμικό. Για το σκοπό αυτό κατασκεύασε ένα δείκτη περιβαλλοντικής επίδοσης (EPI) εφαρμόζοντας μία τεχνική ορίου αποδοτικότητας και έναν δείκτη Malmquist. Η δυναμική ανάλυση εφαρμόστηκε σε 20 κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατά το διάστημα 1990-2003. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι αλλαγές στη σχετική περιβαλλοντική επίδοση ήταν ελάχιστες για τις περισσότερες χώρες για το εξεταζόμενο διάστημα, ενώ η τεχνική πρόοδος περιβαλλοντικά ήταν ο παράγοντας κλειδί πίσω από τη συνολική βελτίωση της συνολικής περιβαλλοντικής επίδοσης.

3. Η Μεθοδολογία της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data envelopment analysis – DEA)

3.1 Εισαγωγικές έννοιες

Η DEA αποτελεί μια μη-παραμετρική μέθοδο η οποία βασίζεται στο γραμμικό προγραμματισμό. Χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση αποδοτικότητας ενός συνόλου όμοιων παραγωγικών μονάδων, αποκαλούμενων ως μονάδων λήψης απόφασης (Decision Making Units – DMUs). Αρχικά προτάθηκε από τον Farrell το 1957 ως ένα σύστημα γραμμικών εξισώσεων και επαναδιατυπώθηκε ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού από τους Charnes, Cooper and Rhodes, το 1978. Με την DEA είναι δυνατή η σύγκριση κάθε μονάδας μόνο με τις μονάδες «βέλτιστης πρακτικής» με σκοπό την εκτίμηση της αποδοτικής λειτουργίας κάθε μιας από αυτές. Έχει εφαρμοστεί ευρέως για την αποτίμηση αποδοτικότητας διαφόρων ειδών οργανισμών, και έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μη-παραμετρική τεχνική.

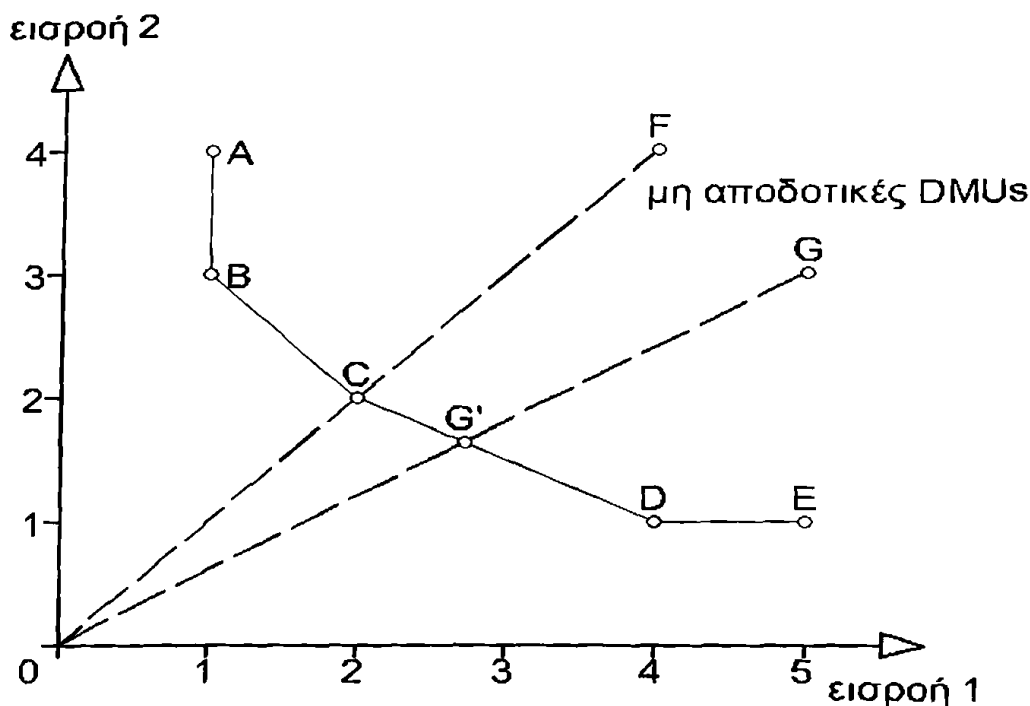
Η DEA εκτιμά τη **σχετική** απόδοση των μονάδων, αξιολογώντας την απόσταση της υπό εκτίμηση μονάδας από το ανώτατο δυνατό όριο της παραγωγής. Αποτελεί μέθοδο που συγκρίνει κάθε DMU μόνο με την άριστη DMU του δείγματος. Η θεμελιώδης αρχή στην οποία στηρίζεται η μεθοδολογία αυτή είναι ότι εάν μια DMU(A) είναι σε θέση να παράγει $X(A)$ μονάδες εισροής με $Y(A)$ μονάδες εκροής, τότε οι υπόλοιπες DMU, θα πρέπει να είναι σε θέση να κάνουν το ίδιο, εάν επιθυμούν να λειτουργήσουν αποδοτικά. Ομοίως εάν μια DMU(B) είναι σε θέση να παράγει $Y(B)$ μονάδες εκροής με $X(B)$ μονάδες εισροής, τότε οι υπόλοιπες DMU, επίσης θα πρέπει να είναι σε θέση να κάνουν το ίδιο. Οι DMU A, B καθώς και άλλες, μπορούν να συνδυαστούν για να διαμορφώσουν μια σύνθετη άριστη DMU με σύνθετες εισροές και σύνθετες εκροές.

Η εφαρμογή της DEA σε ομοιογενή ομάδα μονάδων προϋποθέτει τον προσδιορισμό των εισροών και εκροών που περιγράφουν κατά δυνατόν καλύτερα την εκάστοτε παραγωγική διαδικασία. Δηλαδή απαιτεί τον προσδιορισμό εκείνων των εισροών που εκφράζουν τους χρησιμοποιούμενους πόρους, και εκείνων των εκροών που εκφράζουν το παραγόμενο προϊόν. Αρχικά η μέθοδος της DEA χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση μη κερδοσκοπικών οργανισμών, αλλά γρήγορα οι ερευνητές την αναγνώρισαν ως άριστη και εύκολα χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία της

επιχειρησιακής έρευνας για εκτίμηση της απόδοσης, αλλά και στη συγκριτική αξιολόγηση διαφόρων οργανισμών ή μονάδων. Επειδή απαιτεί τον ορισμό ελάχιστων υποθέσεων κατά την εφαρμογή της, παρέχει απεριόριστες δυνατότητες χρήσης σε περιπτώσεις όπου λόγω της σύνθετης φύσης των σχέσεων μεταξύ των πολλαπλών εισροών και εκροών των υπό μελέτη μονάδων, δυσχεραίνεται η εκτίμηση της απόδοσης με άλλες οικονομετρικές ή στατιστικές μεθόδους. Η απουσία της όποιας ανάγκης διατύπωσης πολυάριθμων *a priori* υποθέσεων που συνοδεύουν άλλες προσεγγίσεις (για παράδειγμα στην ανάλυση παλινδρόμησης), οδήγησαν στην χρήση της σε διάφορες μελέτες εκτίμησης του βέλτιστου δυνατού ορίου απόδοσης (*efficient frontier*) τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Λόγω αυτής της δυνατότητας, η DEA αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική στον εντοπισμό σχέσεων μεταξύ διαφόρων μεγεθών π.χ. οικονομικών μεγεθών, οι οποίες είναι αδύνατον να διαπιστωθούν από άλλες γνωστές μεθοδολογίες. Χαρακτηριστικά με την DEA είναι δυνατόν να εκτιμηθεί και να μελετηθεί η έννοια της αποδοτικότητας και επίσης η έννοια της περισσότερο αποδοτικής μονάδας DMU σε σχέση με μια άλλη μονάδα.

Το Διάγραμμα 1 αποτελεί ένα παράδειγμα με επτά DMUs οι οποίες παράγουν το ίδιο επίπεδο εκροής χρησιμοποιώντας δύο εισροές. Για κάθε μια από τις DMUs υπολογίζεται το πηλίκο του σταθμισμένου αθροίσματος των εκροών προς το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών, το οποίο ορίζεται ως τεχνική αποδοτικότητα. Ζητούμενο της κάθε DMU είναι να μεγιστοποιήσει αυτό το πηλίκο. Οι τιμές που παίρνει η τεχνική αποδοτικότητα ανήκουν στο σύνολο από μηδέν μέχρι και ένα. Οι 100% αποδοτικές μονάδες A, B, C, D και E βρίσκονται επί του συνόρου αποδοτικότητας και θεωρούνται ως οι πιο αποδοτικές. Το σύνολο περιβάλλει τις δύο μη-αποδοτικές μονάδες F και G, οι οποίες για να χαρακτηριστούν αποδοτικές θα πρέπει να μειώσουν τις ποσότητες των εισροών τους για να προσεγγίσουν τα σημεία C και G', αντίστοιχα. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, η DEA δίνει μια σχετική έννοια της αποδοτικότητας. Και αυτό διότι η αποδοτικότητα της κάθε μονάδας (DMU) αξιολογείται σχετικά με την αποδοτικότητα άλλων υπαρκτών μονάδων ή εναλλακτικά, κυρτών συνδυασμών των υφιστάμενων μονάδων.

Διάγραμμα 1: Το αποδοτικό όριο παραγωγής



Πηγή: Pehnelt, 2010

Η παραπάνω έννοια του σχετικού, και ιδιαίτερα της σχετικής αποδοτικότητας περιγράφεται από τον ακόλουθο ορισμό: *Μια DMU εκτιμάται ως πλήρως 100% αποδοτική με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία εάν και μόνο εάν οι αποδόσεις των άλλων DMUs δεν δείχνουν ότι μερικές από τις εισροές ή εκροές της μπορούν να βελτιωθούν χωρίς την παράλληλη επιδείνωση κάποιων από τις άλλες εισροές ή εκροές της εν λόγω μονάδας.* (Cooper, Seiford, Zhu, 2004:3)

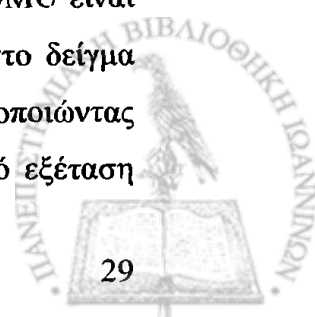
Ένα από τα δυνατά σημεία της DEA είναι ότι για κάθε μη-αποδοτική DMU ορίζει ένα σετ αναφοράς (reference set), ή ομάδα ομότιμων μονάδων (peer groups), που αποτελείται από αποδοτικές DMUs οι οποίες είναι οι πιο άμεσα συγκρίσιμες με την εξεταζόμενη μη-αποδοτική μονάδα, με την έννοια ότι έχουν παρόμοιο συνδυασμό συντελεστών βαρύτητας (weights) ή ότι έχουν ένα παρόμοιο μίγμα εισροών-εκροών. Οι μονάδες του reference set αποτελούν παραδείγματα «καλής πρακτικής» για τις μη-αποδοτικές και κατά κάποιο τρόπο θέτουν τους στόχους για βελτίωση. Ωστόσο αυτές δεν συμβάλλουν το ίδιο στη δημιουργία του reference set, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι επηρεάζουν με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας τις αποφάσεις της μη-αποδοτικής μονάδας για βελτίωση. Γενικά οι DMUs επιλέγουν μεγαλύτερα weights για τις εισροές που χρησιμοποιούν λιγότερο και για τις εκροές που παράγουν περισσότερο.

Ερευνητές όλων των γνωστικών πεδίων αναγνώρισαν την DEA ως εξαιρετική τεχνική της επιχειρησιακής έρευνας, ενώ ο εμπειρικός προσανατολισμός και η ελαχιστοποίηση των α priori υποθέσεων έχουν οδηγήσει στην ευρεία χρησιμοποίηση της σε διάφορες μελέτες εκτίμησης της αποδοτικότητας στον κερδοσκοπικό και μη κερδοσκοπικό τομέα, στο δημόσιο και ιδιωτικό τομέα. Μια ανασκόπηση στην βιβλιογραφία δείχνει ότι έχει εφαρμοστεί σε τράπεζες, στον τομέα της υγείας (Hollingsworth 2003), στον τομέα της εκπαίδευσης (Afonso and Aubyn, 2004), σε ασφαλιστικές εταιρείες, σε φαρμακεία, σε υπηρεσίες αεροδρομίων, και σε δικαστήρια. Κοινό χαρακτηριστικό των παραπάνω εφαρμογών είναι αφενός η χρήση πολλαπλού αριθμού εισροών (πόρων) για την παραγωγή πολλαπλού αριθμού εκροών (προϊόντων) και αφετέρου η σημαντικότητα της αποδοτικότητας χρήσης των εισροών. Η μέθοδος αυτή δεν προϋποθέτει συγκεκριμένη μορφή της συνάρτησης παραγωγής και αξιολογεί την απόδοση των μονάδων μόνο με βάση τις σχέσεις εισροών-εκροών, που παρατηρούνται στις υπό εξέταση μονάδες.

Η DEA όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου αρχικά αναπτύχθηκε από τους Charnes, Cooper and Rhodes (1978) υπό την υπόθεση σταθερών αποδόσεων κλίμακας (constant returns to scale-CRS), και έπειτα επεκτάθηκε από τους Banker, Charnes & Cooper (1984) υποθέτοντας μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (variable returns to scale-VRS). Έτσι σήμερα έχουμε τα δύο βασικά μοντέλα της DEA τα οποία είναι το μοντέλο CCR και το μοντέλο BCC. Στη συνέχεια ακολουθεί η μαθηματική καθώς και διαγραμματική αποτύπωση των μοντέλων αυτών.

3.2. Το πρότυπο CCR (Charnes, Cooper and Rhodes, 1978)

Οι Charnes, Cooper and Rhodes (1978), βασιζόμενοι στην υπόθεση των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (όπου μια μεταβολή της εισροής x κατά ένα ποσοστό μεταβάλλει την εκροή κατά το ίδιο ποσοστό), πρότειναν ένα μέτρο αποδοτικότητας, το οποίο προκύπτει ως το μέγιστο του λόγου των σταθμισμένων εκροών προς τις σταθμισμένες εισροές, υπό την προϋπόθεση ότι ο λόγος αυτός για κάθε DMU είναι μικρότερος ή ίσος με τη μονάδα. Υποθέτοντας ότι υπάρχουν n DMUs στο δείγμα παρατηρήσεων, όπου η κάθε μια παράγει s διαφορετικά προϊόντα, χρησιμοποιώντας m διαφορετικές εισροές, τότε ο βαθμός σχετικής αποδοτικότητας της υπό εξέταση



DMU (h_0) σε σχέση με τις άλλες μονάδες εκτιμάται με την εφαρμογή του ακόλουθου μοντέλου (CCR), ως εξής:

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

Μοντέλο 3.1: *Input Orientation model*

$$\text{Subject to } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \text{ για κάθε } j$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon$$

όπου:

h_0 : η σχετική αποδοτικότητα της DMU

o = η μονάδα που αξιολογείται στο σύνολο των $j=1, \dots, n$ μονάδων

j = αριθμός των μονάδων $j=1, \dots, n$

r = ο αριθμός των εκροών $r=1, \dots, s$

i = ο αριθμός των εισροών $i=1, \dots, m$

y_{rj} = το ποσό εκροής r της DMU j

x_{ij} = το ποσό εκροής i της DMU j

ε = ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός

u_r, v_i = οι συντελεστές βαρύτητας (στάθμισης) για την εκροή r και για την εισροή i αντίστοιχα, που προσδιορίζονται από την αντικειμενική συνάρτηση του παραπάνω προβλήματος και την μεγιστοποιούν για τη μονάδα που εξετάζεται κάθε φορά.

Ο στόχος του μοντέλου 3.1 είναι η εύρεση της μεγαλύτερης δυνατής τιμής του h_0 συγκρίνοντας τις εισροές και εκροές όλων των μονάδων του υπό εξέταση δείγματος, έτσι ώστε να μην έχει καμία μονάδα δείκτη σχετικής αποδοτικότητας μεγαλύτερο του ένα. Επίσης στόχος είναι να προσδιοριστούν οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας u_r, v_i της υπό εξέταση μονάδας, οι οποίες τιμές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βαθμού αποδοτικότητας των άλλων μονάδων. Δηλαδή τα δεδομένα του μοντέλου είναι οι ποσότητες των εισροών και



εκροών ενώ οι μεταβλητές του μοντέλου μας είναι οι παραπάνω συντελεστές βαρύτητας. Η επίλυση του μοντέλου 3.1 συμπεριλαμβάνει την επίλυση n σχέσεων, δίνοντας n διαφορετικά ζεύγη συντελεστών στάθμισης. Συμπερασματικά το μοντέλο εφαρμόζεται μια φορά για κάθε μονάδα (DMU) του δείγματος παρατηρήσεων και αναζητεί το συνδυασμό των τιμών u_r, v_i που δίνει στην υπό εξέταση μονάδα τον υψηλότερο βαθμό σχετικής αποδοτικότητας, χωρίς να καταλήγει σε σχέση εισροών εκροών μεγαλύτερη από 1 (100%). Για κάθε DMU ο βαθμός σχετικής αποδοτικότητας υπολογίζεται συγκρίνοντας την κάθε μονάδα με το βέλτιστο όριο παραγωγής (production frontier) και εάν :

$h_\theta = 1$, η μονάδα είναι σχετικά αποδοτική

$h_\theta < 1$, η μονάδα είναι σχετικά μη αποδοτική

Κύριο μέλημα της DEA είναι να εντοπίσει τις σχετικά μη-αποδοτικές μονάδες, αυτές δηλαδή που θα μπορούσαν να παράγουν το επίπεδο και το συνδυασμό εκροών που ήδη παράγουν, χρησιμοποιώντας μικρότερες ποσότητες εισροών (input orientation) ή αυτές που θα μπορούσαν να αυξήσουν τις παραγόμενες εκροές, χρησιμοποιώντας δεδομένες ποσότητες εισροών (output orientation). Το παραπάνω μοντέλο είναι προσανατολισμένο προς τις εισροές (input orientation). Αν αντιστραφεί ο λόγος των εκροών-εισροών τότε προκύπτει το δυαδικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης, και έχουμε το προσανατολισμένο μοντέλο προς τις εκροές (output orientation). Επίσης το παραπάνω μοντέλο αποτελεί μια μορφή μη-γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο μπορεί να μετατραπεί εύκολα στο ισοδύναμο μοντέλο γραμμικού προσανατολισμού. Αυτό μπορεί να γίνει με υιοθέτηση του περιορισμού :

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad (\text{Banker et al. 1986, Cooper et al. 2004})$$

Έτσι προκύπτει η γραμμική μορφή του προβλήματος μεγιστοποίησης:

$$\max h_\theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$$

$$s.t. \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad \text{Μοντέλο 3.2: Multiplier problem}$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$



Με την εφαρμογή της DEA επιλύεται το μοντέλο 3.2 με το οποίο προσδιορίζονται οι μονάδες που μεγιστοποιούν την απόδοσή τους, επιτυγχάνοντας το δεδομένο αποτέλεσμα με την χρησιμοποιούμενη μικρότερων ποσοτήτων από τους διατιθέμενους παραγωγικούς συντελεστές. Δίνοντας έμφαση στη μείωση των εισροών, μια μονάδα θεωρείται μη αποτελεσματική όταν υπό τις ίδιες συνθήκες, υπάρχουν άλλες μονάδες ή συνδυασμός άλλων μονάδων που ενώ παράγουν τουλάχιστον την ίδια ποσότητα εκροών, χρησιμοποιούν μικρότερη ποσότητα σε μια τουλάχιστον εισροή και όχι μεγαλύτερη ποσότητα για κάθε μια από τις υπόλοιπες εισροές.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, για το μοντέλο 3.1 υπάρχει το δυϊκό του, το οποίο δίνει έμφαση στην αύξηση των εκροών (output orientation). Αυτό γίνεται αντιστρέφοντας το λόγο εισροών-εκροών με έμφαση από το max στο min.

$$\text{Min } h_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}$$

$$\text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \leq 1$$

Μοντέλο 3.3: output orientation model

$$u_r, v_i \geq \varepsilon \geq 0$$

Ομοίως, το παραπάνω πρόβλημα μετατρέπεται εύκολα στο ισοδύναμο μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού.

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$$

$$\text{s.t. } -\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

Μοντέλο 3.4: Multiplier problem

$$\sum_{i=1}^m u_r y_{r0} = 1 \text{ και } u_r, v_i \geq \varepsilon$$



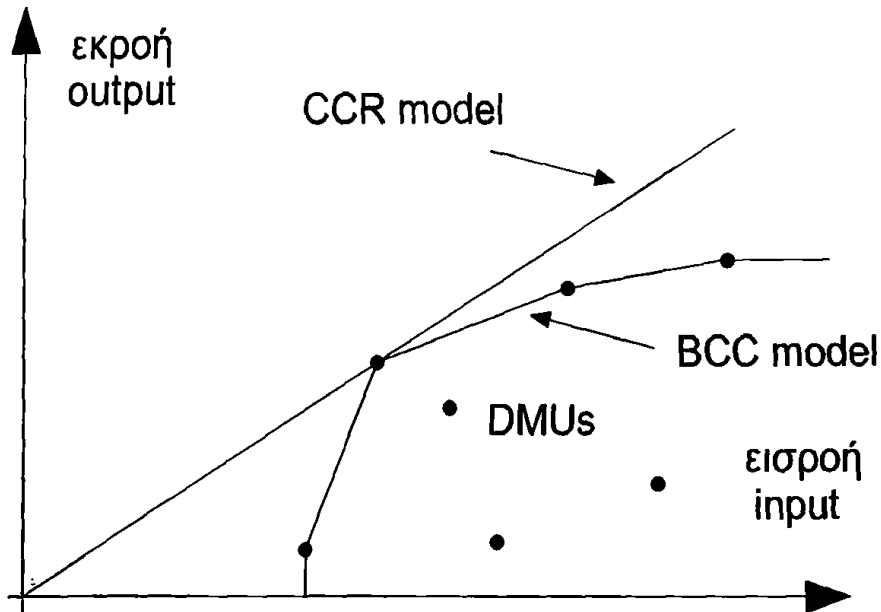
3.3. Το πρότυπο BCC (Banker, Charnes and Cooper, 1984)

Οι Banker, Charnes and Cooper, το 1984 επέκτειναν το μοντέλο CCR εισάγοντας στην ανάλυσή τους τις μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (φθίνουσες και αύξουσες). Εισηγάγαν δηλαδή τον περιορισμό $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. Το πρότυπο αυτό αναφέρεται στην εκτίμηση της αποδοτικότητας σε επίπεδο αποδόσεων κλίμακας-αύξουσες, σταθερές, φθίνουσες. Για αυτό το λόγο το BCC πρότυπο αναφέρεται και ως VRS. Οι τιμές αποδοτικότητας στο μοντέλο BCC ονομάζονται τιμές **καθαρής τεχνικής αποδοτικότητας** γιατί προκύπτουν από ένα μοντέλο που επιτρέπει τις μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας και έτσι εξαλείφει το κομμάτι των αποδόσεων κλίμακας από την ανάλυση. Τα μοντέλα που αναλύθηκαν παραπάνω εξακολουθούν να ισχύουν και τώρα, και συμπεριλαμβάνουν πλέον και τον παραπάνω περιορισμό.

Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζονται διαγραμματικά τα όρια παραγωγής και για τα δύο πρότυπα BCC και CCR. Παρατηρούμε ότι το όριο παραγωγής κάτω από την υπόθεση των σταθερών αποδόσεων κλίμακας απεικονίζεται από μια ευθεία γραμμή.

Οι μονάδες που βρίσκονται πάνω στο όριο παραγωγής είναι αποδοτικές, ενώ αυτές που έχουν απόσταση από αυτό είναι μη αποδοτικές. Ανάλογα με τον προσδιορισμό του μοντέλου μπορούν να γίνουν αποδοτικές είτε μειώνοντας τις εισροές (input orientation) είτε αυξάνοντας τις εκροές (output orientation). Η επιλογή του μοντέλου αποδόσεων κλίμακας εξαρτάται από τον υποκειμενικό παράγοντα κρίση του ερευνητή. Στην βιβλιογραφία συναντούμε και τα δύο μοντέλα τα οποία είναι πιθανόν να δίνουν και διαφορετικά αποτελέσματα ανάλυσης.

Διάγραμμα 2: CCR & BCC models



Τέλος, ανάλογα με το πρότυπο το οποίο υιοθετείται, η DEA έχει την δυνατότητα να προτείνει λύσεις επίτευξης της άριστης αποδοτικότητας με συνεκτίμηση των τιμών των slacks. Η έννοια των slacks για την περίπτωση των εισροών δίνει πληροφορίες για τους «αργούντες» παραγωγικούς συντελεστές, ενώ για την περίπτωση των εκροών δίνει πληροφορίες για τη δυνατότητα παραγωγής περισσότερου προϊόντος. Η DEA ταυτόχρονα με μια μεταβολή των εισροών μπορεί να προτείνει και μεταβολή των εκροών, και αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει διότι κάποια εκροή-εισροή μπορεί να παράγεται σε χαμηλότερο-υψηλότερο επίπεδο από αυτό που θα άρμοζε, επομένως θα πρέπει να γίνει ταυτόχρονη μεταβολή εισροών και εκροών για την επίτευξη της αποδοτικότητας.

3.4. Το μοντέλο ανεπιθύμητων εκροών (Undesirable-measure model)

Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, είναι πιθανό να εμφανιστούν επιθυμητές και ανεπιθύμητες εκροές. Ο σκοπός της περιβαλλοντικής επίδοσης είναι η μείωση των ανεπιθύμητων εκροών. Αν η μη-αποδοτικότητα συνεχίζει να υφίσταται στην παραγωγική διαδικασία, όπου το προϊόν κατασκευάζεται παράλληλα με ρύπους, οι εκροές των ρύπων θεωρούνται ως ανεπιθύμητη εκροή και πρέπει να μειωθούν ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της καλύτερης περιβαλλοντικής επίδοσης.

Σημειωτέον ότι, τα παραδοσιακά μοντέλα DEA, όπως αυτό των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας, θεωρούν ότι οι εκροές θα πρέπει να αυξηθούν και οι εισροές να μειωθούν ώστε να καλυτερεύσει η περιβαλλοντική επίδοση ή να φτάσει την καλύτερη πρακτική του ορίου (συνόρου). Εάν όμως κάποιος εξετάσει τις ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές ώστε οι «κακές» εκροές να μπορούν να μειωθούν, τότε η μέθοδος DEA δεν απεικονίζει την αληθινή παραγωγική διαδικασία.

Επιπλέον, είναι πιθανό να υπάρξουν καταστάσεις όπου ορισμένες εισροές θα πρέπει να αυξηθούν ώστε να πετύχει η περιβαλλοντική επίδοση. Για παράδειγμα, για να βελτιωθεί η επίδοση από μία «άχρηστη» εισροή, η ποσότητά της θα πρέπει να αυξηθεί αντί να μειωθεί όπως στα παραδοσιακά μοντέλα της DEA.

Οι Sheiford και Zhu (2002) παρουσίασαν μια προσέγγιση για μελέτη των ανεπιθύμητων εισροών/εκροών σε μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας.

Ας υποθέσουμε ότι οι εισροές και εκροές μετατρέπονται σε $\bar{x}_{ij} = x_{ij} + u_i$ και $\bar{y}_{rj} = y_{rj} + v_r$, όπου u_i και v_r είναι μη αρνητικά. Τότε τα μοντέλα με προσανατολισμό στις εισροές και με προσανατολισμό στις εκροές με μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας γίνονται ως εξής:

$$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{x}_{ij} + s_i^- = \theta \bar{x}_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{y}_{rj} - s_r^+ = \bar{y}_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

(3.1)



$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$\lambda_j \geq 0$$

$$\max \varphi - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{x}_{ij} + s_i^- = \bar{x}_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{y}_{rj} - s_r^+ = \varphi \bar{y}_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, s; \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$\lambda_j \geq 0$$

όπου είναι s^- και s^+ χαλαρές μεταβλητές (slacks).

Οι Ali and Seiford (1990) έδειξαν ότι μια DMU₀ είναι αποδοτική αν και μόνο αν η DMU₀ είναι αποδοτική εάν ισχύουν οι (3.1) και (3.2). Αυτό το συμπέρασμα οφείλεται στην παρουσία του περιορισμού της κυρτότητας $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. Αυτή η ιδιότητα επίσης μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε αρνητικές εισροές και εκροές προτού εφαρμόσουμε το μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας.

3.4.1 Ανεπιθύμητες εκροές

Ας υποθέσουμε ότι y_{rj}^g και y_{rj}^b είναι οι επιθυμητές και ανεπιθύμητες εκροές, αντίστοιχα. Προφανώς, επιθυμούμε να αυξήσουμε το y_{rj}^g και να μειώσουμε το y_{rj}^b ώστε να βελτιώσουμε την επίδοση. Παρόλα αυτά, στο μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές, και το y_{rj}^g και το y_{rj}^b θα πρέπει να αυξηθούν ώστε να βελτιωθεί η επίδοση. Για να αυξήσουμε τις επιθυμητές εκροές και να μειώσουμε τις ανεπιθύμητες, η διαδικασία έχει ως εξής:

Καταρχήν, πολλαπλασιάζουμε κάθε ανεπιθύμητη εκροή με το «-1» και έπειτα βρίσκουμε την κατάλληλη τιμή v_r ώστε όλες οι αρνητικές ανεπιθύμητες εκροές να γίνουν θετικές.

$$\text{Έτσι, } \bar{y}_{rj}^b = -y_{rj}^b + v_r > 0$$

Αυτό επιτυγχάνεται εάν $v_r = \max_j \{y_{rj}^b\} + 1$, για παράδειγμα.

Βασιζόμενοι στην εξίσωση 3.2:

max h

subject to

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^g \geq h y_{ro}^g$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{y}_{rj}^b \geq h \bar{y}_{ro}^b$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io} \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

Ας σημειωθεί ότι η (3.3) αυξάνει και τις επιθυμητές και τις ανεπιθύμητες εκροές. Το θεώρημα που ακολουθεί αποδεικνύει ότι η βέλτιστη ανεπιθύμητη εκροή $y_{ro}^b (= v_r - h^* \bar{y}_{ro}^b)$ δεν μπορεί να είναι αρνητική.

Θεώρημα 3.1 Δεδομένου του διανύσματος μετατροπής v , υποθέτω ότι h^* είναι η κατάλληλη τιμή στην (3.3), έτσι έχουμε $h^* \bar{y}_{ro}^b \leq v_r$.

[Απόδειξη]: Σημειώνουμε ότι όλες οι εκροές είναι πλέον θετικές. Ας υποθέσουμε ότι λ_j^* είναι η βέλτιστη λύση που σχετίζεται με το h^* . Εφόσον $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* = 1$, $h^* \bar{y}_{ro}^b \leq v_r$, όπου \bar{y}_{ro}^b αποτελείται από (μετασηματισμένες) μέγιστες τιμές για όλες τις ανεπιθύμητες εκροές. Σημειώνεται ότι $\bar{y}_{rj}^b = -y_{rj}^* + v_r$, όπου το y_r^*

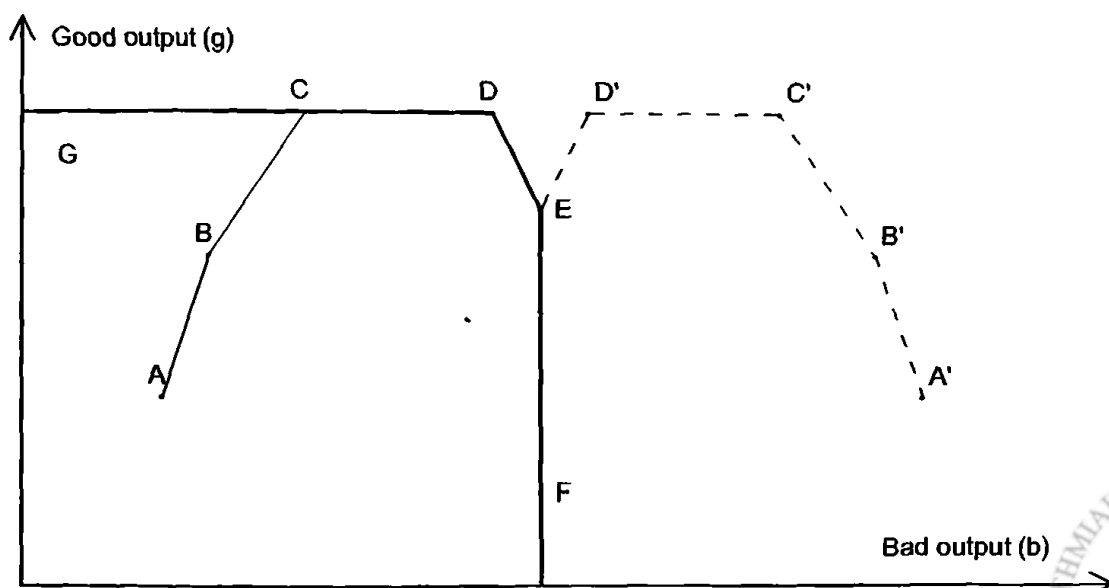
αποτελείται από (αυθεντικές) ελάχιστες τιμές για όλες τις ανεπιθύμητες εκροές. Έτσι,

$$h^* y_{ro}^{-b} \leq v_r.$$

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές. Αυτό όμως, δεν απεικονίζει την αληθινή παραγωγική διαδικασία. Επίσης, θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε έναν φθίνων μονότονο μετασχηματισμό (π.χ. $1/y_{rj}^b$) στις ανεπιθύμητες εκροές και μετά να χρησιμοποιήσουμε τις τροποποιημένες μεταβλητές σαν εκροές. Η παρούσα μέθοδος, στην παραγωγικότητα, εφαρμόζει ένα γραμμικό μονότονο φθίνοντα μετασχηματισμό. Εφόσον η χρήση του γραμμικού μετασχηματισμού διατηρεί την κυρτότητα, είναι μια καλή επιλογή για ένα μοντέλο της DEA.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μέθοδο. Οι πέντε DMUs A, B, C, D και E χρησιμοποιούν την ίδια εισροή ώστε να παράγουν μία επιθυμητή εκροή (g) και μία ανεπιθύμητη εκροή (b). Το GCDEF είναι το όριο (εκροής). Εάν χρησιμοποιήσουμε την ανεπιθύμητη εκροή σαν εισροή, τότε το ABCD γίνεται το όριο για τις μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας. Το μοντέλο 3.2 περιστρέφει το σύνορο εκροών στο EF και δημιουργεί το συμμετρικό σύνορο. Σε αυτήν την περίπτωση, Η DMU A', B' και C', που είναι τα μετασχηματισμένα σημεία της A, B και C αντίστοιχα, είναι επίσης αποδοτικά.

Σχήμα 1: Μετασχηματισμός ανεπιθύμητων εκροών



Ο στόχος αποτελεσματικότητας για την DMU_0 είναι

$$\begin{cases} x_{io} = x_{io} - s_i^{+*} \\ y_{ro}^g = h^* y_{ro}^g + s_r^{+*} \\ y_{ro}^b = v_r - (h^* \bar{y}_{ro}^b + s_r^{+*}) \end{cases}$$

3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της DEA

- ✓ Υποστηρίζεται από την οικονομική θεωρία και τις μεθόδους της.
- ✓ Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι έχει την δυνατότητα να ενσωματώνει στην ανάλυσή της ταυτόχρονα πολλαπλές εισροές καθώς και εκροές, δίνοντας μια συνολική εικόνα της αποδοτικότητας της οικονομικής μονάδας. Επίσης η DEA, χρειάζεται πληροφόρηση μόνο για τις ποσότητες των εισροών και εκροών και όχι για τις τιμές τους, κάτι που είναι εξαιρετικά σημαντικό ειδικά για τη διαδικασία εκτίμησης αποδοτικότητας των συστημάτων του περιβάλλοντος, καθώς πολλές εισροές και ειδικότερα οι ανεπιθύμητες εκροές είναι δύσκολο να εκφραστούν σε χρηματικούς όρους.
- ✓ Η DEA ως μη-παραμετρική μέθοδος, δεν απαιτεί εκ των προτέρων υποθέσεις για τη συναρτησιακή μορφή της σχέσης ούτε για την κατανομή των καταλοίπων, αντιθέτως με τα τυπικά οικονομετρικά μοντέλα. Ειδικότερα στον τομέα του περιβάλλοντος, δεν υπάρχει κάποια προσδιορισμένη μορφή «συνάρτησης περιβαλλοντικής επίδοσης», επομένως η ικανότητά της να προσδιορίζει το αποδοτικό σύνορο την καθιστά ακόμα πιο σημαντική.

- ✓ Τέλος δεν περιορίζεται μόνο στον εντοπισμό των αποδοτικών και μη-αποδοτικών DMUs, αλλά παρέχει προτάσεις βελτίωσης για τις μονάδες οι οποίες βρίσκονται μακριά του συνόρου, ούτως ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή αποδοτικότητα.

Η χρησιμότητα της DEA είναι πλέον αδιάμφωβητη αλλά η μέθοδος αυτή παρουσιάζει και κάποιες αδυναμίες. Οι βασικοί περιορισμοί της DEA περιλαμβάνουν τον αντίκτυπο παράλειψης σημαντικών μεταβλητών, τις επιπτώσεις των ακραίων τιμών και τον αντίκτυπο κάποιων παρατηρήσεων που δεν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση. Έτσι οι αδυναμίες της μεθόδου αυτής μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

- ✓ Η DEA, ενσωματώνει στην ανάλυσή της ταυτόχρονα πολλαπλές εισροές και εκροές, έτσι χαρακτηρίζεται από πολύπλοκες διαδικασίες παραγωγής. Ένας ανεξέλεγκτος αριθμός μεταβλητών σε συνδυασμό με την (όχι πάντα) καλή ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων της, μπορεί κάποιες φορές να οδηγήσουν σε ανακριβή και μη-έγκυρα αποτελέσματα (Kengil et al., 2010).
- ✓ Η DEA είναι μια ντετερμινιστική και όχι στοχαστική τεχνική, και έτσι παράγει αποτελέσματα που είναι ευαίσθητα στα λάθη μέτρησης. Επίσης εστιάζει στην σχετική αποδοτικότητα των μονάδων του εκάστοτε δείγματος, συγκρίνοντας τις με τις μονάδες βέλτιστης πρακτικής κάτι που καθιστά αδύνατη την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μελετών αφού δεν δίνονται γενικά συμπεράσματα (κάθε μελέτη μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικές εισροές-εκροές σε διαφορετικές ποσότητες με διαφορετικό δείγμα εξεταζόμενων μονάδων). Έτσι κάποια μονάδα μπορεί να χαρακτηριστεί αποδοτική μόνο και μόνο λόγω του μίγματος των εισροών και εκροών που επέλεξε και όχι γιατί πραγματικά έχει αποδοτική λειτουργία. Επίσης εάν το δείγμα μονάδων και δεικτών που εξετάζει η DEA είναι ανεπαρκές τότε μια αποδοτική μονάδα μπορεί στην πραγματικότητα να είναι μη-αποδοτική. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί αυξάνοντας το μέγεθος του δείγματος και συμπεριλαμβάνοντας επιπρόσθετες παρατηρήσεις (Rosko, 1990). Έτσι αυξάνεται η πιθανότητα να υπάρξει πραγματικά αποδοτική μονάδα και όχι μια μονάδα η οποία είναι η καλύτερη από ένα σύνολο μονάδων «κακής πρακτικής».

- ✓ Τέλος, ως μια μη-παραμετρική μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη το τυχαίο σφάλμα ή τυχαίους παράγοντες (όπως γίνεται στις παραμετρικές μεθόδους), και έτσι θεωρεί ότι η απόσταση των DMU από το αποδοτικό όριο (σύνορο) είναι αποτέλεσμα της μη-αποδοτικής λειτουργίας των μονάδων.

Συνολικά, η DEA αποτελεί μια ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδο στην μέτρηση της αποδοτικότητας των διαφόρων οργανισμών, αλλά λόγω των παραπάνω αδυναμιών είναι καλό να υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή της, έτσι ώστε να εξάγονται τα σωστά συμπεράσματα, και να αποφεύγονται τα λάθη.

Β' ΜΕΡΟΣ: ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1. Μέτρηση της σχετικής περιβαλλοντικής επίδοσης σε χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. με ανεπιθύμητες εκροές

1.1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία εξετάζει την περιβαλλοντική επίδοση 30 χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. Οι χώρες μέλη του Ο.Ο.Σ.Α. είναι (σε παρένθεση η ημερομηνία επικύρωσης της συνθήκης): Αυστρία(1961), Βέλγιο(1961), Γαλλία(1961), Γερμανία(1961), Δανία(1961), Ελβετία(1961), Ελλάδα(1961), Ηνωμένο Βασίλειο(1961), Η.Π.Α.(1961), Ιρλανδία(1961), Τουρκία(1961), Ισπανία(1961), Φινλανδία(1961), Καναδάς(1961), Λουξεμβούργο(1961), Νορβηγία(1961), Ολλανδία(1961), Πορτογαλία(1961), Σουηδία(1961), Ιταλία(1962), Ιαπωνία(1964), Αυστραλία(1971), Νέα Ζηλανδία(1973), Μεξικό(1994), Τσεχία(1995), Κορέα(1996), Πολωνία(1996), Ουγγαρία(1996), Σλοβακία(2000), Χιλή(2010), Σλοβενία(2010), Ισραήλ(2010). Το 1996, η Εσθονία, η Λετονία και η Λιθουανία υπέβαλλαν κοινό ανακοινωθέν σχετικά με τη συνεργασία τους με τον Οργανισμό, συμπεριλαμβανομένης της μελλοντικής προσχώρησής τους. Η Σλοβενία υπέβαλε αίτηση για προσχώρηση στις 14 Μαρτίου 1996 και η Μάλτα στις 24 Σεπτεμβρίου 2005. Η Δημοκρατία της Κίνας (Ταϊβάν) διατηρεί το καθεστώς του παρατηρητή σε δύο επιτροπές του Ο.Ο.Σ.Α., αλλά λόγω της μη αναγνώρισής της ως κράτους, δεν είναι επίσημο μέλος του Ο.Ο.Σ.Α. Το Υπουργικό Συμβούλιο του Ο.Ο.Σ.Α. στις 16 Μαΐου 2007 αποφάσισε να ανοίξει συζητήσεις προσχώρησης με την Εσθονία την Ρωσία.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να προσδιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις 30 χωρών, και πιο συγκεκριμένα να καθοριστεί αν είναι αποδοτικές ή μη αποδοτικές περιβαλλοντικά και να συγκριθούν μεταξύ τους. Επιπλέον να μπορέσουμε να εξηγήσουμε ίσως τους λόγους για τους οποίους κάποιες χώρες είναι μη αποδοτικές περιβαλλοντικά αλλά και για να προτείνουμε ορισμένες βελτιώσεις για τις χώρες αυτές. Για να πραγματοποιηθούν αυτά, πραγματοποιήθηκαν τα εξής βήματα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

1.2. Επιλογή χωρών – μονάδων λήψης απόφασης (DMUs)

Η επιλογή των χωρών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την επάρκεια των δεδομένων. Αντιμετωπίστηκε ιδιαίτερο πρόβλημα στην ανομοιογένεια των δεδομένων και κυρίως του γεγονότος ότι δεν συνέπιπταν οι χρονικές περίοδοι για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμες εισροές και εκροές. Η επιλογή χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. έγινε λόγω του ότι υπήρχαν αρκετά στοιχεία για αυτές τις χώρες σε περισσότερες από μία βάσεις δεδομένων. Καταλήξαμε λοιπόν στην επιλογή των παρακάτω χωρών: Αυστραλία, Αυστρία, Βέλγιο, Καναδάς, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Ιαπωνία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Νέα Ζηλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Ελβετία, Τουρκία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ηνωμένες Πολιτείες.

Στην ανάλυση δεν συμπεριλήφθηκαν χώρες όπως Ισραήλ, Κορέα, Μεξικό και Χιλή λόγω ανεπάρκειας δεδομένων. Οι βάσεις δεδομένων μας ήταν ο Ο.Ο.Σ.Α. (OECD Factbook 2011) για το κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP per capita), τις εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂ emissions from fuel combustion) και τη συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή (Total primary energy supply – TPES) και η AMECO (Annual macro-economic database of the European Commission) για το συνολικό εργατικό δυναμικό (Total labour force) και το καθαρό απόθεμα κεφαλαίου (net capital stock). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για τα έτη 2000, 2005 και 2009.

1.3 Επιλογή και περιγραφή του μείγματος εισροών-εκροών-ανεπιθύμητων εκροών

Στη συνέχεια έγινε η επιλογή των εισροών και των εκροών(επιθυμητών και μη) που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της παραγωγής. Οι εισροές και εκροές που επιλέχθηκαν αναλύονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Εισροές - εκροές

Εισροές	Εκροές	
	Επιθυμητή	Μη επιθυμητή
✓ Καθαρό απόθεμα κεφαλαίου (Net capital stock) (EUR 2005 prices)	Κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (GDP per capita) (US 2000 PPP)	Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα από καύση καυσίμων (CO ₂ emissions from fuel combustion)/ εκατομμύριο τόνους - Million tones
✓ Συνολικό εργατικό δυναμικό (Total labour force)/ ανά 1000 άτομα		
✓ Συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή (Total primary energy supply)/ εκατομμύριο τόνους ισοδύναμο πετρελαίου, (Million tones of oil equivalent - Mtoe)		

Όσον αφορά τις εκροές, αυτές χωρίζονται στις επιθυμητές, όπου εδώ επιλέχθηκε το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (GDP per capita) και στις ανεπιθύμητες, όπου επιλέχθηκε η εκπομπή ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από καύση καυσίμων (CO₂ emissions from fuel combustion). Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (Α.Ε.Π) είναι η συνολική αξία σε χρηματικές μονάδες των τελικών αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται σε μια χώρα σε ένα συγκεκριμένο έτος και το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. απεικονίζει το βιοτικό επίπεδο μιας χώρας. Οι δύο εκροές που επιλέχθηκαν απεικονίζουν και αυτές το στόχο της παραγωγικής διαδικασίας που έχει να κάνει με την αύξηση του κατά κεφαλήν ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος και τη μείωση της ρύπανσης από την παραγωγική διαδικασία, πράγμα που είναι και ο στόχος της μελέτης. Τέλος η επιλογή του διοξειδίου του άνθρακα και όχι κάποιου άλλου αερίου έγινε με τη λογική ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ο βασικότερος παράγοντας που συντελεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη και έχει προκαλέσει σημαντική ανησυχία σε διεθνές επίπεδο.

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τη διαχρονική εξέλιξη των 2 εκροών, για τις 30 χώρες που έχουν επιλεγεί για τα έτη 2000, 2005 και 2009.

Πίνακας 2: Διαχρονική εξέλιξη των εκροών (επιθυμητών – ανεπιθύμητων)

	GDP per capita			CO ₂ emissions		
	2000	2005	2009	2000	2005	2009
Αυστραλία	115,1	128,1	132,5	339	389	395
Αυστρία	118,1	124,5	129,2	62	75	63
Βέλγιο	113,4	119,9	120,9	119	113	101
Καναδάς	116,9	126,2	124,2	533	559	521
Τσεχία	61,5	74,2	80,6	122	120	110
Δανία	118,3	124,1	119,8	51	48	47
Εσθονία	40,5	60,4	58,7	15	17	15
Φινλανδία	105,3	118,3	118,4	54	55	55
Γαλλία	103,6	108,2	107,6	377	388	354
Γερμανία	106,5	109,4	112,5	827	812	750
Ελλάδα	75,6	90,6	96,7	87	95	90
Ουγγαρία	49,8	61,1	60,7	54	56	48
Ισλανδία	118,4	138,8	134,5	2	2	2
Ιρλανδία	117,8	140,5	129,7	41	44	39
Ιταλία	105,1	106,7	100,6	426	461	989
Ιαπωνία	105,1	111,4	108	1184	1221	1093
Λουξεμβούργο	220,2	246,6	252,2	8	11	10
Ολλανδία	120,7	125,8	130,6	172	183	176
Νέα Ζηλανδία	86,4	97,1	97,5	31	34	31
Νορβηγία	148,3	160,8	160,2	34	36	37
Πολωνία	43,4	50,6	61,4	291	293	287
Πορτογαλία	72,9	73,5	73,9	59	63	53
Σλοβακία	45,1	57,4	69	37	38	33
Σλοβενία	72	85,6	90,4	14	16	15
Ισπανία	87,5	95,4	94,3	284	340	283
Σουηδία	114,7	128,7	126,7	53	50	42
Ελβετία	129,8	133,1	137,7	43	45	42
Τουρκία	37,6	44,1	45,1	201	216	256
Ηνωμένο Βασίλειο	107	118,4	115,8	524	533	466
Ηνωμένες Πολιτείες	143,9	154,5	151,6	5698	5772	5195

Παρατηρούμε ότι διαχρονικά το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν στις περισσότερες χώρες αυξάνεται, ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε άλλες μειώνονται και σε άλλες αυξάνονται. Η χώρα που παρουσιάζει το μεγαλύτερο κατά κεφαλήν εγχώριο προϊόν το έτος 2009 είναι το Λουξεμβούργο ενώ η χώρα με τους χαμηλότερους ρύπους είναι η Ισλανδία. Αντίστοιχα, η χώρα με το μικρότερο

κατά κεφαλήν εγχώριο προϊόν το έτος 2009 είναι η Τουρκία ενώ η χώρα με τους περισσότερους ρύπους, οι Ηνωμένες Πολιτείες.

Η επιλογή των **εισροών** έχει ως βάση τη λογική ότι για τη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας είναι απαραίτητοι οι συντελεστές εργασία και κεφάλαιο, και επειδή επικεντρωνόμαστε στην περιβαλλοντική επίδοση, σημαντική εισροή είναι και η ενέργεια. Ως εκ τούτου ως εισροές χρησιμοποιούνται το καθαρό απόθεμα κεφαλαίου (Net capital stock) εκφρασμένο σε ευρώ (τιμές 2005), το συνολικό εργατικό δυναμικό (Total labour force) ανά 1000 άτομα καθώς και η συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή (Total primary energy supply) εκφρασμένη ανά εκατομμύριο τόνους ισοδύναμο πετρελαίου. Το καθαρό απόθεμα κεφαλαίου είναι το άθροισμα των μειωμένων τιμών όλων των πάγιων περιουσιακών στοιχείων μιας οικονομίας. Επιπλέον η επιλογή της ενέργειας έχει να κάνει με το ότι είναι και αυτή μια από τις κυριότερες εισροές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και έχουν άμεση σχέση με την παραγωγή ρύπων. Στα Διαγράμματα 1,2 και 3 που ακολουθούν απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή των εισροών που αφορούν το σύνολο του εργατικού δυναμικού, το καθαρό απόθεμα κεφαλαίου και την συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας αντίστοιχα, για την περίοδο 2000-2009.

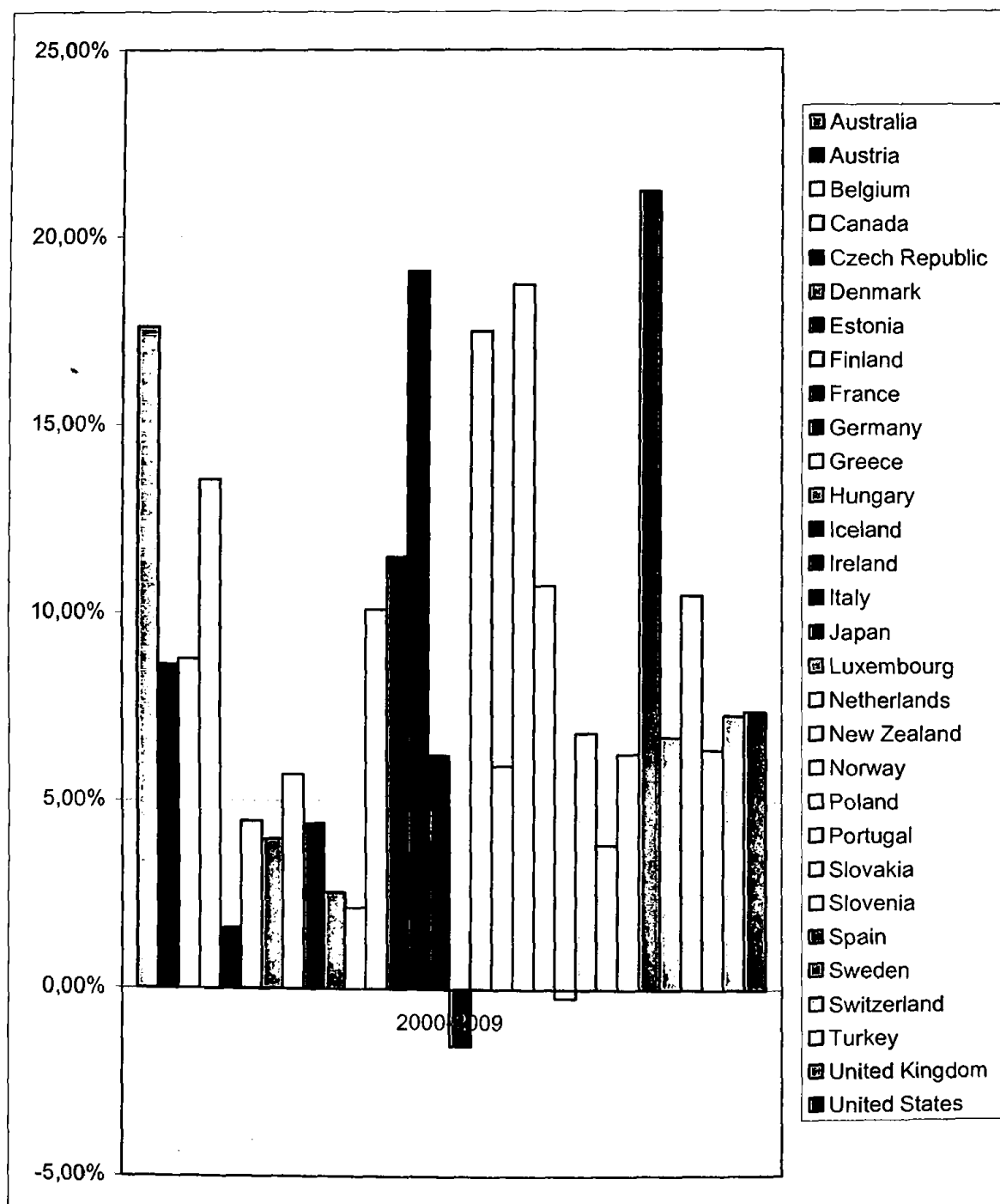
Κύριο χαρακτηριστικό της περιόδου 2000-2009 είναι η αύξηση του εργατικού δυναμικού. Στο διάγραμμα 1 παρατηρούμε ότι ο αριθμός του εργατικού δυναμικού αυξάνεται στις 28 από τις 30 χώρες, Η μεγαλύτερη θετική ποσοστιαία μεταβολή αντιστοιχεί στην Ισπανία (21,21%), ενώ η μεγαλύτερη αρνητική ποσοστιαία μεταβολή στην Ιαπωνία (-1,52%). Επίσης μία ακόμα χώρα καταγράφεται με αρνητική ποσοστιαία μεταβολή και είναι η Πολωνία (-0,23%).

Η ποσοστιαία αύξηση του εργατικού δυναμικού μπορεί να υποθέσει κανείς ότι μπορεί να αποδοθεί:

- ✓ Στην φυσική αύξηση του πληθυσμού.
- ✓ Στην αύξηση του αριθμού του γυναικείου εργατικού δυναμικού.

Διάγραμμα 1:

Ποσοστιαία μεταβολή αριθμού εργατικού δυναμικού κατά την περίοδο 2000-2009



Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του εργατικού δυναμικού για την περίοδο 2000-2009. Ο αριθμός είναι εκφρασμένος ανά 1000 άτομα, και παρατηρούμε ότι η χώρα με το μεγαλύτερο συνολικό εργατικό δυναμικό κατά μέσο όρο είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες (150961,63) και με το μικρότερο συνολικό εργατικό δυναμικό κατά μέσο όρο η Ισλανδία (168,87).

Πίνακας 3: Μέσος όρος εργατικού δυναμικού/ανά 1000 άτομα για την περίοδο 2000-2009

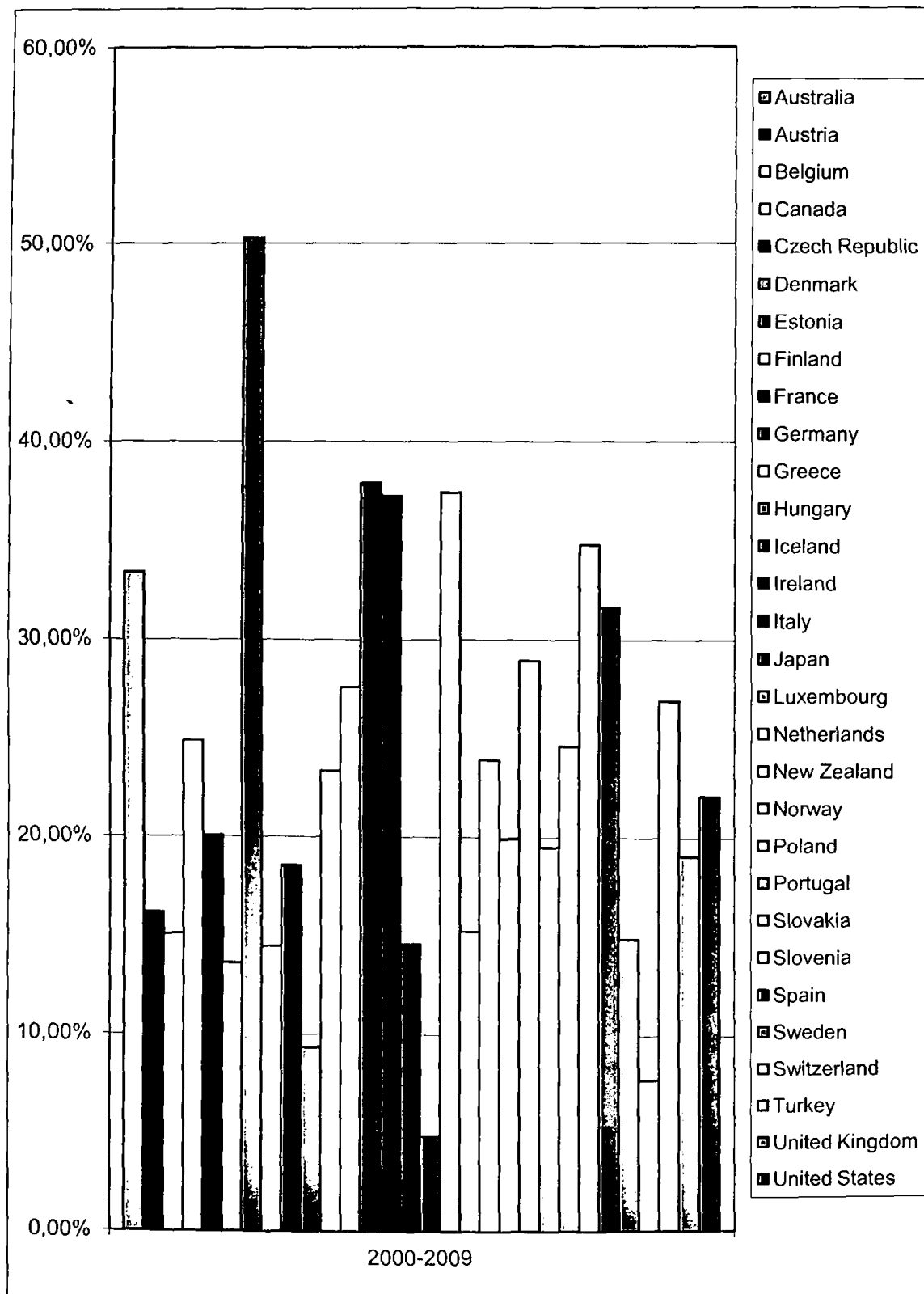
Australia	10638,31	Japan	68020,05
Austria	4058,41	Luxembourg	208,90
Belgium	4705,97	Netherlands	8612,90
Canada	17341,74	New Zealand	1706,77
Czech Republic	5296,31	Norway	2512,93
Denmark	2927,07	Poland	17253,23
Estonia	673,53	Portugal	5492,58
Finland	2624,13	Slovakia	2637,88
France	29110,51	Slovenia	1007,41
Germany	43169,53	Spain	21065,23
Greece	4172,82	Sweden	4715,20
Hungary	5068,82	Switzerland	4198,19
Iceland	168,87	Turkey	23064,29
Ireland	2003,35	United Kingdom	30191,50
Italy	25881,57	United States	150961,63

Ανάλογα, παρατηρούμε και αύξηση του καθαρού αποθέματος σε όλες τις χώρες με τη μεγαλύτερη αύξηση να σημειώνεται στην Εσθονία με θετική ποσοστιαία μεταβολή (50,29%) ενώ τη μικρότερη θετική ποσοστιαία μεταβολή παρουσιάζει η Ιαπωνία (4,84%).

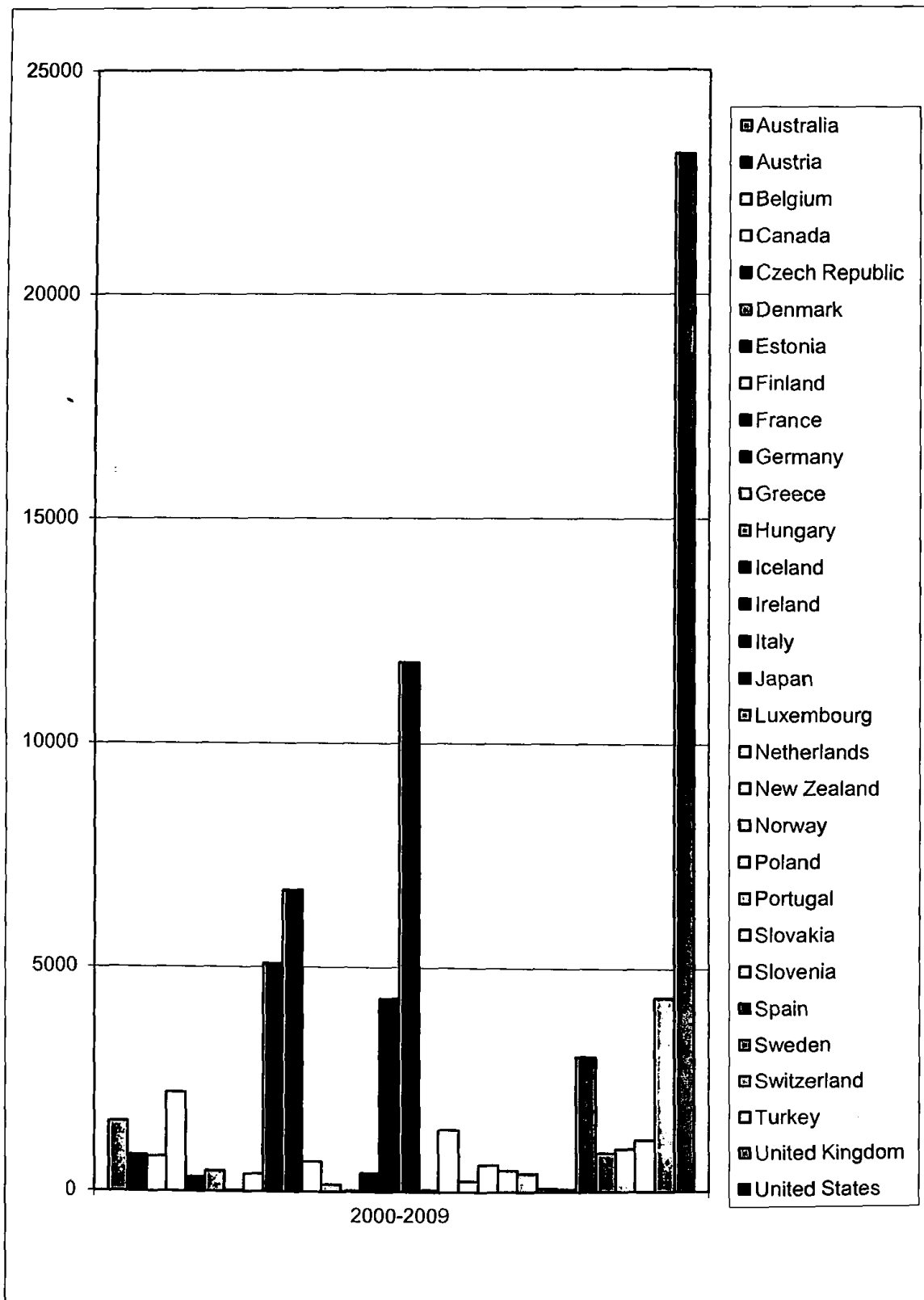
Στον πίνακα 4, εμφανίζεται ο μέσος όρος του καθαρού αποθέματος κεφαλαίου κάθε χώρας. Οι Ηνωμένες Πολιτείες (23119,94) έχουν το μεγαλύτερο καθαρό κεφαλαιακό απόθεμα κατά μέσο όρο και η Ισλανδία το μικρότερο (25,91).

Διάγραμμα 2:

Ποσοστιαία μεταβολή καθαρού αποθέματος κεφαλαίου κατά την περίοδο 2000-2009



Πίνακας 4: Μέσος όρος καθαρού αποθέματος κεφαλαίου για την περίοδο 2000-2009

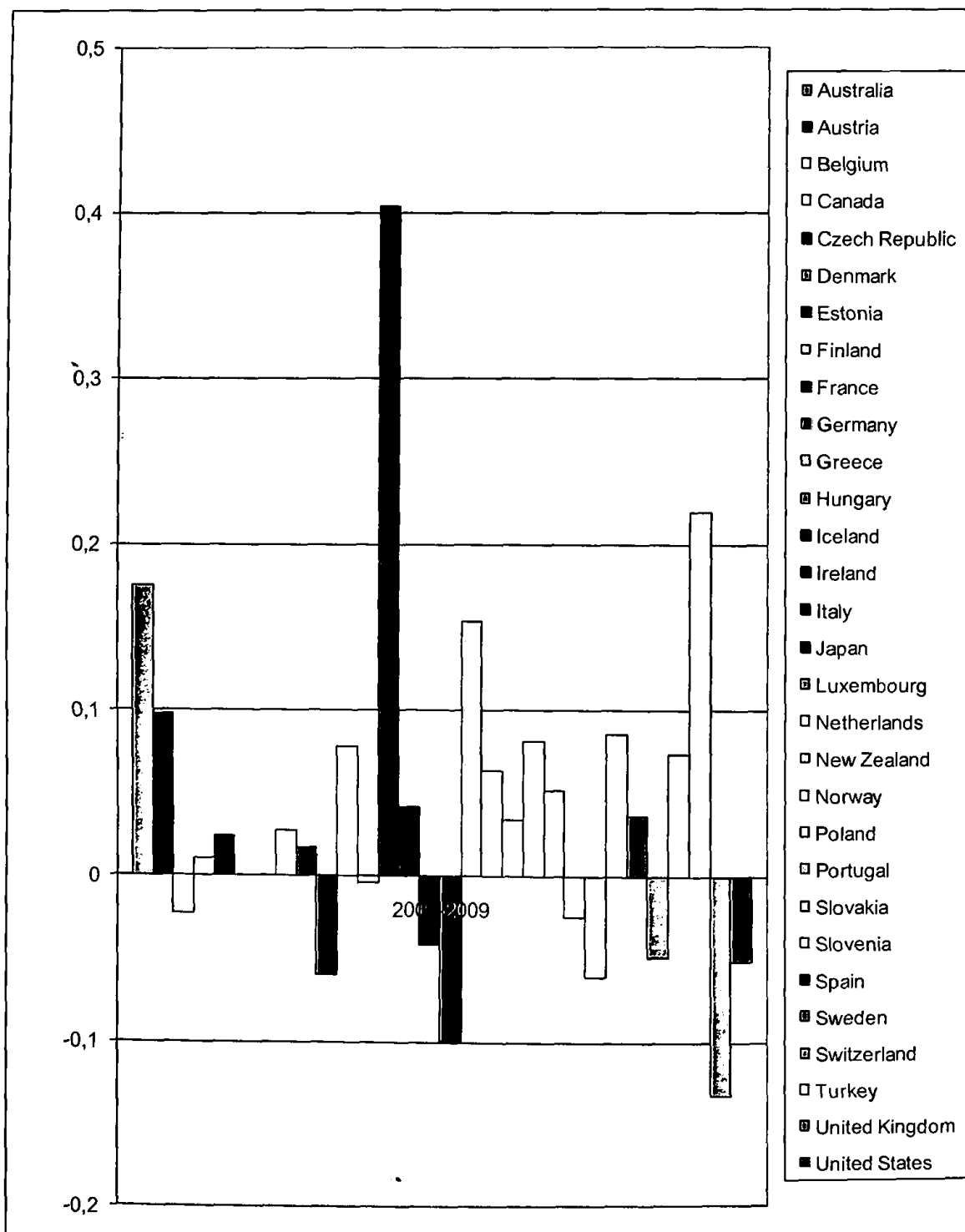


Τέλος , στο διάγραμμα 3 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής παραγωγής για τα έτη 2000-2009. Παρατηρούμε ότι στις περισσότερες χώρες υπάρχει αύξηση της συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής παραγωγής με τη μεγαλύτερη θετική ποσοστιαία αύξηση να παρουσιάζεται στην Ισλανδία (40,38%) και τη μεγαλύτερη αρνητική ποσοστιαία μεταβολή να παρουσιάζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο (- 13,26%). Για τρεις χώρες παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε μεταβολή κατά την περίοδο αυτή. Οι χώρες αυτές είναι η Δανία, η Εσθονία και η Ουγγαρία.

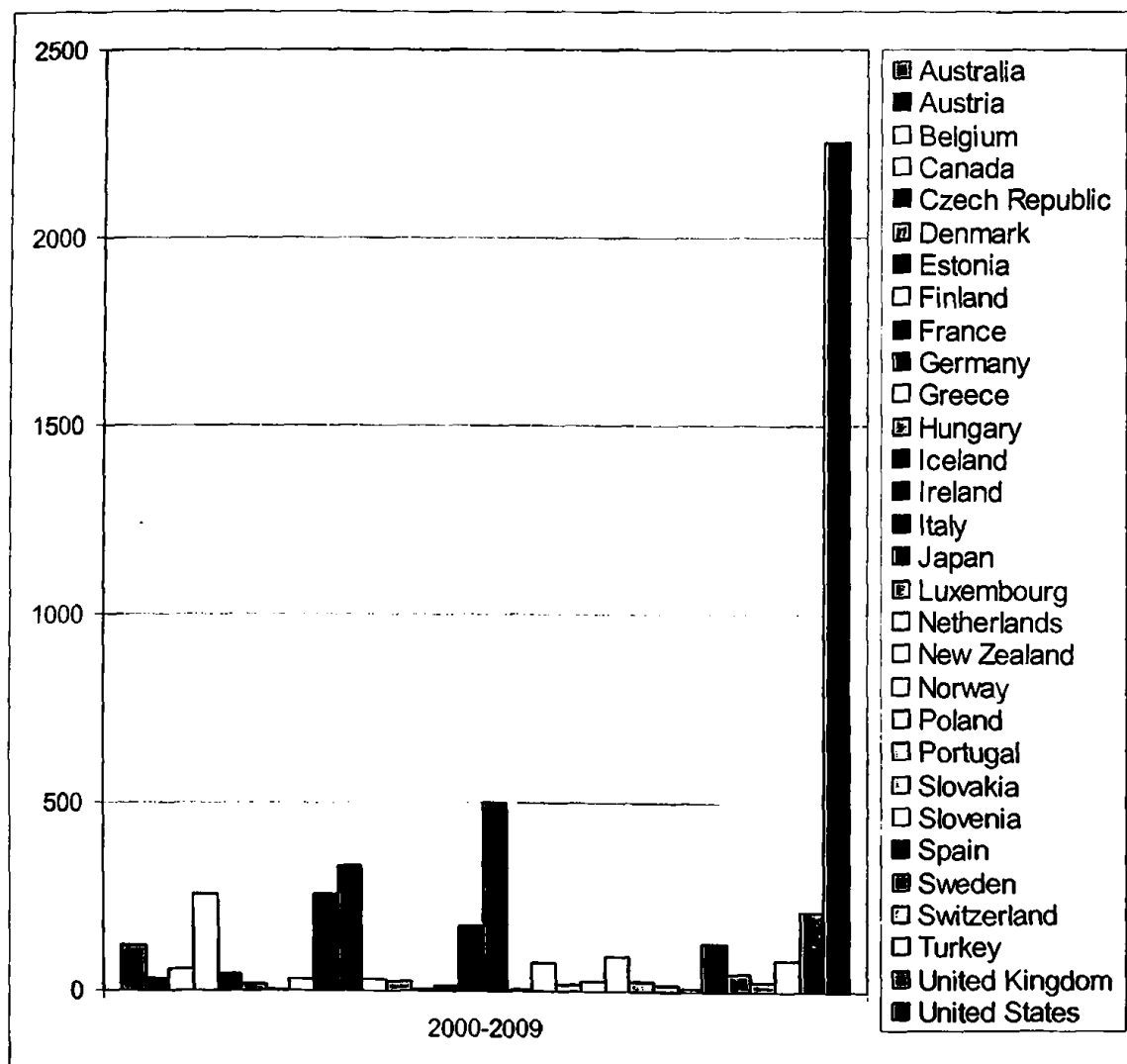
Στον πίνακα 5 παρατηρούμε το μέσο όρο της συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής παραγωγής για την περίοδο που εξετάζουμε. Η μεγαλύτερη συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή σημειώθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες (2251,7) ενώ η μικρότερη στην Ισλανδία (3,93%).

Διάγραμμα 3:

Ποσοστιαία μεταβολή συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής παραγωγής κατά την περίοδο 2000-2009



Πίνακας 5: Μέσος όρος συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής παραγωγής για την περίοδο 2000-2009



Πριν γίνει η εφαρμογή της DEA, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τιμή του καθαρού αποθέματος κεφαλαίου για την Τουρκία για το έτος 2009 δεν υπήρχε στη βάση δεδομένων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής (μέθοδος υπολογισμού ενδιάμεσων τιμών δοσμένης ευθείας) και συγκεκριμένα με linear extrapolation.

1.4. Επιλογή μοντέλου ανάλυσης

Επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός των μοντέλων της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA) που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδοσης των χωρών. Όπως αναφέραμε πριν, θα χρησιμοποιηθούν τρία μοντέλα για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδοσης των χωρών, τα οποία είναι το μοντέλο των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR), το μοντέλο των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) [μαζί αποτελούν τα Envelopment model] και το μοντέλο των ανεπιθύμητων εκροών (Undesirable-measure Model). Η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδοσης πραγματοποιήθηκε σε συνδυασμό με τους 2 προσανατολισμούς δηλαδή και με προσανατολισμό στις εκροές (input-oriented model) και με προσανατολισμό στις εκροές (output-oriented model). Τα πρώτα τέσσερα μοντέλα αφορούν τη μελέτη χωρίς να λάβουμε υπόψη τις ανεπιθύμητες εκροές. Ουσιαστικά πρόκειται για τα μοντέλα σταθερών και μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό και στις εισροές και στις εκροές. Επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση των ίδιων μοντέλων αλλά με τη διαφορά ότι εδώ οι ανεπιθύμητες εκροές εκτιμούνται σαν εισροές. Το τελευταίο βήμα είναι η εκτίμηση τους με το μοντέλο των ανεπιθύμητων εκροών όπου παρουσιάζονται πλέον οι εκροές, οι επιθυμητές εκροές και οι ανεπιθύμητες.

Η επιλογή των μοντέλων γίνεται και με τους δύο προσανατολισμούς: είτε με την ελαχιστοποίηση των εισροών είτε με τη μεγιστοποίηση των εκροών και τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στους παρακάτω πίνακες:

2. Αποτελέσματα εφαρμογής της DEA

Στην ενότητα αυτή θα παρατεθούν τα αποτελέσματα που δίνει η εφαρμογή της DEA για την περιβαλλοντική επίδοση των 30 χωρών, καθώς και η ανάλυσή τους.

2.1 Μοντέλα σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) και μοντέλα μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών

2.1.1 Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών.

Αρχικά εφαρμόζουμε το πρώτο μοντέλο, δηλαδή αυτό των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) με προσανατολισμό στις εισροές και έπειτα με προσανατολισμό στις εκροές. Για να γίνει μια καλύτερη σύγκριση αρχικά επιλέχθηκε να μη ληφθούν υπόψη οι ανεπιθύμητες εκροές, δηλαδή το διοξείδιο του άνθρακα.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εισροές (input-oriented model):

Στον πίνακα 1 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου σταθερών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Πίνακας 1: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Σταθερές αποδόσεις κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές)

DMU No.	DMU Name	Input-Oriented CRS Efficiency	Input-Oriented CRS Efficiency	Input-Oriented CRS Efficiency
		2000	2005	2009
1	Australia	0,01718	0,01911	0,01839
2	Austria	0,06188	0,06534	0,06303
3	Belgium	0,02994	0,03645	0,03763
4	Canada	0,01069	0,01110	0,01241
5	Czech Republic	0,03627	0,04255	0,05516
6	Denmark	0,09532	0,11716	0,09960
7	Estonia	0,38994	0,43570	0,40956
8	Finland	0,05392	0,06513	0,07205
9	France	0,00616	0,00713	0,00649
10	Germany	0,00473	0,00576	0,00546
11	Greece	0,04181	0,05353	0,05086
12	Hungary	0,05979	0,06725	0,07694
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	0,12886	0,17409	0,14026
15	Italy	0,00918	0,01035	0,00945
16	Japan	0,00304	0,00382	0,00354
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	0,02471	0,02848	0,02583
19	New Zealand	0,07795	0,10437	0,09307
20	Norway	0,08581	0,10706	0,08785
21	Poland	0,01775	0,02013	0,02529
22	Portugal	0,04423	0,04949	0,04742
23	Slovakia	0,10884	0,13454	0,17795
24	Slovenia	0,25150	0,27110	0,30034
25	Spain	0,01076	0,01200	0,01153
26	Sweden	0,03611	0,04450	0,04316
27	Switzerland	0,07781	0,09169	0,07887
28	Turkey	0,00739	0,00932	0,00872
29	United Kingdom	0,00719	0,00950	0,00910
30	United States	0,00128	0,00137	0,00151

Ενώ όσον αφορά τον **προσανατολισμό στις εκροές** (output-oriented model):

Στον πίνακα 2 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου σταθερών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές. Ομοίως, από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Πίνακας 2: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Σταθερές αποδόσεις κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εκροές)

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Output-Oriented CRS Efficiency 2000</i>	<i>Output-Oriented CRS Efficiency 2005</i>	<i>Output-Oriented CRS Efficiency 2009</i>
1	Australia	58,19790	52,32659	54,38431
2	Austria	16,15919	15,30559	15,86636
3	Belgium	33,39765	27,43843	26,57397
4	Canada	93,57811	90,10219	80,60021
5	Czech Republic	27,57424	23,50171	18,12848
6	Denmark	10,49135	8,53553	10,04007
7	Estonia	2,56448	2,29517	2,44167
8	Finland	18,54438	15,35480	13,87876
9	France	162,24517	140,16543	153,97398
10	Germany	211,33436	173,51550	183,07852
11	Greece	23,91943	18,68182	19,66081
12	Hungary	16,72502	14,86879	12,99754
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	7,76030	5,74416	7,12979
15	Italy	108,88418	96,59568	105,80649
16	Japan	329,44607	261,86409	282,61728
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	40,46758	35,10637	38,72078
19	New Zealand	12,82860	9,58141	10,74517
20	Norway	11,65365	9,34091	11,38327
21	Poland	56,35212	49,67760	39,54851
22	Portugal	22,60855	20,20686	21,08886
23	Slovakia	9,18773	7,43246	5,61940
24	Slovenia	3,97611	3,68868	3,32961
25	Spain	92,96062	83,30446	86,74797
26	Sweden	27,69153	22,47044	23,17180
27	Switzerland	12,85194	10,90591	12,67974
28	Turkey	135,40667	107,26160	114,72137
29	United Kingdom	139,00476	105,27457	109,89983
30	United States	778,77809	727,91062	660,72245

2.1.2 Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών

Έπειτα εφαρμόζουμε το δεύτερο μοντέλο, δηλαδή αυτό των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) με προσανατολισμό στις εισροές και έπειτα με προσανατολισμό στις εκροές. Και εδώ η επιλογή να μη ληφθούν υπόψη οι ανεπιθύμητες εκροές είναι για να γίνει πιο εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 3 και 4.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εισροές (input-oriented model), στον πίνακα 3 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Εσθονία, η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες (όπως στο προηγούμενο μοντέλο των σταθερών αποδόσεων κλίμακας) παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά του προηγούμενου μοντέλου με προσανατολισμό στις εισροές. Αυτό συμβαίνει και στην περίπτωση των περιβαλλοντικά αποδοτικών χωρών και στην περίπτωση των μη αποδοτικών.

Πίνακας 3: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές)

DMU No.	DMU Name	<i>Input-Oriented VRS Efficiency</i>	<i>Input-Oriented VRS Efficiency</i>	<i>Input-Oriented VRS Efficiency</i>
		2000	2005	2009
1	Australia	0,02868	0,02926	0,03126
2	Austria	0,10839	0,10294	0,12303
3	Belgium	0,05299	0,05963	0,07120
4	Canada	0,01233	0,01286	0,01804
5	Czech Republic	0,07561	0,07959	0,10962
6	Denmark	0,16667	0,18519	0,20968
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	0,09598	0,10234	0,12812
9	France	0,01231	0,01293	0,01522
10	Germany	0,00919	0,01033	0,01224
11	Greece	0,11439	0,11589	0,13265
12	Hungary	0,13826	0,15270	0,18759
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	0,22628	0,24404	0,27273
15	Italy	0,01808	0,01903	0,02369
16	Japan	0,00597	0,00672	0,00826
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	0,04241	0,04442	0,04987
19	New Zealand	0,18452	0,21084	0,22923
20	Norway	0,12196	0,13745	0,13830
21	Poland	0,04502	0,05515	0,05539
22	Portugal	0,12551	0,13208	0,16183
23	Slovakia	0,25481	0,32494	0,34688
24	Slovenia	0,48438	0,47945	0,62455
25	Spain	0,02543	0,02468	0,03083
26	Sweden	0,06513	0,06783	0,08590
27	Switzerland	0,12490	0,13514	0,14444
28	Turkey	0,04063	0,04147	0,04239
29	United Kingdom	0,01391	0,01574	0,01982
30	United States	0,00139	0,00157	0,00202

Όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εκροές (output-oriented model) στον πίνακα 4 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές.

Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Εσθονία, η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι η Τουρκία παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Σε αντίθεση με τα πρώτα μοντέλα των σταθερών αποδόσεων κλίμακας όπου οι Ηνωμένες Πολιτείες εμφανίζονται στην τελευταία θέση είτε το μοντέλο είναι προσανατολισμένο στις εισροές είτε στις εκροές, εδώ παρατηρούμε διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων με τις Ηνωμένες πολιτείες να είναι μεν πρώτες στο προσανατολισμένο στις εισροές μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας και ταυτόχρονα να βρίσκονται σε μια μέση κατάσταση στο προσανατολισμένο στις εκροές αντίστοιχο μοντέλο.

Πίνακας 4: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εκροές)

DMU No.	DMU Name	Output-Oriented VRS Efficiency	Output-Oriented VRS Efficiency	Output-Oriented VRS Efficiency
		2000	2005	2009
1	Australia	1,91312	1,92506	1,90340
2	Austria	1,86452	1,98072	1,95201
3	Belgium	1,94180	2,05671	2,08602
4	Canada	1,88366	1,95404	2,03060
5	Czech Republic	3,58049	3,32345	3,12903
6	Denmark	1,86137	1,98711	2,10518
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	2,09117	2,08453	2,13007
9	France	2,12548	2,27911	2,34387
10	Germany	2,06761	2,25411	2,24178
11	Greece	2,91270	2,72185	2,60807
12	Hungary	4,42169	4,03601	4,17550
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	1,86927	1,75516	1,94449
15	Italy	2,09515	2,31115	2,50696
16	Japan	2,09515	2,21364	2,33519
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	1,82436	1,96025	1,93109
19	New Zealand	2,54861	2,53965	2,58667
20	Norway	1,48483	1,53358	1,57428
21	Poland	5,07373	4,87352	4,10749
22	Portugal	3,02058	3,35510	3,41272
23	Slovakia	4,88248	4,29617	3,65507
24	Slovenia	3,05833	2,88084	2,78982
25	Spain	2,51657	2,58491	2,67444
26	Sweden	1,91979	1,91608	1,99053
27	Switzerland	1,69646	1,85274	1,83152
28	Turkey	5,85638	5,59184	5,59202
29	United Kingdom	2,05794	2,08277	2,17789
30	United States	1,53023	1,59612	1,66359

2.2 Μοντέλα σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) και μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές

2.2.1 Μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές

Αρχικά εφαρμόζουμε το πρώτο μοντέλο, δηλαδή αυτό των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR) με προσανατολισμό στις εισροές και έπειτα με προσανατολισμό στις εκροές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 5 και 6.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εισροές (input-oriented model) στον πίνακα 5 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου σταθερών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι τα αποτελέσματα είναι ίδια με το μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές. Δηλαδή και εκεί που αγνοούμε τις εκπομπές ρύπων και εκεί που τις χρησιμοποιούμε σαν εκροές φαίνεται ο βαθμός αποδοτικότητας να είναι σχεδόν ο ίδιος.

Πίνακας 5: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Σταθερές αποδόσεις κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές)

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented CRS Efficiency</i>	<i>Input-Oriented CRS Efficiency</i>	<i>Input-Oriented CRS Efficiency</i>
		<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2009</i>
1	Australia	0,01718	0,01911	0,01839
2	Austria	0,06595	0,06839	0,07492
3	Belgium	0,03206	0,03993	0,04189
4	Canada	0,01069	0,01110	0,01241
5	Czech Republic	0,03627	0,04255	0,05516
6	Denmark	0,09532	0,11716	0,10063
7	Estonia	0,38994	0,43570	0,40956
8	Finland	0,05964	0,07137	0,07351
9	France	0,00793	0,00851	0,00963
10	Germany	0,00473	0,00585	0,00580
11	Greece	0,04181	0,05353	0,05086
12	Hungary	0,05979	0,06725	0,07694
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	0,12886	0,17409	0,14026
15	Italy	0,00918	0,01035	0,01000
16	Japan	0,00314	0,00391	0,00380
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	0,02516	0,02927	0,02827
19	New Zealand	0,08953	0,11204	0,11044
20	Norway	0,11709	0,12982	0,13406
21	Poland	0,01775	0,02013	0,02529
22	Portugal	0,04461	0,05043	0,05271
23	Slovakia	0,10884	0,13454	0,17795
24	Slovenia	0,25150	0,27110	0,30034
25	Spain	0,01101	0,01219	0,01267
26	Sweden	0,05272	0,05796	0,07864
27	Switzerland	0,09366	0,10368	0,10918
28	Turkey	0,00739	0,00932	0,00872
29	United Kingdom	0,00732	0,00965	0,00962
30	United States	0,00128	0,00137	0,00151

Ενώ όσον αφορά τον **προσανατολισμό στις εκροές** (output-oriented model) στον πίνακα 6 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου σταθερών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές.

Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Παρατηρείται πολύ υψηλή συσχέτιση των τιμών του πίνακα με τις τιμές του πίνακα 2, (Σταθερές αποδόσεις κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εκροές) πράγμα που δείχνει ότι η παρουσία του CO₂ ως εισροή ελάχιστα επηρεάζει το αποτέλεσμα.

Πίνακας 6: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη
2000, 2005 και 2009 (Σταθερές αποδόσεις κλίμακας με
προσανατολισμό στις εκροές)

DMU No.	DMU Name	Output- Oriented CRS Efficiency	Output- Oriented CRS Efficiency	Output- Oriented CRS Efficiency
		2000	2005	2009
1	Australia	58,19790	52,32659	54,38431
2	Austria	15,16329	14,62304	13,34721
3	Belgium	31,19556	25,04648	23,87041
4	Canada	93,57811	90,10219	80,60021
5	Czech Republic	27,57424	23,50171	18,12848
6	Denmark	10,49135	8,53553	9,93719
7	Estonia	2,56448	2,29517	2,44167
8	Finland	16,76645	14,01164	13,60273
9	France	126,07091	117,50767	103,85389
10	Germany	211,33436	170,81629	172,52863
11	Greece	23,91943	18,68182	19,66081
12	Hungary	16,72502	14,86879	12,99754
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	7,76030	5,74416	7,12979
15	Italy	108,88418	96,59568	99,95749
16	Japan	318,16278	255,74258	263,28850
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	39,74278	34,16069	35,37927
19	New Zealand	11,16907	8,92505	9,05442
20	Norway	8,54028	7,70268	7,45955
21	Poland	56,35212	49,67760	39,54851
22	Portugal	22,41522	19,83112	18,97012
23	Slovakia	9,18773	7,43246	5,61940
24	Slovenia	3,97611	3,68868	3,32961
25	Spain	90,84993	82,01289	78,93979
26	Sweden	18,96700	17,25433	12,71622
27	Switzerland	10,67648	9,64499	9,15913
28	Turkey	135,40667	107,26160	114,72137
29	United Kingdom	136,55198	103,62385	103,96315
30	United States	778,77809	727,91062	660,72245

2.2.2 Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) που χρησιμοποιούν ανεπιθύμητες εκροές σαν εισροές

Έπειτα εφαρμόζουμε το δεύτερο μοντέλο, δηλαδή αυτό των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (CCR) με προσανατολισμό στις εισροές και έπειτα με προσανατολισμό στις εκροές.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Όσον αφορά τον **προσανατολισμό στις εισροές** (input-oriented model):

Στον πίνακα 7 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Εσθονία, η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Παρατηρείται επίσης ισχυρότατη συσχέτιση των τιμών με το μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές (Πίνακας 3) δείχνοντας την αμελητέα επίδραση του CO₂ στις εισροές.

Πίνακας 7: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εισροές)

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented VRS Efficiency 2000</i>	<i>Input-Oriented VRS Efficiency 2005</i>	<i>Input-Oriented VRS Efficiency 2009</i>
1	Australia	0,02868	0,02926	0,03126
2	Austria	0,10839	0,10294	0,13174
3	Belgium	0,05299	0,05963	0,07506
4	Canada	0,01233	0,01286	0,01804
5	Czech Republic	0,07561	0,07959	0,11035
6	Denmark	0,16667	0,18519	0,21058
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	0,09598	0,10234	0,13112
9	France	0,01231	0,01293	0,01761
10	Germany	0,00919	0,01033	0,01255
11	Greece	0,11439	0,11589	0,13265
12	Hungary	0,13826	0,15270	0,19324
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	0,22628	0,24404	0,27273
15	Italy	0,01808	0,01903	0,02425
16	Japan	0,00597	0,00672	0,00851
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	0,04241	0,04442	0,05173
19	New Zealand	0,18452	0,21084	0,24624
20	Norway	0,12196	0,13745	0,16149
21	Poland	0,04502	0,05515	0,05539
22	Portugal	0,12551	0,13208	0,16890
23	Slovakia	0,26470	0,32507	0,34688
24	Slovenia	0,48438	0,47945	0,63600
25	Spain	0,02543	0,02468	0,03203
26	Sweden	0,06513	0,06783	0,10579
27	Switzerland	0,12490	0,13514	0,16334
28	Turkey	0,04063	0,04147	0,04253
29	United Kingdom	0,01391	0,01574	0,02027
30	United States	0,00139	0,00157	0,00202

Ενώ όσον αφορά τον **προσανατολισμό στις εκροές** (output-oriented model):

Στον πίνακα 8 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές.

Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Εσθονία, η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι η Τουρκία παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Όπως και στις 3 προηγούμενες περιπτώσεις (πίνακες 5,6,7) δεν παρατηρείται μεταβολή των αποτελεσμάτων λόγω της παρουσίας του CO₂ στις εισροές, κάτι που είναι εμφανές από την υψηλή συσχέτιση των δεδομένων του πίνακα 8 με τα δεδομένα του πίνακα 4 (Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας χωρίς την παρουσία ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εκροές).

Πίνακας 8: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας με προσανατολισμό στις εκροές)

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Output-Oriented VRS Efficiency 2000</i>	<i>Output-Oriented VRS Efficiency 2005</i>	<i>Output-Oriented VRS Efficiency 2009</i>
1	Australia	1,91312	1,92506	1,90340
2	Austria	1,86452	1,98072	1,95201
3	Belgium	1,94180	2,05671	2,08602
4	Canada	1,88366	1,95404	2,03060
5	Czech Republic	3,58049	3,32345	3,12903
6	Denmark	1,86137	1,98711	2,10518
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	2,09117	2,08453	2,13007
9	France	2,12548	2,27911	2,34387
10	Germany	2,06761	2,25411	2,24178
11	Greece	2,91270	2,72185	2,60807
12	Hungary	4,42169	4,03601	4,17550
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	1,86927	1,75516	1,94449
15	Italy	2,09515	2,31115	2,50696
16	Japan	2,09515	2,21364	2,33519
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	1,82436	1,96025	1,93109
19	New Zealand	2,54861	2,53965	2,58667
20	Norway	1,48483	1,53358	1,57428
21	Poland	5,07373	4,87352	4,10749
22	Portugal	3,02058	3,35510	3,41272
23	Slovakia	4,88248	4,29617	3,65507
24	Slovenia	3,05833	2,88084	2,78982
25	Spain	2,51657	2,58491	2,67444
26	Sweden	1,91979	1,91608	1,99053
27	Switzerland	1,69646	1,85274	1,83152
28	Turkey	5,85638	5,59184	5,59202
29	United Kingdom	2,05794	2,08277	2,17789
30	United States	1,53023	1,59612	1,66359

2.3. Μοντέλο ανεπιθύμητων εκροών (Undesirable-measure model)

Στο τελευταίο μοντέλο, αυτό των ανεπιθύμητων εκροών εφαρμόζουμε τη μέτρηση με προσανατολισμό στις εισροές και έπειτα στις εκροές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εισροές (input-oriented model):

Στον πίνακα 9 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι η Αυστραλία, η Τσεχία, η Εσθονία, η Ελλάδα, η Ισλανδία, το Λουξεμβούργο, η Πολωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι αποδοτικές αφού παίρνουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA για το έτος 2000. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της μονάδας, γεγονός που αποδεικνύει ότι είναι μη αποδοτικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Εδώ παρατηρούμε ότι η μη περιβαλλοντικά αποδοτική χώρα είναι η Γαλλία και παρουσιάζει την μικρότερη τιμή αποδοτικότητας για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Στο έτος 2005 παρατηρούμε ότι οι αποδοτικές χώρες μειώνονται σε 6, οι οποίες αποτελούνται από τις 8 προηγούμενες με την Ελλάδα και την Τσεχία να μένουν εκτός της λίστας των αποδοτικών, ενώ το 2009 η Ελλάδα επιστρέφει στη λίστα των αποδοτικών οι οποίες πλέον υπολογίζονται σε 7.

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα εδώ διαφοροποιούνται με αυτά των προηγούμενων μοντέλων με προσανατολισμό στις εκροές. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση των μη αποδοτικών περιβαλλοντικά χωρών. Για εκείνη των αποδοτικών περιβαλλοντικά τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με τα προηγούμενα μοντέλα με προσανατολισμό στις εισροές. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι το μοντέλο το οποίο όχι μόνο κατηγοριοποιεί ως αποδοτικές περισσότερες χώρες από κάθε άλλο μοντέλο αλλά είναι το μόνο για το οποίο ο αριθμός των αποδοτικών χωρών μεταβάλλεται για τις τρεις χρονικές στιγμές που εξετάζονται.

**Πίνακας 9: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για
τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο ανεπιθύμητων
εκροών με προσανατολισμό στις εισροές)**

DMU No.	DMU Name	Input-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2000	Input-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2005	Input-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2009
1	Australia	1,00000	1,00000	1,00000
2	Austria	0,99500	0,99401	0,99363
3	Belgium	0,99190	0,98906	0,98736
4	Canada	0,99386	0,99598	0,99291
5	Czech Republic	1,00000	0,99948	0,99906
6	Denmark	0,99859	0,99783	0,99814
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	0,99312	0,99256	0,99333
9	France	0,94653	0,93872	0,93822
10	Germany	0,98611	0,98044	0,98313
11	Greece	1,00000	0,99948	1,00000
12	Hungary	0,99524	0,99445	0,99454
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	0,99968	0,99973	0,99915
15	Italy	0,98773	0,98518	0,98361
16	Japan	0,97038	0,97438	0,97943
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	0,98970	0,98753	0,98852
19	New Zealand	0,99642	0,99663	0,99581
20	Norway	0,99196	0,99148	0,99093
21	Poland	1,00000	1,00000	1,00000
22	Portugal	0,99633	0,99599	0,99597
23	Slovakia	0,99807	0,99788	0,99816
24	Slovenia	0,99892	0,99872	0,99873
25	Spain	0,98440	0,98212	0,98133
26	Sweden	0,98341	0,98012	0,98199
27	Switzerland	0,99361	0,99343	0,99235
28	Turkey	0,99162	0,98996	0,99200
29	United Kingdom	0,98269	0,98140	0,98379
30	United States	1,00000	1,00000	1,00000

Ενώ όσον αφορά τον προσανατολισμό στις εκροές (output-oriented model):

Στον πίνακα 10 μπορούμε να διακρίνουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εκροές. Από τις τιμές αποδοτικότητας φαίνεται ότι τρεις χώρες είναι αποδοτικές, σε σχέση με τον προσανατολισμό στις εισροές. Οι χώρες αυτές είναι η Εσθονία, η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο. Οι χώρες αυτές έχουν την τιμή της μονάδας ύστερα από την εφαρμογή της DEA. Όλες οι υπόλοιπες χώρες παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδας. Αυτές οι χώρες που έχουν τιμή μεγαλύτερη της μονάδας είναι μη αποτελεσματικές όσον αφορά την περιβαλλοντική επίδοση. Στο μοντέλο αυτό η χώρα με την μεγαλύτερη τιμή και άρα αυτή που θεωρείται περισσότερο μη αποτελεσματική είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες. Αυτό συμβαίνει για όλα τα έτη που εξετάζονται, πράγμα που σημαίνει ότι χρειάζεται περαιτέρω περιβαλλοντική βελτίωση και μάλιστα τη μεγαλύτερη από όλες τις χώρες.

Να σημειώσουμε εδώ ότι τα αποτελέσματα διαφέρουν από τα προηγούμενα μοντέλα με προσανατολισμό στις εκροές. Οι αποδοτικές περιβαλλοντικά χώρες εδώ είναι λιγότερες σε σχέση με πριν.

**Πίνακας 10: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών για
τα έτη 2000, 2005 και 2009 (Μοντέλο ανεπιθύμητων
εκροών με προσανατολισμό στις εκροές)**

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Output-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2000</i>	<i>Output-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2005</i>	<i>Output-Oriented Efficiency with Undesirable Factors 2009</i>
1	Australia	1,06283	1,07188	1,08173
2	Austria	1,01063	1,01281	1,01188
3	Belgium	1,02097	1,01961	1,01943
4	Canada	1,10267	1,10681	1,11097
5	Czech Republic	1,02152	1,02087	1,02123
6	Denmark	1,00867	1,00803	1,00874
7	Estonia	1,00000	1,00000	1,00000
8	Finland	1,00921	1,00927	1,01031
9	France	1,07046	1,07168	1,07270
10	Germany	1,16926	1,16327	1,16824
11	Greece	1,01515	1,01638	1,01723
12	Hungary	1,00921	1,00945	1,00894
13	Iceland	1,00000	1,00000	1,00000
14	Ireland	1,00689	1,00729	1,00717
15	Italy	1,08041	1,08641	1,08051
16	Japan	1,26161	1,26775	1,26587
17	Luxembourg	1,00000	1,00000	1,00000
18	Netherlands	1,03069	1,03238	1,03465
19	New Zealand	1,00512	1,00558	1,00561
20	Norway	1,00533	1,00559	1,00643
21	Poland	1,05344	1,05310	1,05806
22	Portugal	1,01011	1,01068	1,00992
23	Slovakia	1,00618	1,00628	1,00600
24	Slovenia	1,00211	1,00243	1,00251
25	Spain	1,05208	1,06221	1,05720
26	Sweden	1,00903	1,00839	1,00776
27	Switzerland	1,00712	1,00751	1,00770
28	Turkey	1,03619	1,03851	1,05142
29	United Kingdom	1,10087	1,10134	1,09810
30	United States	1,53023	1,59612	1,66359

2.4. Η κατάταξη των χωρών με βάση την αποδοτικότητά τους

Στη συνέχεια, εξετάζεται η διαφοροποίηση της κατάταξης των χωρών (με βάση την αποδοτικότητά τους) για όλα τα μοντέλα που εξετάστηκαν για τα έτη 2000, 2005 και 2009. Για το σκοπό αυτό θα υπολογιστούν με βάση τα αποτελέσματα της αποδοτικότητας για κάθε μέθοδο DEA ανά έτος οι αντίστοιχοι πίνακες με τη σειρά κατάταξης της κάθε χώρας, ώστε να γίνει εφικτός ο υπολογισμός της όποια συσχέτισης στην κατάταξη μεταξύ των μοντέλων.

Η εκτίμηση αυτή θα πραγματοποιηθεί με την χρήση του συντελεστή συσχέτισης Spearman, ο οποίος δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί, και κυμαίνεται μεταξύ του -1 και 1.

$$r' = 1 - 6 \sum \frac{d^2}{N(N^2 - 1)}$$

Ξεκινώντας την ανάλυση των δεδομένων συμπεριλήφθηκαν 3 πίνακες, ένας για κάθε έτος που απεικονίζει την κατάταξη της κάθε χώρας για το κάθε έτος που μελετάται σύμφωνα με τα προηγούμενα αποτελέσματα της DEA. Γίνεται έτσι πιο ξεκάθαρο ότι σε κάθε μοντέλο της DEA που εκτιμήθηκε, η κατάταξη των χωρών διαφέρει σε ορισμένα μοντέλα ενώ σε άλλα όχι. Οι πίνακες 1, 2 και 3 που ακολουθούν παρουσιάζουν τα εξής:

Πίνακας 1: Κατάταξη κάθε χώρας ανάλογα με την επίδοσή της στο εκάστοτε μοντέλο επίδοσης για το έτος 2000

Κατάταξη Χωρών (2000)	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
Australia	21	10	22	19	21	10	22	19	1	8
Austria	11	20	14	22	11	20	14	22	16	16
Belgium	18	13	18	17	18	13	18	17	21	14
Canada	23	8	26	20	23	8	26	20	17	4
Czech Republic	16	15	16	5	17	14	16	5	1	13
Denmark	7	24	8	23	8	23	8	23	11	21
Estonia	3	28	1	28	3	28	1	28	1	28
Finland	13	18	15	14	13	18	15	14	19	19
France	27	4	27	11	25	6	27	11	30	7
Germany	28	3	28	15	28	3	28	15	25	3
Greece	15	16	13	8	16	15	13	8	1	15
Hungary	12	19	9	4	12	19	9	4	15	18
Iceland	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Ireland	5	26	6	21	5	26	6	21	9	23
Italy	24	7	24	12	24	7	24	12	24	6
Japan	29	2	29	12	29	2	29	12	29	2
Luxembourg	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Netherlands	19	12	20	24	19	12	20	24	23	12
New Zealand	9	22	7	9	10	21	7	9	13	26
Norway	8	23	12	27	6	25	12	27	20	25
Poland	20	11	19	2	20	11	19	2	1	9
Portugal	14	17	10	7	15	16	10	7	14	17
Slovakia	6	25	5	3	7	24	5	3	12	24
Slovenia	4	27	4	6	4	27	4	6	10	27
Spain	22	9	23	10	22	9	23	10	26	10
Sweden	17	14	17	18	14	17	17	18	27	20
Switzerland	10	21	11	25	9	22	11	25	18	22
Turkey	25	6	21	1	26	5	21	1	22	11
United Kingdom	26	5	25	16	27	4	25	16	28	5
United States	30	1	30	26	30	1	30	26	1	1

Πίνακας 2: Κατάταξη κάθε χώρας ανάλογα με την επίδοσή της στο εκάστοτε μοντέλο επίδοσης για το έτος 2005

Κατάταξη Χωρών (2005)	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
Australia	21	10	22	22	21	10	22	22	1	7
Austria	12	19	14	19	12	19	14	19	17	16
Belgium	18	13	18	17	18	13	18	17	22	14
Canada	23	8	27	21	23	8	27	21	15	4
Czech Republic	17	14	16	6	17	14	16	6	8	13
Denmark	7	24	8	18	8	23	8	18	12	21
Estonia	3	28	1	28	3	28	1	28	1	28
Finland	13	18	15	15	11	20	15	15	19	19
France	27	4	26	12	27	4	26	12	30	8
Germany	28	3	28	13	28	3	28	13	27	3
Greece	14	17	13	8	15	16	13	8	9	15
Hungary	11	20	9	4	13	18	9	4	16	18
Iceland	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Ireland	5	26	6	25	5	26	6	25	7	23
Italy	24	7	24	11	24	7	24	11	24	6
Japan	29	2	29	14	29	2	29	14	29	2
Luxembourg	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Netherlands	19	12	20	20	19	12	20	20	23	12
New Zealand	9	22	7	10	9	22	7	10	13	26
Norway	8	23	10	27	7	24	10	27	20	25
Poland	20	11	19	2	20	11	19	2	1	10
Portugal	15	16	12	5	16	15	12	5	14	17
Slovakia	6	25	5	3	6	25	5	3	11	24
Slovenia	4	27	4	7	4	27	4	7	10	27
Spain	22	9	23	9	22	9	23	9	25	9
Sweden	16	15	17	23	14	17	17	23	28	20
Switzerland	10	21	11	24	10	21	11	24	18	22
Turkey	26	5	21	1	26	5	21	1	21	11
United Kingdom	25	6	25	16	25	6	25	16	26	5
United States	30	1	30	26	30	1	30	26	1	1

Πίνακας 3: Κατάταξη κάθε χώρας ανάλογα με την επίδοσή της στο εκάστοτε μοντέλο επίδοσης για το έτος 2009

Κατάταξη Χωρών (2009)	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
Australia	21	10	22	24	21	10	23	24	1	6
Austria	13	18	15	21	13	18	14	21	16	16
Belgium	18	13	18	18	18	13	18	18	23	14
Canada	22	9	26	19	23	8	26	19	18	4
Czech Republic	14	17	16	6	15	16	16	6	9	13
Denmark	7	24	8	17	10	21	8	17	12	20
Estonia	3	28	1	28	3	28	1	28	1	28
Finland	12	19	14	16	14	17	15	16	17	17
France	27	4	27	12	25	6	27	12	30	8
Germany	28	3	28	14	28	3	28	14	26	3
Greece	15	16	13	9	17	14	13	9	1	15
Hungary	11	20	9	2	12	19	9	2	15	19
Iceland	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Ireland	6	25	6	22	6	25	6	22	8	23
Italy	24	7	24	11	24	7	24	11	25	7
Japan	29	2	29	13	29	2	29	13	29	2
Luxembourg	1	29	1	28	1	29	1	28	1	28
Netherlands	19	12	20	23	19	12	20	23	22	12
New Zealand	8	23	7	10	8	23	7	10	14	26
Norway	9	22	12	27	7	24	12	27	21	24
Poland	20	11	19	3	20	11	19	3	1	9
Portugal	16	15	10	5	16	15	10	5	13	18
Slovakia	5	26	5	4	5	26	5	4	11	25
Slovenia	4	27	4	7	4	27	4	7	10	27
Spain	23	8	23	8	22	9	22	8	28	10
Sweden	17	14	17	20	11	20	17	20	27	21
Switzerland	10	21	11	25	9	22	11	25	19	22
Turkey	26	5	21	1	27	4	21	1	20	11
United Kingdom	25	6	25	15	26	5	25	15	24	5
United States	30	1	30	26	30	1	30	26	1	1

Μετά από εκτέλεση του Spearman's test για τους 3 πίνακες κατάταξης καταλήγουμε σε τιμές συσχέτισης και στατιστικής σημαντικότητας. Τιμές σημαντικότητας μικρότερες του 0.05 σημειώνονται με αστερίσκο (*) και τιμές μικρότερες του 0.01 σημειώνονται με 2 αστερίσκους.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα spearman's test για το έτος 2000

Model Efficiencies 2000											
Spearman's rho		CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	Correlation Coefficient	1.000	-	.978**	-.276	.994**	-.994**	.978**	-.276	.544**	-.964**
	Sig. (2-tailed)		1.000**	.000	.139	.000	.000	.000	.139	.002	.000
CCR Output Oriented	Correlation Coefficient	-	1.000	-.978**	.276	-.994**	.994**	-.978**	.276	-.544**	.964**
	Sig. (2-tailed)	1.000**		.000	.139	.000	.000	.000	.139	.002	.000
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	.978**	-.978**	1.000	-.150	.963**	-.963**	1.000**	-.150	.562**	-.961**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.430	.000	.000		.430	.001	.000
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	-.276	.276	-.150	1.000	-.313	.313	-.150	1.000**	-.131	.242
	Sig. (2-tailed)	.139	.139	.430		.092	.092	.430		.489	.197
CCR Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.994**	-.994**	.963**	-.313	1.000	-	.963**	-.313	.503**	-.970**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.092		1.000**	.000	.092	.005	.000
CCR Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.994**	.994**	-.963**	.313	-	1.000	-.963**	.313	-.503**	.970**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.092	1.000**		.000	.092	.005	.000
BCC Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.978**	-.978**	1.000**	-.150	.963**	-.963**	1.000	-.150	.562**	-.961**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.430	.000	.000		.430	.001	.000
BCC Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.276	.276	-.150	1.000**	-.313	.313	-.150	1.000	-.131	.242
	Sig. (2-tailed)	.139	.139	.430		.092	.092	.430		.489	.197
UND Input Oriented	Correlation Coefficient	.544**	-.544**	.562**	-.131	.503**	-.503**	.562**	-.131	1.000	-.426*
	Sig. (2-tailed)	.002	.002	.001	.489	.005	.005	.001	.489		.019
UND Output Oriented	Correlation Coefficient	-.964**	.964**	-.961**	.242	-.970**	.970**	-.961**	.242	-.426*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.197	.000	.000	.000	.197	.019	

Πίνακας 5: Αποτελέσματα spearman's test για το έτος 2005

Model Efficiencies 2005											
Spearman's rho		CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	Correlation Coefficient	1.000	-	.981**	-.282	.996**	-.996**	.981**	-.282	.535**	-
	Sig. (2-tailed)		1.000**	.000	.131	.000	.000	.000	.131	.002	.963**
CCR Output Oriented	Correlation Coefficient	1.000**	1.000	-.981**	.282	-.996**	.996**	-.981**	.282	.535**	.963**
	Sig. (2-tailed)			.000	.131	.000	.000	.000	.131	.002	.000
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	.981**	-.981**	1.000	-.163	.971**	-.971**	1.000**	-.163	.545**	-
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.390	.000	.000		.390	.002	.969**
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	-.282	.282	-.163	1.000	-.311	.311	-.163	1.000**	-.194	.249
	Sig. (2-tailed)	.131	.131	.390		.095	.095	.390		.304	.184
CCR Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.996**	-.996**	.971**	-.311	1.000	-	.971**	-.311	.514**	-
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.095		1.000**	.000	.095	.004	.969**
CCR Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.996**	.996**	-.971**	.311	1.000**	-	1.000	-.971**	.311	-.969**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.095		1.000**	.000	.095	.004	.000
BCC Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.981**	-.981**	1.000**	-.163	.971**	-.971**	1.000	-.163	.545**	-
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.390	.000	.000		.390	.002	.969**
BCC Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.282	.282	-.163	1.000**	-.311	.311	-.163	1.000	-.194	.249
	Sig. (2-tailed)	.131	.131	.390		.095	.095	.390		.304	.184
UND Input Oriented	Correlation Coefficient	.535**	-.535**	.545**	-.194	.514**	-.514**	.545**	-.194	1.000	-.424*
	Sig. (2-tailed)	.002	.002	.002	.304	.004	.004	.002	.304		.020
UND Output Oriented	Correlation Coefficient	-.963**	.963**	-.969**	.249	-.969**	.969**	-.969**	.249	-.424*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.184	.000	.000	.000	.184	.020	

Πίνακας 6: Αποτελέσματα spearman's test για το έτος 2009

Model Efficiencies 2009											
Spearman's rho		CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO ₂)	CCR Output Oriented (CO ₂)	BCC Input Oriented (CO ₂)	BCC Output Oriented (CO ₂)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	Correlation Coefficient	1.000	-.975**	-.254	.985**	-.985**	.973**	-.254	.546**	-.950**	-.950**
	Sig. (2-tailed)		.000	.176	.000	.000	.000	.176	.002	.000	.000
CCR Output Oriented	Correlation Coefficient	1.000**	1.000	-.975**	-.254	-.985**	.985**	-.254	.546**	-.950**	-.950**
	Sig. (2-tailed)			.000	.176	.000	.000	.000	.176	.002	.000
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	.975**	-.975**	1.000	-.137	.957**	-.957**	.999**	-.137	.565**	-.962**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.469	.000	.000	.000	.469	.001	.000
BCC Output Oriented	Correlation Coefficient	-.254	.254	-.137	1.000	-.293	.293	-.132	1.000**	-.178	.216
	Sig. (2-tailed)	.176	.176	.469		.116	.116	.485		.348	.251
CCR Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.985**	-.985**	.957**	-.293	1.000	-.957**	-.293	.480**	-.971**	-.971**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.116		.000	.116	.007	.000	.000
CCR Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.985**	.985**	-.957**	-.293	1.000**	1.000	-.293	-.480**	-.971**	-.971**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.116		.000	.116	.007	.000	.000
BCC Input Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	.973**	-.973**	.999**	-.132	.957**	-.957**	1.000	-.132	.555**	-.963**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.485	.000	.000		.485	.001	.000
BCC Output Oriented (CO ₂)	Correlation Coefficient	-.254	.254	-.137	1.000**	-.293	.293	-.132	1.000	-.178	.216
	Sig. (2-tailed)	.176	.176	.469		.116	.116	.485		.348	.251
UND Input Oriented	Correlation Coefficient	.546**	-.546**	.565**	-.178	.480**	-.480**	.555**	1.000	-.405*	-.405*
	Sig. (2-tailed)	.002	.002	.001	.348	.007	.007	.001	.348		.027
UND Output Oriented	Correlation Coefficient	-.950**	.950**	-.962**	-.216	-.971**	.971**	-.216	-.405*	1.000	1.000
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.251	.000	.000	.000	.251	.027	

Τα αποτελέσματα του Spearman's test απλοποιούνται σε έναν πίνακα συσχέτισης για καλύτερη ανάγνωση των αποτελεσμάτων:

Πίνακας 7: Συσχέτιση μοντέλων για το 2000

Model Efficiencies 2000										
Spearman's rho	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO2)	CCR Output Oriented (CO2)	BCC Input Oriented (CO2)	BCC Output Oriented (CO2)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	1.000									
CCR Output Oriented	-1.000	1.000								
BCC Input Oriented	0.978	-0.978	1.000							
BCC Output Oriented	-0.276	0.276	-0.150	1.000						
CCR Input Oriented (CO2)	0.994	-0.994	0.963	-0.313	1.000					
CCR Output Oriented (CO2)	-0.994	0.994	-0.963	0.313	-1.000	1.000				
BCC Input Oriented (CO2)	0.978	-0.978	1.000	-0.150	0.963	-0.963	1.000			
BCC Output Oriented (CO2)	-0.276	0.276	-0.150	1.000	-0.313	0.313	-0.150	1.000		
UND Input Oriented	0.544	-0.544	0.562	-0.131	0.503	-0.503	0.562	-0.131	1.000	
UND Output Oriented	-0.964	0.964	-0.961	0.242	-0.970	0.970	-0.961	0.242	-0.426	1.000

Πίνακας 8: Συσχέτιση μοντέλων για το 2005

Model Efficiencies 2005										
Spearman's rho	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO2)	CCR Output Oriented (CO2)	BCC Input Oriented (CO2)	BCC Output Oriented (CO2)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	1.000									
CCR Output Oriented	-1.000	1.000								
BCC Input Oriented	0.981	-0.981	1.000							
BCC Output Oriented	-0.282	0.282	-0.163	1.000						
CCR Input Oriented (CO2)	0.996	-0.996	0.971	-0.311	1.000					
CCR Output Oriented (CO2)	-0.996	0.996	-0.971	0.311	-1.000	1.000				
BCC Input Oriented (CO2)	0.981	-0.981	1.000	-0.163	0.971	-0.971	1.000			
BCC Output Oriented (CO2)	-0.282	0.282	-0.163	1.000	-0.311	0.311	-0.163	1.000		
UND Input Oriented	0.535	-0.535	0.545	-0.194	0.514	-0.514	0.545	-0.194	1.000	
UND Output Oriented	-0.963	0.963	-0.969	0.249	-0.969	0.969	-0.969	0.249	-0.424	1.000

Πίνακας 9: Συσχέτιση μοντέλων για το 2009

Model Efficiencies 2009										
Spearmans rho	CCR Input Oriented	CCR Output Oriented	BCC Input Oriented	BCC Output Oriented	CCR Input Oriented (CO2)	CCR Output Oriented (CO2)	BCC Input Oriented (CO2)	BCC Output Oriented (CO2)	UND Input Oriented	UND Output Oriented
CCR Input Oriented	1.000									
CCR Output Oriented	-1.000	1.000								
BCC Input Oriented	0.975	-0.975	1.000							
BCC Output Oriented	-0.254	0.254	-0.137	1.000						
CCR Input Oriented (CO2)	0.985	-0.985	0.957	-0.293	1.000					
CCR Output Oriented (CO2)	-0.985	0.985	-0.957	0.293	-1.000	1.000				
BCC Input Oriented (CO2)	0.973	-0.973	0.999	-0.132	0.957	-0.957	1.000			
BCC Output Oriented (CO2)	-0.254	0.254	-0.137	1.000	-0.293	0.293	-0.132	1.000		
UND Input Oriented	0.546	-0.546	0.565	-0.178	0.480	-0.480	0.555	-0.178	1.000	
UND Output Oriented	-0.950	0.950	-0.962	0.216	-0.971	0.971	-0.963	0.216	-0.405	1.000

Παρατηρείται ότι οι συσχετίσεις στους πίνακες 7,8 και 9 είναι σχεδόν ίδιες για όλα τα έτη, και αντίστοιχα για όλα τα έτη συμπεραίνουμε ότι:

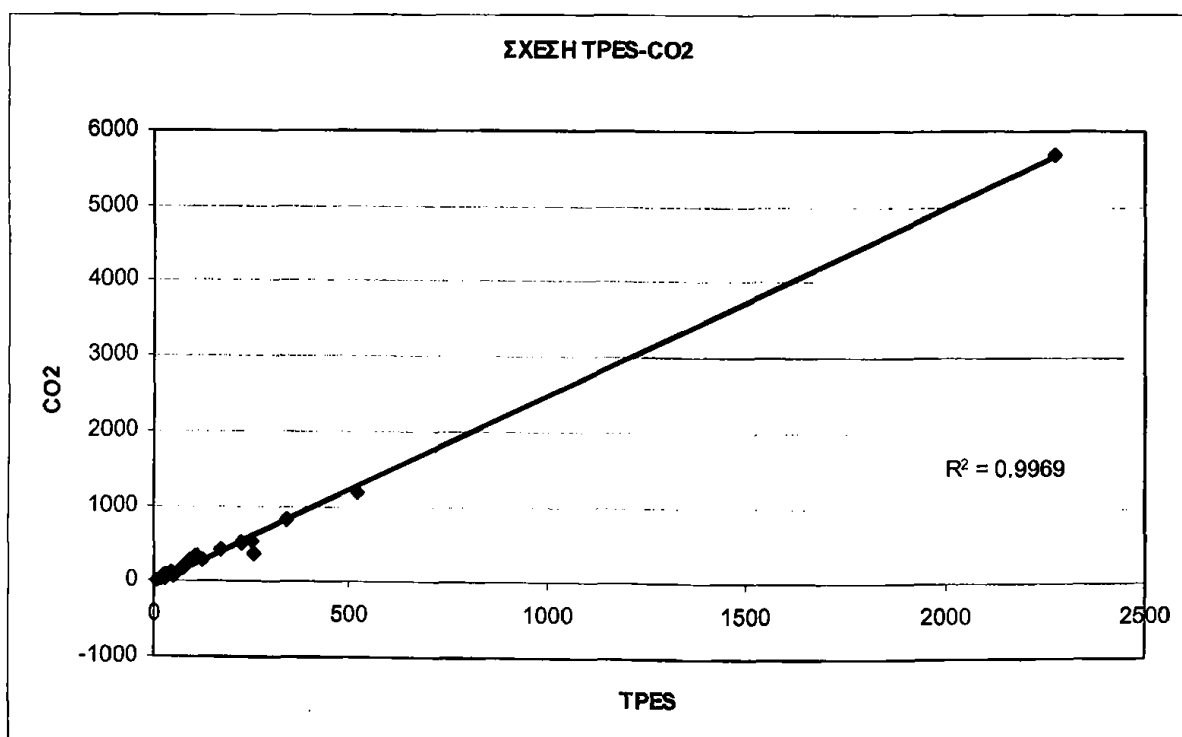
Στα μοντέλα CCR-input oriented (που δεν λαμβάνουν υπόψη τις ανεπιθύμητες εκροές) παρατηρούμε αρνητική συσχέτιση (-1.000) με τα μοντέλα CCR-output oriented (που δεν λαμβάνουν υπόψη τις ανεπιθύμητες εισροές). Το ίδιο παρατηρούμε ότι συμβαίνει και μεταξύ των αντίστοιχων μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη τις αντίστοιχες εκροές. Αυτό συμβαίνει λόγω του τρόπου υπολογισμού των μοντέλων, τα οποία για κάθε DMU δίνουν αντίστροφες τιμές αποδοτικότητας μεταξύ τους, πράγμα που μεταφράζεται σε ακριβώς αντίστροφη κατάταξη μεταξύ των DMU στα μοντέλα.

Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων CCR-input oriented και BCC-input oriented. Αυτό ισχύει και για την περίπτωση των μοντέλων που δεν λαμβάνουν υπόψη τις ανεπιθύμητες εκροές και αυτών που τις λαμβάνουν.

Σε αντίθεση με αυτό, παρατηρούμε ότι τα μοντέλα CCR-output oriented και BCC-output oriented (που δεν λαμβάνουν υπόψη τις ανεπιθύμητες εκροές και αυτών που τις λαμβάνουν) δεν έχουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους.

Οι διαφορές στην αποδοτικότητα των μοντέλων λόγω της παρουσίας διοξειδίου του άνθρακα στις εισροές μπορούν να εξηγηθούν ως εξής:

Παρατηρώντας τα τέσσερα πρώτα μοντέλα και στις συνέχεια τα τέσσερα επόμενα είναι εμφανές από τις συσχετίσεις των τεσσάρων ζευγαριών (1-5, 2-6, 3-7, 4-8) -που πλησιάζουν τη μονάδα- ότι η παρουσία ή όχι του διοξειδίου του άνθρακα ως εισροή, δεν αλλοιώνει την κατάταξη των χωρών, για όλα τα υπό μελέτη έτη. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει πάρα πολύ υψηλή συσχέτιση ($R^2=0.9969$) των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα με την συνολική πρωτογενή ενεργειακή παραγωγή (TPES) στα δεδομένα οπότε το διοξείδιο του άνθρακα (που λαμβάνεται ως εισροή). Γεγονός που αναφέρθηκε και νωρίτερα στους λόγους επιλογής εισροών-εκροών, αφού η συνολική πρωτογενής ενεργειακή παραγωγή είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα λόγω της παραγωγικής διαδικασίας. Η υψηλή συσχέτιση αυτή φαίνεται στο παρακάτω γράφημα:



2.5. Ομότιμες μονάδες

Ομότιμες μονάδες (peer groups), ή σεν αναφοράς (reference set) είναι οι μονάδες οι οποίες αποτελούν το μέτρο σύγκρισης για μια λιγότερο αποδοτική μονάδα, αποτελούν παράδειγμα «καλής λειτουργίας», και θέτουν στόχους για βελτίωση. Τα σχετικά αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα, όπου εμφανίζονται όλες οι ομότιμες μονάδες για το τελευταίο έτος ανάλυσής μας (2009) για το μοντέλο των ανεπιθύμητων εκροών με προσανατολισμό στις εισροές.

Παρατηρούμε ότι από τις 30 χώρες του δείγματος, οι 23 εμφανίζονται να έχουν ομότιμες. Αυτό συμβαίνει διότι οι 7 χώρες που λείπουν έχουν επιτύχει την τέλεια αποδοτικότητα και για αυτές δεν υπάρχουν επιπλέον περιθώρια για βελτίωση. Έτσι, ομότιμες μονάδες για αυτές τις χώρες αποτελεί ο εαυτός τους.

Στον πίνακα παρουσιάζεται η συχνότητα με την οποία η κάθε μονάδα εμφανίζεται στο σύνολο αναφοράς των μονάδων του δείγματος. Παρατηρούμε ότι η Αυστραλία και το Λουξεμβούργο είναι η πιο συχνά εμφανιζόμενες χώρες, κάτι που εξηγείται εύκολα αφού η σύνθεση των εισροών και εκροών τους αποτελούν παράδειγμα προς μίμηση για πολλές από τις χώρες του δείγματος. Ωστόσο, η Ισλανδία δεν εμφανίζεται καθόλου στα σύνολα αναφοράς. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί επειδή για το συγκεκριμένο έτος το μίγμα εισροών και εκροών της δεν είναι παρόμοιο με αυτό των υπόλοιπων μονάδων.

Πίνακας 1: Ομότιμες μονάδες (2009)

Αυστρία	Αυστραλία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Βέλγιο	Αυστραλία, Λουξεμβούργο
Καναδάς	Αυστραλία, Λουξεμβούργο, Πολωνία, Ηνωμένες Πολιτείες
Τσεχία	Αυστραλία, Εσθονία, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Δανία	Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Φινλανδία	Αυστραλία, Εσθονία, Λουξεμβούργο
Γαλλία	Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες
Γερμανία	Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες
Ουγγαρία	Εσθονία, Ελλάδα, Πολωνία
Ιρλανδία	Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Ιταλία	Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες
Ιαπωνία	Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες
Ολλανδία	Αυστραλία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Νέα Ζηλανδία	Αυστραλία, Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Νορβηγία	Αυστραλία, Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Πορτογαλία	Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Σλοβακία	Εσθονία, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Σλοβενία	Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Ισπανία	Αυστραλία, Πολωνία
Σουηδία	Αυστραλία, Εσθονία, Ελλάδα, Λουξεμβούργο
Ελβετία	Ελλάδα, Λουξεμβούργο, Πολωνία
Τουρκία	Αυστραλία, Πολωνία
Ηνωμένο Βασίλειο	Αυστραλία, Ηνωμένες Πολιτείες

3. Συμπεράσματα – Προοπτικές

Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε η μέθοδος DEA για την μέτρηση της περιβαλλοντικής επίδοσης σε 30 χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. για τα έτη 2000, 2005 και 2009. Η εκτίμηση της επίδοσης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μοντέλου σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CCR), του μοντέλου μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (BCC) και του μοντέλου των ανεπιθύμητων εκροών (undesirable-measure model).

Τα πρώτα τέσσερα μοντέλα ήταν τα μοντέλα σταθερών και μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας και αφορούσαν τη μελέτη χωρίς να ληφθούν υπόψη οι ανεπιθύμητες εκροές. Επόμενο βήμα ήταν η εκτίμηση των ίδιων μοντέλων αλλά με τη διαφορά ότι εδώ οι ανεπιθύμητες εκροές εκτιμώνται σαν εισροές. Το τελευταίο βήμα είναι η εκτίμηση τους με το μοντέλο των ανεπιθύμητων εκροών όπου παρουσιάζονται οι εισροές, αλλά οι επιθυμητές και οι ανεπιθύμητες εκροές. Η επιλογή των μοντέλων γίνεται και με τους δύο προσανατολισμούς: είτε με την ελαχιστοποίηση των εισροών είτε με τη μεγιστοποίηση των εκροών.

Ακολούθησαν τα αποτελέσματα κατάταξης και πραγματοποιήθηκε το Spearman' s test για να διαπιστωθεί εάν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στα εξεταζόμενα μοντέλα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι περισσότερες χώρες που εξετάστηκαν αποδείχθηκαν μη αποδοτικές περιβαλλοντικά. Στα μοντέλα που παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα έδειξαν παρόμοια αποτελέσματα, και 2 χώρες φάνηκαν να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές με τη μέγιστη περιβαλλοντική επίδοση σε όλα τα έτη που εξετάζονται και σε όλα τα μοντέλα. Αυτές είναι η Ισλανδία και το Λουξεμβούργο. Παρατηρώντας τις εισροές και τις εκροές των χωρών αυτών μπορούμε να πούμε επιπλέον ότι η Ισλανδία έχει τις λιγότερες ανεπιθύμητες εκροές σε σχέση με τις εισροές. Το γεγονός αυτό παράγει υπερβολικά μεγάλες τιμές αποδοτικότητας και μοντέλα όπως το CCR (input-output oriented) εκτιμούν τις υπόλοιπες τιμές αποδοτικότητας σε υπερβολικά χαμηλά(ή υψηλά, ανάλογα με τον προσανατολισμό) επίπεδα. Επιπλέον, οι πιο μη αποδοτικές περιβαλλοντικά χώρες ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Τουρκία και η Γαλλία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη:

Ali, A., Seiford, L.M., (1990). *Translation invariance in data envelopment analysis*. *Operations Research Letters*, 10, 403-405.

Bian, Y., Yang, F., (2010). Resource and environmental efficiency analysis of provinces in China: A DEA approach based on Shannon's entropy. *Energy Policy* 38, 1909-1917.

Camarero, M., Picazo-Tadeo, A.J., Tamarit, C., (2008). *Is the environmental performance of industrialized countries converging? A "Sure" approach to testing for convergence*. *Ecological Economics* 66, 653-661.

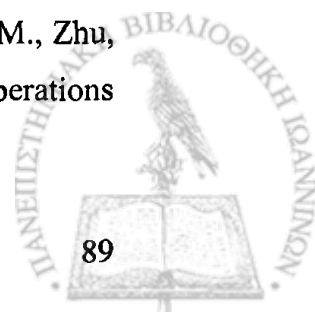
Charnes A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). *Measuring efficiency of decision making units*. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.

Chen, C., Delmas, M., (2012). *Measuring Eco-inefficiency: A New Frontier Approach*. *UCLA, Institute of the Environment and Sustainability*, Working Paper 4.

Chung, Y.H., Färe, R., Grosskopf, S., (1997). *Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach*. *Journal of Environmental Management* 51, 229-240.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd ed.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J., (2011). *Data envelopment analysis: History, Models and Interpretations*. Chapter 1. p. 1-39. in Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J., (eds) *Handbook on Data Envelopment Analysis*. *International Series in Operations Research & Management Science* Volume 164.



Dyckhoff, H., Allen, K., 2001. *Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA)*. European Journal of Operational Research 132, 312-325.

Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K., Pasurka, C., (1989). *Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach*. The Review of Economics and Statistics 71, 90-98.

Färe, R., Grosskopf, S., Hernandez-Sancho, F., (2004). *Environmental performance: An index number approach*. Resource and Energy Economics 26, 343-352.

Färe, R., Grosskopf, S., (2004). *Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment*. European Journal of Operational Research 157, 242-245.

Jasch, C., (1999) *Environmental performance evaluation and indicators*, Journal of Cleaner Production 8, 79-88.

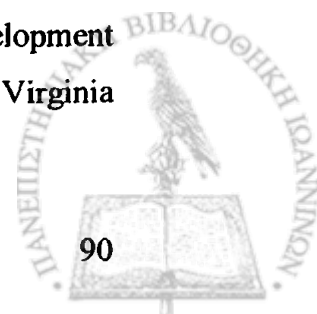
Kortelainen, M., (2008). *Dynamic environmental performance analysis: A Malmquist index approach*. Ecological Economics 64, 701-715.

Kumar, S., Khanna, M., (2009). *Measurement of environmental efficiency and productivity: a cross-country analysis*. Environmental and Development Economics, Volume 14, Issue 04, 473-495.

Liu, W.B., Meng, W., Li, X.X., Zhang, D.Q., (2010). *DEA models with undesirable inputs and outputs*. Annals of Operational Research, 173, 177-194.

Lozano, S., Gutiérrez, E., (2008). *Non-parametric frontier approach to modeling the relationships among population, GDP, energy consumption and CO₂ emissions*. Ecological Economics 66, 687-699.

Pasupathu, K.S., (2002). *Modeling Undesirable Outputs in Data Envelopment Analysis: Various Approaches*. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.



Perotto, E., Canziani, R., Marchesi, R., Butelli, P., (2008). *Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study*. Journal of Cleaner Production 16, 517-530.

Pittman, R.W.,(1983). *Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs*. The Economic Journal, Vol. 93, No. 372, 883-891.

Ramanathan, R., (2003). *An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement*.

Ramanathan, R., (2005a). *An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa*. Energy 30, 2831-2842.

Reinhard, S., Lovell, C.A.K., Thijssen, G., (2000). *Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA*. European Journal of Operational Research 121, 287-303.

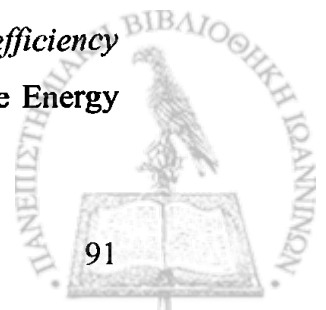
Sahoo, B.K., Luptacik, M., Mahlberg, B., (2011). *Alternative measures of environmental technology structure in DEA: An application*. European Journal of Operational Research 215, 750-762.

Scheel, H., (2001). *Undesirable outputs in efficiency valuations*. European Journal of Operational Research 132, 400-410.

Seiford, L.M., Zhu, J., (2002). *Modeling undesirable factors in efficiency evaluation*. European Journal of Operational Research 142, 16-20.

Seiford, L.M., (2005). *A response to comments on modeling undesirable factors in efficiency evaluation*. European Journal of Operational Research 161, 579-581.

Song, M., An, Q., Zhang, W., Wang, Z., Wu, J., (2012). *Environmental efficiency evaluation based on data envelopment analysis*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 4465-4469.



Thoresen, J., (1999). *Environmental performance evaluation – a tool for industrial improvement*. Journal of Cleaner Production 7, 365-370.

Tone, K., (2001). *A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis*. European Journal of Operational Research 130, 498-509.

Yang, H., Pollitt, M., (2010). *The necessity of distinguishing weak and strong disposability among undesirable outputs in DEA: Environmental performance of Chinese coal-fired power plants*. Energy Policy 38, 4440-4444.

Zaim, O., Taskin, F., (2000a). *Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach*. Journal of Environmental Management 58, 95-107.

Zaim, O., (2004). *Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: a DEA framework*. Ecological Economics 48, 37-47.

Zhang, B., Bi, J., Fan, Z., Yuan, Z., Ge, J., (2008). *Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach*. Ecological Economics 68, 306-316.

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2006b). *Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance*. Ecological Economics 60, 111-118.

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2007). *A non-radial DEA approach to measuring environmental performance*. European Journal of Operational Research 178, 1-9.

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2008). *Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies*. Energy Economics 30, 1-14.



Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2008). *A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies*. European Journal of Operational Research 189, 1-18.

Zhou, P., Ang, B.W., (2008). *Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance*. Energy Policy 36, 2911-2916.

Zhu, J., (2009). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking*. International Series in Operations Research and Management Science, Vol.126, 2nd ed.

Zofio, J.L., Prieto, A.M., (2001). *Environmental efficiency and regulatory standards: The case of CO₂ emissions from OECD industries*. Resource and Energy Economics 23, 63-83.