

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



**Ανάπτυξη συστήματος μέτρησης της**  
**αποτελεσματικότητας μονάδων παραγωγής**  
**ηλεκτρικής ενέργειας (αξιολόγηση, αυτοαξιολόγηση)**

Διπλωματική Εργασία

**Δημήτριος Αχίλλας**

Εξεταστική Επιτροπή:  
Νικόλαος Ματσατσίνης  
Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης  
Γεώργιος Σταυρακάκης

**Χανιά 2015**



## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από το τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του καθηγητή του τμήματος Κωνσταντίνου Καλαϊτζάκη.

Ευχαριστώ το κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για την ανάθεση της διπλωματικής και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ευχαριστώ τον καθηγητή του τμήματος κ. Γεώργιο Σταυρακάκη για τη συμμετοχή του στην επιτροπή εξέτασης.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Καθηγητή Νικόλαο Ματσατσίνη του τμήματος ΜΠΔ για το πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε και τη πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσε για την περάτωση αυτής της διπλωματικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που δημιούργησα στα Χανιά και με στήριξαν πάμπολλες φορές και ιδιαίτερα τους Γεώργιο Κωστούλα και Μάριο Ψυχογιό που όποτε είχα ανάγκη με φιλοξένησαν σπίτι τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που όλα αυτά τα χρόνια με στήριξαν ψυχολογικά και οικονομικά με μεγάλη υπομονή και αρκετές θυσίες ώστε να γίνω πτυχιούχος μιας πολύ καλής σχολής.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω αυτή τη διπλωματική στη γιαγιά μου που δυστυχώς για λίγους μήνες δεν πρόλαβε να με δει πτυχιούχο.



## Περίληψη

Η παγκοσμιοποίηση και ο ανταγωνισμός τα τελευταία χρόνια έχουν καταστήσει την αναγκαία την αξιολόγηση των επιχειρήσεων - οργανισμών. Η αξιολόγηση αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες για το σχεδιασμό της στρατηγικής για την ανάπτυξη της επιχείρησης - οργανισμού. Δύο τρόποι για την αξιολόγηση μιας επιχείρησης - οργανισμού είναι η μέτρηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας. Πολλές φορές η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα συγχέονται. Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι η μέτρηση της αποτελεσματικότητας γίνεται στο αποτέλεσμα ενώ η μέτρηση της αποδοτικότητας γίνεται στο τρόπο που προκύπτει το αποτέλεσμα. Στο τομέα της ενέργειας η αξιολόγηση μπορεί να γίνει στη παραγωγή ενέργειας, στη διανομή και στη κατανάλωση. Στη παραγωγή ενέργειας η αξιολόγηση γίνεται στις μονάδες παραγωγής ενέργειας και συνηθίζεται να αξιολογούνται οι μονάδες με βάση την αποδοτικότητα τους.

Στη παρούσα διπλωματική πραγματοποιήθηκε μία αξιολόγηση των πέντε μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου σε ένα διάστημα 7 χρόνων. Για την αξιολόγηση των μονάδων δημιουργήθηκε ένα σύστημα σε περιβάλλον MATLAB το οποίο αξιολογεί και συγκρίνει τις μονάδες. Ο αλγόριθμος είναι βασισμένος στη μέθοδο περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων (DEA). Αυτή η μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη στη μέτρηση αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας καθώς είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την αξιολόγηση μονάδων που δέχονται πολλαπλές εισόδους και παράγουν πολλαπλές εξόδους. Οι μονάδες αξιολογήθηκαν ως προς την αποδοτικότητα τους με βάση τη παραγωγή ενέργειας και με βάση την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα μιας και οι μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη της Ελλάδας βρίσκονται στις πρώτες θέσεις ρύπανσης στην Ευρώπη.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζουν από τις πέντε μονάδες που αξιολογήθηκαν τις μονάδες 1 και 2 να είναι λιγότερο αποδοτικές σε σχέση με τη μονάδα 5 που είναι σχεδόν αποδοτική κατά τη διάρκεια των 7 χρόνων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η περιβαλλοντική απόδοση των μονάδων καθώς εμφανίζονται να έχουν χαμηλή αποδοτικότητα. Από αυτό προκύπτει το συμπέρασμα ότι για τη βελτίωση των μονάδων ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη μείωση των ρύπων που αποβάλλονται από τις μονάδες κατά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας.



## Abstract

In recent years, globalization and increasingly competitive corporate environment have rendered the assessment of companies and corporations completely necessary. Assessment processes constitute a major factor for the development and the design of growth strategy of the corporation – organization. Efficiency and effectiveness are the two metrics being used for the assessment of a corporation – organization. Quite frequently, terms of efficiency and effectiveness are confused and interchangeably used. The difference between these two terms is that the measurement of effectiveness is conducted on the resulting product, while efficiency is measured over the process that generates the resulting product. In energy field, assessment procedures are applicable on the energy production process, as well as on distribution and consumption processes. Assessment of energy production processes is performed at power production units in terms of efficiency.

In the present thesis, the assessment of the five units of Agios Dimitrios Power Plant was based on a seven-year dataset. A MATLAB-based system was implemented in order to evaluate and compare these units. The algorithm being used in the system is based on Data Envelopment Analysis (DEA) method, which is widely used in efficiency measurements of power production units, due to the fact that it allows the assessment of units that receive multiple inputs and generate multiple outputs as well. The units were assessed in terms of efficiency based on the power production rate and the carbon dioxide emission, considering the fact that power production units in Greece mainly use lignite combustion and, as a result, are among the most polluting in Europe.

The results of the current thesis lead to the conclusion that units 1 and 2 are less effective than unit 5, which is almost effective over the seven-year measurement period. Another interesting finding was the low efficiency of the units in terms of environment. This fact underlines the necessity of the reduction of pollutants emitted by the units during the power production process.





## Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Αποτελεσματικότητα & Αποδοτικότητα .....	1
1.2 Σκοπός - Στόχος.....	2
1.3 Δομή εργασίας .....	3
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....</b>	<b>4</b>
2.1 Αποτελεσματικότητα & Αποδοτικότητα.....	4
2.2 Μέτρηση αποδοτικότητας.....	5
2.2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2.2 Μέθοδοι.....	6
2.2.3 Τομείς.....	7
2.3 Βιβλιογραφική διερεύνηση.....	8
2.4 Μέθοδος DEA .....	10
2.4.1 Εισαγωγή.....	10
2.4.2 Μέτρηση σχετικής αποδοτικότητας .....	11
2.4.3 Βασικό μοντέλο CCR.....	14
2.4.4 Βασικό μοντέλο BCC.....	18
2.4.5 Κύριες διαφορές ανάμεσα σε BCC και CCR .....	21
2.4.6 Βελτίωση μη αποδοτικών μονάδων .....	21
2.4.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της DEA .....	23
2.5 Μοντελοποιήσεις και Κριτήρια υφιστάμενων ερευνών.....	24
2.6 Συμπεράσματα ερευνών .....	29
<b>3. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>31</b>
3.1 Εισαγωγή .....	31
3.2 Η Δημόσια Ηλεκτρική Εταιρία.....	32
3.3 Σταθμοί καύσης λιγνίτη .....	34
3.4 ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου .....	35
3.5 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	36
3.5 Δεδομένα μονάδων παραγωγής .....	38
3.6 Μοντελοποίηση με τη μέθοδο DEA .....	39
3.6.1 Εισαγωγή.....	39
3.6.2 Μονάδες απόφασης (DMUs) .....	39
3.6.3 Είσοδοι & Έξοδοι των μονάδων απόφασης.....	40
3.6.4 Μοντέλα & Προσανατολισμός.....	40

3.6.5 Αποτελέσματα .....	41
3.6.6 Συνοπτική περιγραφή της μοντελοποίησης .....	41
<b>4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ &amp; ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ DEA PROGRAM.....</b>	<b>42</b>
4.1 Εισαγωγή .....	42
4.2 Αλγόριθμος.....	43
4.3 DEA Program .....	45
4.3.1 Εισαγωγή.....	45
4.3.2 Εισαγωγή δεδομένων .....	46
4.3.3 Επιλογή Μοντέλου & Προσανατολισμού.....	51
4.3.4 Αποτελέσματα & Αποθήκευση.....	52
4.4 Παράδειγμα Συστήματος .....	54
<b>5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>61</b>
5.1 Εισαγωγή .....	61
5.2 Δεδομένα.....	62
5.2.1 Μονάδες απόφασης .....	62
5.2.2 Είσοδοι συστήματος .....	63
5.2.3 Έξοδοι συστήματος .....	64
5.3 Σενάρια.....	64
5.4 Αποτελέσματα .....	67
<b>6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>78</b>
6.1 Συμπεράσματα .....	78
6.2 Μελλοντικές έρευνες.....	80
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>81</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>84</b>

# 1.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Αποτελεσματικότητα & Αποδοτικότητα

Η παγκοσμιοποίηση και ο ανταγωνισμός τα τελευταία 100 χρόνια ανάγκασαν τους οργανισμούς - επιχειρήσεις να προσπαθούν να βρουν τρόπους για την αύξηση της αποτελεσματικότητας τους σε σχέση με παρόμοιους οργανισμούς - επιχειρήσεις. Ένας τρόπος για την αύξηση της αποτελεσματικότητας είναι η επίτευξη της αύξησης της αποδοτικότητας των μονάδων του οργανισμού - επιχείρησης. Πολλές φορές η αποτελεσματικότητα συγχέεται με την αποδοτικότητα από πολλά στελέχη. Η κυρία διαφορά μεταξύ της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας είναι ότι η αποτελεσματικότητα επικεντρώνεται στην επίτευξη των βέλτιστων αποτελεσμάτων ενώ η αποδοτικότητα επικεντρώνεται στην επίτευξη του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας των μονάδων.

Ένας γενικός ορισμός της **αποτελεσματικότητας (effectiveness)** είναι: Ο βαθμός επίτευξης των στόχων και των δραστηριοτήτων που έχουν θέσει οι μάνατζερ των οργανισμών - επιχειρήσεων . Ο λόγος που ορίζει την αποτελεσματικότητα είναι:

$$\text{Αποτελεσματικότητα} = \frac{\text{Πραγματικό αποτέλεσμα των λειτουργιών}}{\text{Αναμενόμενο αποτέλεσμα των λειτουργιών}}$$

Ένας γενικός ορισμός της **αποδοτικότητας (efficiency)** είναι: Ο βαθμός επίτευξης του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας των λειτουργιών - μονάδων ενός οργανισμού - επιχείρησης. Ο λόγος που ορίζει την αποδοτικότητα είναι:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Πόροι που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν}}{\text{Πόροι που χρησιμοποιήθηκαν}}$$

Η αύξηση της αποδοτικότητας ενός οργανισμού - επιχείρησης δεν συνεπάγεται πάντα ότι θα υπάρξει και αύξηση της αποτελεσματικότητας και επίτευξη των στόχων. Το ίδιο ισχύει και για την αποτελεσματικότητα καθώς η αύξηση της δεν συνεπάγεται πάντα και αύξηση της αποδοτικότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αποδοτικότητα σχετίζεται με το τρόπο λειτουργίας μέσω της αύξησης των υπηρεσιών ή τη μείωση των αγαθών που χρησιμοποιούνται ενώ η αποτελεσματικότητα με την αύξηση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο τις περισσότερες φορές η σχέση μεταξύ τους είναι αναλογική, ιδιαίτερα σε επιχειρήσεις που παράγουν κάποιο αγαθό ή υπηρεσία μέσω των μονάδων που καταναλώνουν μετρήσιμα αγαθά, και η αλλαγή της αποδοτικότητας επηρεάζει και την αποτελεσματικότητα. Αυτός είναι ο λόγος που αρκετοί οργανισμοί - επιχειρήσεις επικεντρώνονται στην αύξηση της αποδοτικότητας στη παραγωγική διαδικασία ώστε να επιτύχουν την επίτευξη των στόχων.

## 1.2 Σκοπός - Στόχος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος για την μέτρηση και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μονάδων παραγωγής ενέργειας και η εξαγωγή μιας κατάταξης των μονάδων σε αποτελεσματικές και μη-αποτελεσματικές καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των μη-αποτελεσματικών μονάδων. Στόχος είναι η αξιολόγηση μέσω του συστήματος που θα αναπτυχθεί των πέντε ατμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας του εργοστασίου της ΔΕΗ στον Άγιο Δημήτριο του νομού Κοζάνης και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποδοτικότητα των μονάδων. Ακόμα στόχος είναι η αυτοαξιολόγηση των μονάδων από τους εργαζόμενους του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου μέσω ενός ερωτηματολογίου που θα τους δοθεί να συμπληρώσουν.

## 1.3 Δομή εργασίας

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια, την βιβλιογραφία και τα παραρτήματα τα οποία είναι τέσσερα. Μια περιγραφική παρουσίαση των κεφαλαίων δίνεται παρακάτω:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ορισμοί της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των οργανισμών - επιχειρήσεων ενώ παρουσιάζεται και η διαφοροποίηση μεταξύ αυτών των δύο όρων. Ακόμα παρουσιάζεται ο σκοπός, ο στόχος και η δομή παρούσας διπλωματικής εργασίας.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέτρηση της αποδοτικότητας σε όλους τους τομείς και στο τέλος εξειδικεύεται στο τομέα ενέργειας. Παρουσιάζονται οι μέθοδοι που υπάρχουν για τη μέτρηση της αποδοτικότητας καθώς και κάποιες έρευνες που έχουν γίνει για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων ενέργειας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η μέθοδος της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA) που χρησιμοποιείται στη παρούσα διπλωματική εργασία. Στη συνέχεια γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί σε μονάδες παραγωγής ενέργειας με τη μέθοδο DEA και το κεφάλαιο τελειώνει με κάποια συμπεράσματα και που πρέπει να δοθεί προσοχή κατά την εκπόνηση της εργασίας
- Στο τρίτο κεφαλαίο γίνεται μια παρουσίαση της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, του εργοστασίου του ΑΗΣ Αγίου Δημήτριου και της λειτουργίας των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Στη συνέχεια γίνεται μια περιγραφική παρουσίαση της μοντελοποίησης του προβλήματος με τη μέθοδο DEA.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του συστήματος που είναι βασισμένο στη μέθοδο DEA το οποίο δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση των μονάδων. Δίνεται και ένα παράδειγμα λειτουργίας του συστήματος σε άλλο διαφορετικό τομέα ώστε να φανεί ότι το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται η παρουσίαση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και των σεναρίων βάση των οποίων έγινε η αξιολόγηση. Στη συνέχεια παρουσιάζεται τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων ενώ γίνονται και κάποιες προτάσεις βελτίωσης.
- Στο έκτο κεφάλαιο το οποίο είναι και το τελευταίο γίνεται μια μικρή ανασκόπηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και ένας απολογισμός των στόχων που είχαν μπει στην αρχή της διπλωματικής εργασίας. Ακολουθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντικές έρευνες καθώς και για την επέκταση του συστήματος.

# 2.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Αποτελεσματικότητα & Αποδοτικότητα

Η ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας από τον 19ο αιώνα και η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας τον 20ο αιώνα δημιούργησαν ένα πλήρες ανταγωνιστικό περιβάλλον.. Αυτό είχε σαν γεγονός στην ισχυροποίηση των όρων της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας. Δημιουργήθηκαν θέσεις εργασίες αποκλειστικά προσανατολισμένες στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας ενώ αρκετοί μέθοδοι αναπτύχθηκαν για αυτό το λόγο.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας αντικατέστησε το εργατικό δυναμικό με μηχανήματα που παρήγαγαν σε μεγάλη κλίμακα και σε μικρότερο χρόνο. Αυτό το γεγονός κατέστησε στις επιχειρήσεις την αποδοτικότητα των μηχανών ως το κύριο παράγοντα για την αύξηση της παραγωγικότητας και της αποτελεσματικότητας της επιχείρησης. Αυτός ήταν ο λόγος που πολλές έρευνες επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη μεθόδων για την μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων και των λειτουργιών της επιχείρησης.

Αυτό οδήγησε στο να θεωρηθεί μία μονάδα ή μία λειτουργία μιας επιχείρησης ως ένα σύστημα που δέχεται κάποιες εισόδους και παράγει κάποιες εξόδους. Οι εισοδοι και οι εξοδοι μπορεί να είναι αγαθά ή υπηρεσίες.

Ο ορισμός που επικράτησε για την **αποδοτικότητα (efficiency)** είναι: Η ικανότητα των μονάδων παραγωγής να αυξήσουν όσο είναι δυνατόν την παράγωγή μιας εξόδου

μετασχηματίζοντας ένα δεδομένο σύνολο εισροών μέσω ενός άγνωστου μηχανισμού παραγωγής.

Η παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθεί στη μέτρηση της αποδοτικότητας καθώς θα αξιολογηθούν μονάδες παραγωγής ενέργειας (DMUs) που η αποτελεσματικότητά τους δηλαδή η επίτευξη των στόχων βασίζεται στην αύξηση της παραγωγικότητας που επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης και της αύξησης της αποδοτικότητας

## 2.2 Μέτρηση αποδοτικότητας

### 2.2.1 Εισαγωγή

Η μέτρηση της αποδοτικότητας των παραγωγικών μονάδων ενός οργανισμού είναι σημαντική τόσο για την αύξηση της παραγωγικότητάς της και της αποτελεσματικότητας όσο και για την χάραξη της οικονομικής πολιτικής του οργανισμού για το μέλλον. Ωστόσο μέχρι τη δεκαετία του 1950 η μέτρηση της αποδοτικότητας των παραγωγικών μονάδων θεωρούνταν πολύπλοκη καθώς οι μέθοδοι εκείνης της εποχής απέβλεπαν στο να υπολογίσουν θεωρητικά αναλυτικές συναρτήσεις παραγωγής αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα της κακής εκτίμησης της συνάρτησης παραγωγής από τους εκάστοτε αναλυτές.

Το 1957 ο Farrell et al.(1957) διατύπωσε μια διαφορετική προσέγγιση αγνοώντας την εσωτερική διαδικασία και βασιζόμενος απλά στις εμπειρικές μετρήσεις των εισόδων και των εξόδων καθώς και στη σύγκρισή της αποδοτικότητας της κάθε μονάδας όχι με μια ιδανική κατάσταση παραγωγής αλλά με μια υφιστάμενη κατάσταση.

Έτσι ο Farrell et al.(1957) εξέφρασε την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής με τον δείκτη αποδοτικότητας οποίος εκφράζεται από τον λόγο των συνολικών εκροών προς τις συνολικές εισροές:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Συνολικές Εκροές}}{\text{Συνολικές Εισροές}}$$

Αυτός ήταν ο πρώτος που εισήγαγε τεχνικές γραμμικού προγραμματισμού για την μέτρηση της αποδοτικότητας και που διέκρινε την αποδοτικότητα σε Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency) και σε Οικονομική Αποδοτικότητα (Allocative Efficiency).

Τα τελευταία χρόνια με τη ραγδαία αύξηση των βιομηχανιών, την παράλληλη αύξηση των ρύπων, την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από αυτούς και την ανάγκη για αντιμετώπιση και μείωση των ρύπων εισήχθη ένας νέος όρος, η **περιβαλλοντική αποδοτικότητα (eco-efficiency)**.

Ένας γενικός ορισμός της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας είναι ο λόγος της προστιθέμενης αξίας των προϊόντων ή των υπηρεσιών που παρήχθησαν προς την περιβαλλοντική επίπτωση κατά τη διαδικασία παραγωγής αυτών προϊόντων ή υπηρεσιών:

$$\text{Περιβαλλοντική Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Αξία προϊόντων}}{\text{Περιβαλλοντική επίπτωση}}$$

### 2.2.2 Μέθοδοι

Η πιο συνηθισμένη και απλή μέθοδος για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μιας μονάδας είναι η μέθοδος των **δεικτών απόδοσης** (performance indicators). Τυπικά ένας δείκτης απόδοσης είναι ο λόγος μίας εξόδου της μονάδας προς μίας εισόδου της μονάδας. Το μειονέκτημα των δεικτών απόδοσης είναι ότι σε μονάδες με πολλαπλούς εισόδους και εξόδους δεν μπορούν να αποτυπώσουν πως οι πολλαπλές εισοδοί επηρεάζουν ταυτόχρονα τις πολλαπλές εξόδους. Έτσι οι δείκτες απόδοσης είναι χρήσιμοι για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων που έχουν μία είσοδο και μία έξοδο.

Βασιζόμενοι στην έρευνα του Farrell ερευνητές δημιούργησαν μεθόδους για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Αυτές ταξινομήθηκαν σε δύο ειδών μεθόδους για την μέτρηση και τη σύγκριση της αποδοτικότητας των μονάδων. Αυτές είναι οι παραμετρικές μέθοδοι και οι μη παραμετρικές μέθοδοι.

Οι κύριες παραμετρικές μέθοδοι είναι η **παλινδρόμηση ελάχιστων τετραγώνων (Ordinary Least Squares regression - OLS regression)** και η **ανάλυση στοχαστικών συνόρων (Stochastic Frontier analysis)**. Σε σύγκριση με τους δείκτες απόδοσης οι παραμετρικές μέθοδοι παρουσιάζουν καλύτερη κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας των μονάδων και μια περίληψη της απόδοσης των μονάδων σε αντίθεση με τους δείκτες απόδοσης που παρουσιάζουν απλά κάποιους δείκτες. Ωστόσο οι παραμετρικές μέθοδοι αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα.



Το πρώτο πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός του μοντέλου που θα υπολογισθεί (γραμμικό ή μη-γραμμικό, λογαριθμικό κλπ) που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένο προσδιορισμό μοντέλου. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί να αντιμετωπίσει εύκολα μονάδες με πολλαπλές εισόδους και πολλαπλές εξόδους. Προτιμάται να χρησιμοποιούνται για μέτρηση της απόδοσης μονάδων με μια είσοδο και πολλαπλές εξόδους ή με πολλαπλές εισόδους και μία έξοδο.

Η κύρια μη-παραμετρική μέθοδος είναι η **Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA)**. Σε σύγκριση με τους δείκτες απόδοσης οι μη-παραμετρικές παρουσιάζουν περισσότερες πληροφορίες για τη σχέση των εισόδων και των εξόδων. Οι μη-παραμετρικές μέθοδοι σε σύγκριση με τις παραμετρικές μεθόδους δεν χρειάζεται να προσδιορίσουν το μοντέλο που θα υπολογίσουν και έτσι αποφεύγεται το λάθος τους προσδιορισμού του μοντέλου. Επιπλέον η αντιμετώπιση της μονάδας είναι ίδια είτε έχει μία είσοδο και μία έξοδο είτε πολλαπλές εισόδους και πολλαπλές εξόδους.

### 2.2.3 Τομείς

Το ανταγωνιστικό περιβάλλον που έχει επικρατήσει τους οργανισμούς - επιχειρήσεις κατέστησε τη μέτρηση της αποδοτικότητας σε σημαντικό παράγοντα για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας και την επίτευξη των στόχων τους. Η μέτρηση της αποδοτικότητας καθιερώθηκε σε πολλούς τομείς και σε πολλών ειδών οργανισμών και επιχειρήσεων. Οι δημόσιοι οργανισμοί ήταν από τους πρώτους οργανισμούς που δοκιμάστηκαν μέθοδοι για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Αρκετές έρευνες ασχολήθηκαν με τη μέτρηση αποδοτικότητας σε δημόσιους οργανισμούς όπως δημόσια νοσοκομεία, δημόσιες επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, στο δημόσιο, δημόσιες υπηρεσίες κλπ. Έρευνες για τη μέτρηση της αποδοτικότητας υπάρχουν όμως για τους περισσότερους τομείς από τη βιομηχανία, το τουρισμό, την υγεία, την οικονομία, την παιδεία μέχρι και τον αθλητισμό. Έρευνες έχουν γίνει για τη μέτρηση της αποδοτικότητας σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικές ομάδες, τράπεζες, σε εκπαιδευτικά ιδρύματα, σε μέσα μεταφοράς καθώς και σε κάθε είδους βιομηχανία. Η διαφορά μεταξύ ιδιωτικών οργανισμών και δημόσιων ή μη κερδοσκοπικών οργανισμών είναι ότι πολλές φορές οι ιδιωτικοί οργανισμοί προσβλέπουν στη αύξηση των παραγόμενων αγαθών ή υπηρεσιών ενώ οι δημόσιοι ή μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί προσβλέπουν στη μείωση των πόρων που μετασχηματίζονται κατά τη παραγωγική διαδικασία. Για παράδειγμα ως μονάδα σε έρευνα για τα εκπαιδευτικά ιδρύματα θεωρούνται τα σχολεία που ως εισόδους μπορούν να έχουν τον αριθμό των μαθητών, τις ώρες

διδασκαλίας, τα δίδακτρα σε περίπτωση που είναι ιδιωτικά ιδρύματα, τα μαθήματα που διδάσκονται και ως εξόδους μπορεί να έχουν τους βαθμούς των μαθητών, τον αριθμό των επιτυχόντων μαθητών και το λόγο των εσόδων προς τα έξοδα. Ο τομέας της ενέργειας ήταν ένας ακόμα τομέας όπου η μέτρηση της αποδοτικότητας βοήθησε τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού να βελτιώσουν πολλά πράγματα και ως προς τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και ως τη διανομή του στους πελάτες και τις υπηρεσίες που προσέφεραν. Σε πολλές χώρες υπήρξαν έρευνες για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ενέργειας βασισμένες άλλοτε στη μείωση της κατανάλωσης των πόρων όπως είναι το πετρέλαιο, άνθρακας, άλλοτε στη αύξηση της παραγόμενης ενέργειας ενώ τα τελευταία χρόνια μετά την υπογραφή του Πρωτόκολλου του Κιότο πολλές έρευνες επικεντρώθηκαν στη μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας (eco - efficiency) καθώς οι μονάδες παραγωγής ενέργειας λόγω και του μεγέθους τους είναι από τις μονάδες που παράγουν μεγάλη ποσότητα ρύπων οι οποίοι επιβαρύνουν το περιβάλλον.

## 2.3 Βιβλιογραφική διερεύνηση

Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας είναι η παραμετρική μέθοδος ανάλυσης στοχαστικών συνόρων (Stochastic Frontier Analysis) και η μη-παραμετρική μέθοδος Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA).

Οι Kleit και Terrell et al.(2001) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των στοχαστικών συνόρων για τη μέτρηση της αποδοτικότητας 78 ατμοηλεκτρικών εργοστασίων των Ηνωμένων Πολιτειών για το 1996 συμπεραίνοντας ότι θα μπορούσε να μειωθεί το κόστος έως και 13% και παράλληλα να αυξηθεί και η παραγωγικότητα τους. Οι Farsi και Filippini et al.(2004) στην έρευνά τους χρησιμοποιούν τη μέθοδο των στοχαστικών συνόρων για τη μέτρηση της αποδοτικότητας σε οικονομικό επίπεδο 59 εργοστασίων στην Ελβετία από το 1988 έως το 1996 καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η στοχαστική ανάλυση μπορεί παρέχει πληροφορίες για το κάθε εργοστάσιο.

Η έρευνα των Sarica και Or et al.(2005) για τη μέτρηση της αποδοτικότητας 65 εργοστασίων παραγωγής ενέργειας της Τουρκίας χρησιμοποιεί τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA) καταλήγοντας σε πολλά συμπεράσματα για τη διαφορά αποδοτικότητας των δημοσίων εργοστασίων από των ιδιωτικών καθώς και τη διαφορά αποδοτικότητας των

εργοστασίων καύσης άνθρακα και των εργοστασίων καύσης φυσικού αερίου. Έτσι η αποδοτικότητα των δημοσίων είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από των ιδιωτικών και η αποδοτικότητα εργοστασίων καύσης άνθρακα είναι μεγαλύτερη από των εργοστασίων καύσης φυσικού αερίου έχοντας όμως μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κόστος. Ο Δεδούσης et. al.(2010) στην έρευνα του για τη μέτρηση αποδοτικότητας 20 υδροηλεκτρικών εργοστασίων στην Ελλάδα χρησιμοποιεί περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα εργοστάσια με λιγότερα από 10 χρόνια λειτουργίας χρειάζεται να μειώσουν τον ετήσιο χρόνο λειτουργίας για να αυξήσουν την αποδοτικότητα τους. Ο Golany et al.(1994) στην έρευνα του χρησιμοποιεί περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων για την μέτρηση της αποδοτικότητας 4 εργοστασίων του Ισραήλ συμπεραίνοντας ότι μια συστηματική μέτρηση της αποδοτικότητας με περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων θα ήταν χρήσιμη για την εύρεση μέτρων για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των εργοστασίων.

Η έρευνα των Park και Lesourd et al.(1998) για τη μέτρηση της αποδοτικότητας 64 εργοστασίων παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιεί και τη μέθοδο στοχαστικών συνόρων και τη μέθοδο περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι δύο μέθοδοι έχουν μόνο μια μερική συσχέτιση μεταξύ τους. Οι Jamasb και Pollitt et al.(2003) στην έρευνά τους χρησιμοποιούν τρεις μεθόδους για τη μέτρηση της αποδοτικότητας 63 επιχειρήσεων παραγωγής ενέργειας σε έξι ευρωπαϊκές χώρες επικεντρώνοντας την έρευνά τους στο δίκτυο διανομής ενέργειας των επιχειρήσεων. Οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μέθοδος στοχαστικών συνόρων, η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων και η μέθοδος διορθωτικών ελαχίστων τετραγώνων (COLS). Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα ανάμεσα στις τρεις μεθόδους απλά η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων βγάζει σαν αποτέλεσμα μικρότερο μέσο όρο αποδοτικότητας.

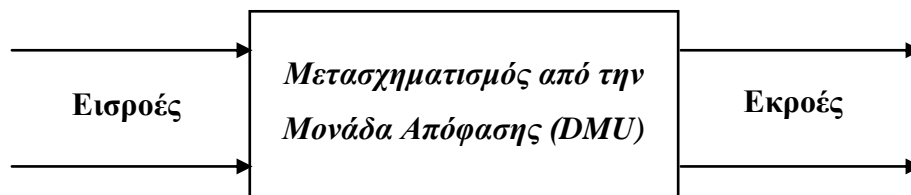
Η μέθοδος περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων είναι η πιο διαδεδομένη για τη μέτρηση αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας αφού έχει το πλεονέκτημα των πολλαπλών εισόδων και εξόδων. Τα αποτελέσματα της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων είναι πιο αξιόπιστα για μεγάλο αριθμό μονάδων αποφάσεων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες και για αυτό προτιμάται σε προβλήματα σύγκρισης πολλών μονάδων αποφάσεων που επηρεάζονται από πολλά κριτήρια. Στη παρούσα διπλωματική θα ακολουθηθεί αυτή η μέθοδος για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενώ παρακάτω όταν γίνεται αναφορά στη περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων θα χρησιμοποιείται ο όρος DEA από τα αρχικά του Data Envelopment Analysis.

## 2.4 Μέθοδος DEA

### 2.4.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (DEA) πρωτοπαρουσιάστηκε στη μελέτη των Charles, Cooper και Rhodes et al.(1978) έχοντας σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης δημόσιων σχολείων των Ηνωμένων Πολιτειών. Αποτέλεσε επέκταση της έρευνας του Farrell για την μέτρηση της τεχνικής αποδοτικότητας μιας **Παραγωγικής Μονάδας (Μονάδα Απόφασης - Decision Making Unit - DMU)** που μετατρέπει πολλαπλές εισροές (Inputs) σε πολλαπλές εκροές (Outputs) Η DEA χρησιμοποιεί την τεχνική ανάλυσης ορίων (frontier analysis) που περιγράφηκε από τον Farrell et al.(1957) αλλά το μαθηματικό μοντέλο για το χειρισμό της ανάλυσης ορίων παρουσιάστηκε στην έρευνα των Charles, Cooper και Rhodes et al.(1978).

Ως παραγωγικές μονάδες ορίζονται οι μονάδες που δέχονται έναν αριθμό εισροών (Inputs) τις μετασχηματίζουν και παράγουν έναν αριθμό εκροών (Outputs) Αυτές οι παραγωγικές μονάδες είναι ομοιογενείς, απόλυτα συγκρίσιμες και λειτουργούν στο ίδιο πλαίσιο καθώς επηρεάζονται από το ίδιο είδος και αριθμό εισροών και εκροών. Ως εισροές ορίζονται οι πόροι που δέχεται η παραγωγική μονάδα και που τους μετασχηματίζει. Ως εκροές ορίζονται οι υπηρεσίες ή τα προϊόντα που παράγονται από την παραγωγική μονάδα. Οι εισροές και εκροές δεν χρειάζεται να έχουν τις ίδιες μονάδες μέτρησης και ο αριθμός τους επηρεάζεται από τη φύση του προβλήματος, τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και πολλές φορές και από τον αριθμό των παραγωγικών μονάδων. Ο χαρακτηρισμός της παραγωγικής μονάδας ως μονάδα απόφασης γίνεται γιατί η μονάδα έχει τον έλεγχο της διαδικασίας που χρησιμοποιεί για τη μετατροπή των εισροών της σε εκροές (Σχήμα 2.1). Παρακάτω όταν γίνεται αναφορά στις παραγωγικές μονάδες θα χρησιμοποιείται ο όρος DMU από τα αρχικά Decision Making Units.



Σχήμα 2.1

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (DEA) εκτίμα την μέγιστη αποδοτικότητα κάθε μονάδας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μονάδες αποφεύγοντας η αποδοτικότητα της μονάδας να

ξεπεράσει τον αριθμό ένα. Έτσι όταν η αποδοτικότητα της μονάδας ισούται με ένα τότε αυτή η μονάδα είναι αποδοτική σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μονάδες που αξιολογούνται κάτω από τα ίδια κριτήρια.

Σε αντίθεση με άλλες παραμετρικές οικονομετρικές προσεγγίσεις, όπως η στοχαστική ανάλυση ορίων, η DEA δεν υποθέτει καμία ειδική συνάρτηση παραγωγής αλλά βασίζεται σε κοινές μεθόδους γραμμικού προγραμματισμού. Ακόμα στην DEA δεν χρειάζεται να θεσπιστούν βάρη στις εισόδους/εξόδους απαλείφοντας τον υποκειμενικό παράγοντα ενώ η μη αναγκαιότητα ύπαρξης κοινής μονάδας μέτρησης των εισόδων και εξόδων κατέστησαν την εφαρμογή της επιτυχημένη σε πολλούς και ποικίλους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως νοσοκομεία, σχολεία, εργοστάσια, σταθμούς παραγωγής ενέργειας κλπ.

Αν και η DEA αρχικά δημιουργήθηκε για την αξιολόγηση δημόσιων και μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα οργανισμών τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί και έχει εφαρμοστεί σε διαφορά επιστημονικά πεδία ενώ είναι και αρκετά διαδεδομένη στην αξιολόγηση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας από τους λόγους για τους οποίους η DEA έγινε τόσο διαδεδομένη είναι ότι απαιτεί ελάχιστες υποθέσεις για το πως οι παράγοντες της παραγωγικής διαδικασίας (εισροές) και τα αποτελέσματα της παραγωγικής διαδικασίας σχετίζονται μεταξύ τους.

Η DEA είναι μια μέθοδος όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για τη σύγκριση μονάδων παραγωγής μεταξύ τους. Η σύγκριση αυτή δεν γίνεται με μια ιδανική κατάσταση αλλά με μια υφιστάμενη κατάσταση και αυτός είναι ο λόγος που δεν μπορεί να μετρηθεί κάποια απόλυτη αποδοτικότητα αλλά γίνεται μέτρηση της σχετικής αποδοτικότητας. Άρα η DEA ως μέθοδος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της σχετικής αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής.

## **2.4.2 Μέτρηση σχετικής αποδοτικότητας**

Η απόφαση για το αν μια μονάδα (DMU) είναι αποδοτική ή όχι βασίζεται στη δημιουργία για τη σύγκριση μιας σύνθετης μονάδας που είναι γραμμικός συνδυασμός των εισόδων και εξόδων των υπόλοιπων μονάδων. Η παραδοχή της γραμμικότητας ισοδυναμεί με την παραδοχή ότι αν δύο εκδοχές έχουν παρατηρηθεί στη πράξη τότε κάθε άλλη υποτιθέμενη παραγωγική διαδικασία που είναι γραμμικός συνδυασμός των δύο εκδοχών είναι εφικτό να γίνει προσδιορίζοντας την τα κατάλληλα βάρη. Ο σκοπός της είναι είτε η επίτευξη της μείωσης των εισροών για τη παραγωγή ενός προκαθορισμένου σύνολο εκροών είτε η επίτευξη της αύξησης της των εκροών από το μετασχηματισμό από την μονάδα ενός προκαθορισμένου συνόλου εισροών.

Η σχετική αποδοτικότητα για κάθε μονάδα υπολογίζεται σχηματίζοντας το λόγο του σταθμικού αθροίσματος των εκροών προς το σταθμικό άθροισμα των εισροών όπου τα βάρη δεν είναι προκαθορισμένα αλλά είναι μεταβλητές.

$$\text{Σχετική Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Σταθμισμένο άθροισμα εκροών}}{\text{Σταθμισμένο άθροισμα εισροών}}$$

Η σχέση που ορίζει την αποδοτικότητα από την έρευνα του Charnes et al.(1978) είναι:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (2.1)$$

όπου:

j είναι η υποσημείωση των μονάδων (DMUs) (j = 1,2.....n)

i είναι η υποσημείωση των εισροών (i = 1,2.....m)

r είναι η υποσημείωση των εκροών (r = 1,2.....s)

u<sub>r</sub> είναι ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε εκροής

v<sub>i</sub> είναι ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε εισροής

x<sub>ij</sub> είναι η i είσοδος της j DMU

y<sub>rj</sub> είναι η r έξοδος της j DMU

n ο αριθμός των μονάδων (DMUs)

m ο αριθμός των εισροών

s ο αριθμός των εκροών

Η σχετική αποδοτικότητα της παραπάνω σχέσης για μια συγκεκριμένη μονάδα προκύπτει με μεγιστοποίηση της σχέσης (2.1). Η μεγιστοποίηση όμως γίνεται κάτω από κάποιους

περιορισμούς για κάθε μονάδα ώστε η αποδοτικότητα της μονάδας να είναι μικρότερη ή ίση του 1. Άρα θα υπάρχουν τόσος περιορισμοί όσες οι μονάδες που συγκρίνονται.

Ο μαθηματικός τύπος της αποδοτικότητας είναι (Thanassoulis et al.2001):

$$\max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o}} \quad (2.2)$$

υ.π:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \geq 0$$

$$u_r \geq 0$$

$$v_i \geq 0$$

όπου:

j είναι η υποσημείωση των μονάδων (DMUs) (j = 1,2.....n)

i είναι η υποσημείωση των εισροών (i = 1,2.....m)

r είναι η υποσημείωση των εκροών (r = 1,2.....s)

j<sub>o</sub> είναι η υπό εξέταση μονάδα.

u<sub>r</sub> είναι ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε εκροής

v<sub>r</sub> είναι ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε εισροής

x<sub>ij</sub> είναι η i είσοδος της j DMU

y<sub>ij</sub> είναι η r έξοδος της j DMU

n ο αριθμός των μονάδων (DMUs)

m ο αριθμός των εισροών

s ο αριθμός των εκροών

Τα βάρη δεν είναι προκαθορισμένα ούτε δίνονται από τον αποφασίζοντα αντιθέτως υπολογίζονται από τη DEA ως οι τιμές που πρέπει να αντιστοιχούν σε κάθε είσοδο και έξοδο της μονάδας ώστε να μεγιστοποιηθεί ο λόγος της αποδοτικότητας κάθε μονάδας με τον περιορισμό ότι αυτή δεν θα ξεπεράσει το 1. Επομένως για κάθε μονάδα αντιστοιχούν διαφορετικά βέλτιστα βάρη που λύνουν τη σχέση (2.2). Μια μονάδα θα είναι αποδοτική μόνο αν η τιμή της σχέσης (2.2) ισούται με 1. Στη περίπτωση που η τιμή της σχέσης (2.2) είναι μικρότερη του 1 η μονάδα κρίνεται μη αποδοτική σε σύγκριση με τη σύνθετη μονάδα που δημιουργήθηκε από τον γραμμικό συνδυασμό των εισόδων και εξόδων των υπόλοιπων μονάδων.

Ο χαρακτηρισμός της μονάδας ως αποδοτικής από τη DEA προϋποθέτει την ύπαρξη του κατάλληλου συνδυασμού βαρών. Οποιοσδήποτε άλλος συνδυασμός βαρών θα καταστήσει τη μονάδα μη αποδοτική και θα χειροτερέψει ακόμα περισσότερο την αποδοτικότητα της μονάδας.

Οι αποδοτικές μονάδες δημιουργούν ένα σύνορο αποδοτικότητας όπου όποια μονάδα βρίσκεται πάνω σε αυτό θεωρείται αποδοτική. Οι μη αποδοτικές μονάδες βρίσκονται γύρω από αυτό το σύνορο και για να γίνουν αποδοτικές χρειάζεται είτε να αυξηθούν οι εκροές των μονάδων είτε να μειωθούν οι εισροές των μονάδων είτε να υπάρξει ένας συνδυασμός αυτών των δύο πραγμάτων.

### 2.4.3 Βασικό μοντέλο CCR

Το μοντέλο CCR πήρε το όνομα του από τα αρχικά των ονομάτων των δημιουργών του (Charnes, Cooper και Rhodes). Είναι μοντέλο σταθερής κλίμακας αποδόσεων (Constant Returns to Scale - CRS) δηλαδή μια αύξηση ή μια μείωση των εισροών με μια συγκεκριμένη αναλογία έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση ή τη μείωση με την ίδια αναλογία των εκροών. Οποιαδήποτε αλλαγή υπάρξει στις εισροές θα υπάρξει ανάλογη αλλαγή στις εκροές.

Το μοντέλο CCR χωρίζεται σε δύο προσανατολισμούς (orientations). Ο προσανατολισμός καθορίζεται από τον αποφασίζοντα και έχει να κάνει με το τι θέλει ο αποφασίζοντας να πετύχει η μονάδα σαν αποτέλεσμα. Οι δύο προσανατολισμοί είναι:

- Προσανατολισμός με βάση την μείωση των εισροών (Inputs Orientation - IO).
- Προσανατολισμός με βάση την αύξηση των εκροών (Outputs Orientation -OO).

Ο προσανατολισμός με βάση την μείωση των εισροών έχει ως στόχο τη μείωση των εισροών όσο το δυνατόν περισσότερο για ένα καθορισμένο σύνολο εκροών ενώ ο προσανατολισμός με



βάση την αύξηση των εκροών έχει ως στόχο την αύξηση των εκροών όσο το δυνατό περισσότερο για ένα καθορισμένο σύνολο εισροών.

Στη σχέση (2.2) δίνεται το αρχικό κλασματικό μοντέλο το οποίο όμως έχει κάποιες δυσκολίες στο να επιλυθεί. Για αυτό το λόγο γίνεται μια μετατροπή του κλασματικού μοντέλου σε ισοδύναμο γραμμικού προγραμματισμού. Το μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού έχει δύο μορφές. Το απλό και το δυϊκό μοντέλο.

Για το προσανατολισμό με βάση την μείωση των εισροών το κλασματικό μοντέλο μετατρέπεται σε γραμμικού προγραμματισμού θέτοντας τον παρανομαστή ίσο με 1 και μεγιστοποιώντας τον αριθμητή υπό το περιορισμό το σταθμισμένο άθροισμα εκροών να είναι μικρότερο από το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών (σχέση 2.3, Thanassoulis et al.2001).

$$\max Y_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} \quad (2.3)$$

υ.π:

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

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} \leq 0$$

$$u_r \geq \varepsilon$$

$$v_i \geq \varepsilon$$

Όπου το  $\varepsilon$  είναι ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός της τάξεως  $10^{-8}$  που εισήχθηκε για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα με την οριακή αποδοτικότητα.

Το προηγούμενο μοντέλο έχει το αντίστοιχο δυϊκό μοντέλο το οποίο προσφέρει κάποιες πρόσθετες ερμηνείες. Στο περιορισμό του παρανομαστή αντιστοιχεί η μεταβλητή  $\theta_{j_o}$  η οποία είναι ελεύθερη να πάρει οποιαδήποτε τιμή και στο περιορισμό του της διαφοράς των σταθμικών αθροισμάτων αντιστοιχεί το  $\lambda_j \geq 0$ . Έτσι προκύπτει το δυϊκό πρόβλημα εύρεσης των  $\lambda_j$  τέτοιων ώστε η σύνθετη μονάδα που δημιουργείται να έχει μεγαλύτερη αποδοτικότητα από την αξιολογούμενη μονάδα (σχέση 2.4, Thanassoulis et al.2001).

$$\min Z_o = \theta_{j_o} - \varepsilon (\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+) \quad (2.4)$$

υ.π:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{rj_o}$$

$$x_{ij_o} \theta_{j_o} - \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} + S_i^- = 0$$

$$\lambda_j \geq 0$$

$$S_i^- \geq 0$$

$$S_r^+ \geq 0$$

Για το προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών το κλασματικό μοντέλο μετατρέπεται σε γραμμικού προγραμματισμού θέτοντας τον αριθμητή ίσο με 1 και ελαχιστοποιώντας τον παρανομαστή υπό το περιορισμό το σταθμισμένο άθροισμα εκροών να είναι μικρότερο από το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών (σχέση 2.5, Thanassoulis et al.2001).

$$\min Y_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} \quad (2.5)$$

υ.π:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} \leq 0$$

$$u_r \geq \varepsilon$$

$$v_i \geq \varepsilon$$

Το προηγούμενο μοντέλο έχει το αντίστοιχο δυικό μοντέλο το οποίο προσφέρει κάποιες πρόσθετες ερμηνείες(σχέση 2.6, Thanassoulis et al.2001) Η αποδοτικότητα στο προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών μοντέλο είναι  $1/\theta_{j_o}$ .

$$\max Z_O = \theta_{j_o} + \varepsilon(\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+) \quad (2.6)$$

υ.π:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - S_i^- = x_{ij_o}$$

$$y_{rj_o} \theta_{j_o} - \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} + S_r^+ = 0$$

$$\lambda_j \geq 0$$

$$S_i^- \geq 0$$

$$S_r^+ \geq 0$$

Όπως αναφέρθηκε το  $\varepsilon$  εισήχθη για να εξαιρέσει τις μη αποδοτικές μονάδες που εμφανίζονται στο σύνоро αποδοτικότητας επειδή χρησιμοποιούν μεγαλύτερη ποσότητα εισροών από ότι χρειάζεται ή παράγουν μικρότερη ποσότητα εκροών από ότι είναι εφικτό να παραχθεί. Ο ρόλος του  $\theta_{j_o}$  είναι να υποδείξει ποια αναλογική μείωση πρέπει να γίνει σε όλες τις εισροές της μη αποδοτικής μονάδας και αντίστοιχα ποια αναλογική αύξηση πρέπει να γίνει σε όλες τις εκροές της μη αποδοτικής μονάδας ανάλογα με το προσανατολισμό που επιλέγει ο αποφασίζοντας ώστε η μη αποδοτική μονάδα να γίνει αποδοτική πάντα συγκρινόμενη με κάποιες αποδοτικές μονάδες. Οι  $S_i^-$   $S_r^+$  είναι οι χαλαρές μεταβλητές (slacks) που εκφράζουν την απόσταση της μη αποδοτικής μονάδας από το αποδοτικό σύνоро και μαζί με το  $\theta_{j_o}$  υποδεικνύουν τη βελτιστοποίηση που χρειάζεται να γίνει στις εισροές και τις εκροές της μη αποδοτικής μονάδας για να γίνει αποδοτική. Το  $\varepsilon$  στην αντικειμενική συνάρτηση επιτρέπει πρώτα τη βελτιστοποίηση του από τη μεταβλητή  $\theta_{j_o}$  και μετά τη βελτιστοποίηση από τις χαλαρές μεταβλητές ώστε η μονάδα βρεθεί στο αποδοτικό σύνоро και να θεωρηθεί αποδοτική.

#### 2.4.4 Βασικό μοντέλο BCC

Το CCR μοντέλο όπως αναφέρθηκε είναι μοντέλο κλίμακας σταθερών επιδόσεων. Αυτό υποθέτει ότι οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθος. Ωστόσο υπάρχουν όμως αρκετοί παράγοντες που εμποδίζουν τις παραγωγικές μονάδες να λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθος. Για αυτό το λόγο στην έρευνα τους οι Banker, Charnes και Cooper et al.(1984) δημιούργησαν μια παραλλαγή του CCR μοντέλου, το BCC μοντέλο που πήρε και αυτό το όνομά του από τα αρχικά των τριών ερευνητών. Το μοντέλο BCC σε αντίθεση με το μοντέλο CCR είναι μοντέλο κλίμακας μεταβλητών επιδόσεων (Variable Returns to Scale - VRS). Το σύνολο της αποδοτικότητας στο μοντέλο BCC δημιουργεί μια κυρτή γραμμή όπου πάνω βρίσκονται οι αποδοτικές μονάδες σε αντίθεση με το μοντέλο CCR όπου η γραμμή που δημιουργείται είναι μια ευθεία όπου οι αποδοτικές μονάδες είναι στις ακμές της.

Το μοντέλο BCC όπως και το μοντέλο CCR χωρίζεται στους δύο προσανατολισμούς που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Η επιλογή του προσανατολισμού είναι στην ευχέρεια του αποφασίζοντα ανάλογα με το αν θέλει να μεγιστοποιήσει τις εκροές για δεδομένες εισροές ή να ελαχιστοποιήσει τις εισροές για δεδομένες εκροές.

Το 1984 ο Banker et al.(1984) στην ερευνά του διαχωρίζει το μοντέλο του BCC σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με την εκτίμηση της κλίμακας μεταβλητής απόδοσης. Αυτές οι τρεις υποκατηγορίες είναι:

- Η κλίμακα σταθερής απόδοσης (CRS) που είναι και το μοντέλο CCR. Μια αλλαγή δηλαδή μείωση ή αύξηση των εισροών συνεπάγεται με ανάλογη αλλαγή στις εκροές.
- Η κλίμακα αύξουσας απόδοσης (IRS) που μία αύξηση ή μείωση στις εισροές συνεπάγεται μεγαλύτερη από την αναλογική αύξηση ή μείωση στις εκροές.
- Η κλίμακα φθίνουσας απόδοσης (DRS) που μία αύξηση ή μείωση στις εισροές συνεπάγεται μικρότερη από την αναλογική αύξηση ή μείωση στις εκροές.

Η διαφορά με το μοντέλο του CCR είναι ότι υπάρχει μια μεταβλητή  $\omega$  που είναι ελεύθερη όπου ανάλογα σε τι τιμή παίρνει γίνεται η εκτίμηση της κλίμακας σε μια από τις υποκατηγορίες. Αν η μεταβλητή αυτή είναι αρνητική τότε γίνεται εκτίμηση με τη κλίμακα αύξουσας απόδοσης, αν είναι θετική γίνεται με τη κλίμακα φθίνουσας απόδοσης και αν είναι ίση με το 0 γίνεται με τη κλίμακα σταθερής απόδοσης που ισοδυναμεί με το μοντέλο CCR. Οπότε το γενικό κλασματικό μοντέλο θα μετατρέψει σε ισοδύναμο γραμμικού προγραμματισμού. Για τον προσανατολισμό με βάση τη μείωση των εισροών η σχέση είναι (Thanassoulis et al.2001):

$$\max Y_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} + \omega \quad (2.7)$$

υ.π:

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

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} + \omega \leq 0$$

$$u_r \geq \varepsilon$$

$$v_i \geq \varepsilon$$

Το προηγούμενο μοντέλο έχει το αντίστοιχο δυικό μοντέλο το οποίο προσφέρει κάποιες πρόσθετες ερμηνείες όπως στη σχέση (2.4). Η διαφορά από το CCR μοντέλο είναι ότι εδώ υπάρχει ακόμα ένας περιορισμός. Το σταθμικό άθροισμα των  $\lambda_j$  είναι ίσο με το 1. Επομένως η σχέση γίνεται (Thanassoulis et al.2001):

$$\min Z_o = \theta_{j_o} - \varepsilon (\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+) \quad (2.8)$$

υ.π:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{rj_o}$$

$$x_{ij_o} \theta_{j_o} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- = 0$$

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

$$\lambda_j \geq 0$$

$$S_i^- \geq 0$$

$$S_r^+ \geq 0$$

Για το προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών το κλασματικό μοντέλο μετατρέπεται σε γραμμικού προγραμματισμού θέτοντας τον αριθμητή ίσο με 1 και ελαχιστοποιώντας τον παρανομαστή συν τη μεταβλητή  $\omega$  υπό το περιορισμό το σταθμισμένο άθροισμα εκροών να είναι μικρότερο από το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών. Επομένως η σχέση είναι (Thanassoulis et al.2001):

$$\min Y_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} + \omega \quad (2.9)$$

υ.π:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} - \omega \leq 0$$

$$u_r \geq \varepsilon$$

$$v_i \geq \varepsilon$$

Το προηγούμενο μοντέλο έχει το αντίστοιχο δυικό μοντέλο το οποίο προσφέρει κάποιες πρόσθετες ερμηνείες. Η αποδοτικότητα στο προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών μοντέλο είναι  $1/\theta_{j_o}$ . Επομένως η σχέση είναι (Thanassoulis et al.2001):

$$\max Z_o = \theta_{j_o} + \varepsilon (\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+) \quad (2.10)$$

υ.π:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - S_i^- = x_{ij_o}$$

$$y_{rj_o} \theta_{j_o} - \sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} + S_r^+ = 0$$

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

$$\lambda_j \geq 0$$

$$S_i^- \geq 0$$

$$S_r^+ \geq 0$$

Ότι ισχύει στο μοντέλο CCR για το  $\varepsilon$ , τη μεταβλητή  $\theta_{j_0}$  και τις χαλαρές μεταβλητές ισχύει και στο μοντέλο BCC. Η διαφορά είναι ότι σε αυτό το μοντέλο υπάρχει και η μεταβλητή  $\omega$  που ανάλογα τη τιμή της γίνεται αλλαγή στην εκτίμηση της κλίμακας απόδοσης.

### 2.4.5 Κύριες διαφορές ανάμεσα σε BCC και CCR

Τα δύο μοντέλα δεν έχουν κάποια διαφορά στην ερμηνεία αλλά ως προς τη δημιουργία της μοντελοποίησης. Οι τρεις αυτές διαφορές είναι:

- Ο περιορισμός που υπάρχει στο σταθμικό άθροισμα των μεταβλητών  $\lambda_j$  και ισούται με 1.
- Η μεταβλητή  $\omega$  που ανάλογα τη τιμή της αλλάζει η εκτίμηση κλίμακας. Στο BCC μοντέλο αυτή η μεταβλητή είναι που αναιρεί το περιορισμό που υπάρχει στο μοντέλο CCR ώστε όλα τα επίπεδα υποστήριξης διέρχονται από την αρχή των αξόνων.
- Οι περισσότεροι περιορισμοί που υπάρχουν στο μοντέλο BCC σε σχέση με το μοντέλο CCR δημιουργούν μεγαλύτερη εφικτή περιοχή αποδοτικότητας των μονάδων και αυτός είναι ο λόγος που χαρακτηρίζονται περισσότερες μονάδες αποδοτικές από το μοντέλο BCC και υπάρχει μια αύξηση στην αποδοτικότητα των μη αποδοτικών μονάδων πάντα σε σχέση με τα αποτελέσματα από το μοντέλο CCR.

### 2.4.6 Βελτίωση μη αποδοτικών μονάδων

Όπως αναφέρθηκε οι μη αποδοτικές μονάδες συγκρίνονται πάντα με κάποιες αποδοτικές μονάδες. Αυτές οι αποδοτικές μονάδες είναι οι μονάδες αναφοράς (Efficient Peers) για την κάθε μη αποδοτική μονάδα. Κάθε μη αποδοτική μονάδα έχει τις δικιές της μονάδες αναφοράς και μέσα από αυτές εκτιμάται η απόδοση της και η βελτίωση που χρειάζεται για να γίνει και αυτή

αποδοτική. Οι μονάδες αναφοράς για κάθε μονάδα είναι αυτές που βρίσκονται πιο κοντά στη μη αποδοτική μονάδα και βρίσκονται πάνω στο αποδοτικό σύνορο.

Στόχος είναι η βελτίωση της μονάδας είτε μειώνοντας τις εισροές της μονάδας είτε αυξάνοντας τις εκροές της μονάδας είτε ένας συνδυασμός μείωσης των εισροών και αύξησης των εκροών. Αυτοί οι στόχοι δημιουργούνται με βάση τις εισροές και εκροές των μονάδων αναφοράς της εκάστοτε εξεταζόμενης μονάδας και τη μεταβλητή  $\lambda$  που υποδεικνύει της σχέσης της εξεταζόμενης μονάδας με τη κάθε μονάδα αναφοράς. Ένα τύπος που θα μπορούσε να δημιουργηθεί για τη βέλτιστη τιμή της κάθε εισόδου και εξόδου ώστε η μονάδα να γίνει αποδοτική πάντα σε σχέση με τις μονάδες αναφοράς είναι (Thanassoulis et al.2001):

$$x'_{ij_o} = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \quad (2.11)$$

$$y'_{rj_o} = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \quad (2.12)$$

όπου:

$j$  είναι η υποσημείωση των μονάδων (DMUs) ( $j = 1, 2, \dots, n$ )

$i$  είναι η υποσημείωση των εισροών ( $i = 1, 2, \dots, m$ )

$r$  είναι η υποσημείωση των εκροών ( $r = 1, 2, \dots, s$ )

$x'_{ij_o}$  είναι ο στόχος της  $i$  εισροής της εξεταζόμενης DMU

$y'_{rj_o}$  είναι ο στόχος της  $r$  εκροής της εξεταζόμενης DMU

$x_{ij}$  είναι η  $i$  είσοδος της  $j$  DMU

$y_{rj}$  είναι η  $r$  έξοδος της  $j$  DMU

$n$  ο αριθμός των μονάδων (DMUs)

$m$  ο αριθμός των εισροών

$s$  ο αριθμός των εκροών



Οι στόχοι βελτίωσης των εισροών και εκροών υπολογίζονται από τις σχέσεις 2.11 και 2.12 ώστε η εξεταζόμενη μονάδα από μη αποδοτική να γίνει αποδοτική πάντα με βάση τις μονάδες αναφοράς.

#### **2.4.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της DEA**

Όπως κάθε μέθοδος έτσι και η DEA έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που την καθιστούν σε άλλα προβλήματα χρήσιμη και σε άλλα όχι. Τα πλεονεκτήματα της DEA είναι:

- Η δυνατότητα διαχείρισης μεγάλης ποσότητας δεδομένων
- Η δυνατότητα πολλαπλών εισροών και εκροών
- Δεν απαιτεί τη γνώση της συνάρτησης παραγωγής
- Δεν απαιτεί οι εισροές και εκροές να έχουν τις ίδιες μονάδες μέτρησης
- Οι μονάδες (DMUs) συγκρίνονται και βελτιώνονται με ανταγωνιστικές μονάδες και όχι με μια ιδανική κατάσταση.
- Δίνει τη δυνατότητα όχι μόνο να για την εξαγωγή της αποδοτικότητας των μονάδων αλλά και την εξαγωγή αποτελεσμάτων για τη βελτιστοποίηση των μη αποδοτικών μονάδων.

Η μέθοδος DEA είναι καλό εργαλείο για τη σύγκριση (benchmarking) ανταγωνιστικών μονάδων καθώς και ένα χρήσιμο εργαλείο για τους μηχανικούς και τους μάνατζερ στο σχεδιασμό της στρατηγικής των οργανισμών-επιχειρήσεων. Ωστόσο η DEA έχει και μειονεκτήματα. Αυτά τα μειονεκτήματα είναι:

- Η DEA επειδή είναι μέθοδος ακραίου σημείου είναι ευάλωτη στο θόρυβο που μπορεί να εισέλθει στη διαδικασία και να μεταβάλλει τα αποτελέσματα
- Η DEA είναι μέθοδος που μετράει τη σχετική αποδοτικότητα και όχι την απόλυτη αποδοτικότητα. Αυτό σημαίνει ότι βγαίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο κατά την σύγκριση ανταγωνιστικών μονάδων και όχι κατά τη σύγκριση μια ιδανικής κατάστασης ώστε να βελτιωθεί με βάση αυτήν.
- Η DEA είναι μια μη παραμετρική μέθοδος και έτσι είναι δύσκολο η πραγματοποίηση στατιστικών υποθέσεων.
- Στη σύγκριση μικρού αριθμού μονάδων υπάρχει περίπτωση να βγουν όλες αποδοτικές. Επομένως δεν είναι τόσο καλή μέθοδος για λίγες μονάδες.

Ένας τυπικός τύπος για να αποφευχθεί το τελευταίο μειονέκτημα είναι ο αριθμός των μονάδων να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το τριπλάσιο άθροισμα των αριθμών των εισροών και των εκροών (σχέση 2.13, Cooper et al.2007).

$$n \geq 3 * (m + s) \quad (2.13)$$

όπου:

n ο αριθμός των μονάδων (DMUs)

m ο αριθμός των εισροών

s ο αριθμός των εκροών

## 2.5 Μοντελοποιήσεις και Κριτήρια υφιστάμενων ερευνών

Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος DEA είναι αρκετά διαδεδομένη στο τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δεκάδες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο DEA πάνω στην αποδοτικότητα μονάδων παραγωγής ενέργειας. Σε πολλές χώρες τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών χρησιμοποιήθηκαν από άλλες έρευνες και για την ανάπτυξη των στρατηγικών της εκάστοτε κυβέρνησης στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Διάφορες μοντελοποιήσεις χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές τις έρευνες. Σε κάποιες χρησιμοποιήθηκαν τα βασικά μοντέλα της DEA ενώ σε κάποιες άλλες δημιουργήθηκαν παραλλαγές των βασικών μοντέλων. Διάφορα κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν σαν είσοδοι και έξοδοι των μονάδων. Το είδος το κριτηρίων επηρεάζεται από το σκοπό που γίνεται η μέτρηση της αποδοτικότητας. Άλλα κριτήρια χρησιμοποιούνται όταν σκοπός είναι να μετρηθεί η λειτουργική αποδοτικότητα των μονάδων, άλλα όταν σκοπός είναι να μετρηθεί η οικονομική αποδοτικότητα των μονάδων και άλλα όταν σκοπός είναι η περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Κάποια κριτήρια από αυτά σε πολλές έρευνες είναι κοινά. Κάτι τέτοιο καθιστά κάποια κριτήρια απαραίτητα για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και ο αριθμός των μονάδων από 23 έρευνες που χρησιμοποίησαν τη μέθοδο DEA στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγγραφείς	Έτος δημοσίευσης	Μέθοδος	Μοντέλο	DMUs
Pun-Lee Lam	2002	DEA	VRS & Ανάλυση παλινδρό-μησης (Tobit)	30
Kumar Jha & Yorino & Zoka	2007	DEA	CCR & Modified	15
Adnan Sozen	2010	DEA	CCR & BCC	15
Jain & Thakur & Shandilya	2010	DEA	CCR & BCC	30
Toshiyuki Sueyoshi	2010	DEA	Modified	9
Pekka J. Korhonen	2003	DEA	CCR	24
Kemal Sarica	2005	DEA	CCR & BCC	65
Vassilis Dedoussis	2010	DEA	CCR	20
Tripta Thakur	2005	DEA	CCR & BCC	26
Alexander Vaninsky	2006	DEA	Dynamic DEA	-
Alexander Y. Vaninsky	2008	DEA	CRS	-
Sudhir Kumar Singh & Vijay Kumar Bajpai	2013	DEA	CCR & BCC & Ανάλυση παλινδρό-μησης (Tobit)	25
C.H. Liu & Sue J. Lin	2009	DEA	CCR & BCC	12
Hongliang Yang	2007	DEA	4 stage model	221
Alireza Fallahi	2011	DEA	CCR & BCC & Malmquist index	32
Deependra Kumar Jha & Rabin Shrestha	2006	DEA	CCR	50
Golany & Roll & Rybak	1994	DEA	BCC	87
Reinhard Madlener & Carlos Henggeler Antunes	2006	DEA & MCDA	BCC	41
Mustafa Jahangoshai Rezaee	2011	DEA & Bargaining game	Modified	24
Toshiyuki Sueyoshi	2009	DEA	RAM	136
Anil Pahwa & Xiaoming Feng & David Lubkeman	2002	DEA	CCR	50
Carlos Pestana Barros	2008	DEA	CCR & BCC	63
Soo-Uk Park	1998	DEA	CCR & BCC	64

Πίνακας 2.1: Πίνακας ερευνών

Όπως φαίνεται στο πίνακα 2.1 οι περισσότερες έρευνες χρησιμοποιούν τα βασικά μοντέλα της DEA, το CCR και BCC μοντέλο για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Υπάρχουν κάποιες έρευνες που χρησιμοποιούν κάποια τροποποιημένα μοντέλα τα οποία όμως στηρίζονται και αυτά στα βασικά μοντέλα της DEA. Οι περισσότερες έρευνες χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό DMUs γιατί όπως αναφέρθηκε στη DEA υπάρχει κίνδυνος αν ο αριθμός των DMUs είναι μικρός να εμφανιστούν οι περισσότερες από αυτές αποδοτικές και να βγουν λανθασμένα συμπεράσματα. Παρακάτω στο πίνακα παρουσιάζονται τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες σαν είσοδοι και έξοδοι των μονάδων παραγωγής ενέργειας για την μέτρηση της αποδοτικότητας τους.

Συγγραφέας	Έτος δημοσίευσης	Κριτήρια & Μεταβλητές									
		1ο Κριτήριο	2ο Κριτήριο	3ο Κριτήριο	4ο Κριτήριο	1ο Μεταβλητή	2ο Μεταβλητή	3ο Μεταβλητή	4ο Μεταβλητή	-	-
Pun-Lee Lam	2002	Παραγόμενη Ενέργεια(G Wh)	Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Κατανάλωση Καυσίμων (TJ)	Εργασία (Αριθμός εργαζομένων)	Συντελεστή Χωρητικότητας	Κατανάλωση Καυσίμων (Per KWh)	Μέγεθος Μονάδων	Ηλικία Μονάδων	-	-
Kumar Jha & Yorino & Zoka	2007	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	5ο Κριτήριο Εισόδου	6ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Ετήσια Δαπάνη (Ρουπίες)	Αριθμός εργαζομένων (Μόνιμο)	Αριθμός εργαζομένων (προσωρινό)	Αριθμός φορών που έπεσαν όλες οι μονάδες μαζί	Αριθμός φορών που έπεσε τουλάχιστον μια μονάδα	Ετήσια παραγωγή ενέργειας(G Wh)	Ετήσια παραγωγή ενέργειας τους θερμούς μήνες(GWh )	Αιχμή κατά τους θερμούς μήνες (MW)	Αιχμή κατά τους χειμερινούς μήνες (MW)
Adnan Sozen	2010	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-
		Συντελεστή Χωρητικότητας (%)	Θερμική απόδοση (%)	Μέσος χρόνος λειτουργίας μονάδας (Ανά χρόνο)	Παραγόμενη Ενέργεια κατά τη διάρκεια σχεδιασμού( GWh)	Ετήσια κόστος καυσίμων / Παραγόμενη Ενέργεια	-	-	-	-	-
Jain & Thakur & Shandilya	2010	1ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-	-	-
		Συνολικό Κόστος	Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)	Ενέργεια που πουλήθηκε (GWh)	-	-	-	-	-	-	-
Toshiyuki Sueyoshi	2010	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	5ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Αριθμός εργαζομένων	Άνθρακας	Πετρέλαιο	Φυσικό αέριο	Παραγόμενη Ενέργεια(GWh )	CO2 Εκπομπές	-	-	-
Pekka J. Korhonen	2003	1ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-
		Συνολικό Κόστος	Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)	Σκόνη	NOx	SO2	-	-	-	-	-

Kemal Sarica	2005	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-
		Κόστος Καυσίμων (\$)	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Διαθεσιμότητα της μονάδας (%)	Περιβαλλοντικό κόστος (1000\$)	Θερμική απόδοση (%)	CO (tone)	-	-	-	-
Vassilis Dedoussis	2010	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Ηλικία μονάδας	Λειτουργία μονάδας (Ωρες)	Παραγόμενη Ενέργεια (MW)	Διαθεσιμότητα της μονάδας (%)	Προγραμματισμένη διακοπή λειτουργίας (%)	Απρογραμματισμένη διακοπή λειτουργίας (%)	-	-	-
Tripta Thakur	2005	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-
		Συνολικό Κόστος	Συνολικό Κόστος εκτός μισθών εργαζομένων	Αριθμός εργαζομένων	Ενέργεια που πουλήθηκε (MWh)	Αριθμός πελατών	Μήκος δικτύου (km)	-	-	-	-
Alexander Vaninsky	2006	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-	-	-
		Λειτουργικά έξοδα (%)	Απώλειες ενέργειας (%)	Αξιοποίηση της καθαρής χωρητικότητας (%)	-	-	-	-	-	-	-
Alexander Y. Vaninsky	2008	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-	-	-
		CO2 Εκπομπές (g/kWh)	Ενεργειακές απώλειες (%)	Κατανάλωση Καυσίμων	-	-	-	-	-	-	-
Sudhir Kumar Singh & Vijay Kumar Bajpai	2013	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	1ο Μεταβλητή	2ο Μεταβλητή	3ο Μεταβλητή	4ο Μεταβλητή	-
		Ποσότητα Άνθρακα (1000Tn)	Ποσότητα Πετρελαίου (λίτρα)	Κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας	Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Παραγόμενη Ενέργεια	Μέγεθος Μονάδων	Ηλικία Μονάδων	Θερμογόνος δύναμη του άνθρακα	Δυναμική μεταβλητή ή (1 ή 0) ανάλογα με τη διάρκεια των μονάδων	-
C.H. Liu & Sue J. Lin	2009	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-	-
		Κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (MWh)	Θερμογόνος δύναμη καυσίμων (10 <sup>9</sup> calories )	Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	-	-	-	-	-	-
Hongliang Yang	2007	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	1ο Μεταβλητή	2ο Μεταβλητή	3ο Μεταβλητή	4ο Μεταβλητή	-
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Αριθμός εργαζομένων	Κατανάλωση Καυσίμων (TJ)	Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)	SO2 εκπομπές (Tn)	Θερμογόνος δύναμη του άνθρακα (GJ/Tn)	Ηλικία Μονάδων	Κλίμακα μονάδων ανά μέγεθος	Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (1 ή 0)	-
Alireza Fallahi	2011	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-

		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Θερμογόνος δύναμη καυσίμων (10 <sup>6</sup> calories )	Αριθμός εργαζομένων	Μέσος χρόνος λειτουργίας μονάδας (Ανά χρόνο)	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	-	-	-	-	-
Deependra Kumar Jha & Rabin Shrestha	2006	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Ετήσια Δαπάνη (Ρουπίες)	Αριθμός εργαζομένων	Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)	Αιχμή κατά τους θερινούς μήνες (MW)	Αιχμή κατά τους χειμερινούς μήνες (MW)	-	-	-	-
Golany & Roll & Rybak	1994	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Κατανάλωση Καυσίμων (TJ)	Εργατικό δυναμικό (εργαζόμενες)	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Διαθεσιμότητα της μονάδας	Απόκλιση από λειτουργικές παραμέτρους	SO2 εκπομπές	-	-	-
Reinhard Madlener & Carlos Henggelier Antunes	2006	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-
		Εργατικό δυναμικό (εργαζόμενες)	Ποσότητα υποστρώματος	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	Παραγόμενη θερμότητα	CO2 εκπομπές	-	-	-	-	-
Mustafa Jahangoshaei Rezaee	2011	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου
		Εγκαταστημένη Ισχύ (MW)	Κατανάλωση Καυσίμων (TJ)	Λειτουργία μονάδας (Ωρες)	Κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (MWh)	Αριθμός εργαζομένων	Κόστος παραγωγής ανά kWh	Συνολικό κόστος εκπαίδευσης	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Συνολικά έσοδα	CO εκπομπές (1000Tn)
Toshiyuki Sueyoshi	2009	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	4ο Κριτήριο Εξόδου	-	-
		Κατανάλωση Καυσίμων	Αριθμός εργαζομένων	Συνολικό Κόστος (1000\$)	Συνολικό κόστος εκτός καυσίμων (1000\$)	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	SO2 εκπομπές (Tn)	CO2 εκπομπές (Tn)	NOx εκπομπές (Tn)	-	-
Anil Pahwa & Xiaoming Feng & David Lubkeman	2002	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	4ο Κριτήριο Εισόδου	5ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	3ο Κριτήριο Εξόδου	-	-
		Απώλειες συστήματος διανομής	Έξοδα συντήρησης και διανομής	Κόστος επένδυσης	Μετασχηματισμός γραμμής διανομής	Γραμμή διανομής	Αιχμή συστήματος	Πωλήσεις	Πελάτες	-	-
Carlos Pestana Barros	2008	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-
		Αριθμός εργαζομένων	Συνολικό Κόστος	Κεφάλαιο	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Παραγωγική ικανότητα (MWh)	-	-	-	-	-
Soo-Uk Park	1998	1ο Κριτήριο Εισόδου	2ο Κριτήριο Εισόδου	3ο Κριτήριο Εισόδου	1ο Κριτήριο Εξόδου	2ο Κριτήριο Εξόδου	-	-	-	-	-
		Κατανάλωση Καυσίμων (Tn)	Εγκαταστημένη Ισχύ (kW)	Αριθμός εργαζομένων	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)	Παραγόμενη Ενέργεια / Συνολικός χρόνος λειτουργίας	-	-	-	-	-

Πίνακας 2.2: Πίνακας κριτηρίων

Από το πίνακα φαίνεται ότι οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στη λειτουργική αποδοτικότητα των μονάδων, κάποιες στην οικονομική αποδοτικότητα και κάποιες άλλες στη περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται στο 80% περίπου των ερευνών σαν κριτήριο εξόδου είναι η παραγόμενη ενέργεια. Σαν κριτήρια εισόδου αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις έρευνες είναι ο αριθμός εργαζομένων, η εγκαταστημένη ισχύ και η κατανάλωση καυσίμων. Αρκετά συχνά στις έρευνες εμφανίζεται ως κριτήριο η εκπομπή ρύπων και ειδικά σε έρευνες που η μέτρηση της αποδοτικότητας γίνεται σε μονάδες που χρησιμοποιούν άνθρακα για τη παραγωγή ενέργειας. Συγκεντρωτικά όλες οι έρευνες έχουν κάποιο κοινό κριτήριο με κάποια άλλη έρευνα ενώ οι περισσότερες έρευνες κινούνται στην ίδια λογική για την επιλογή κριτηρίων.

## 2.6 Συμπεράσματα ερευνών

Ένα από τα βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση είτε μιας επιχείρησης είτε μιας μονάδας παραγωγής είναι η μέτρηση της αποδοτικότητας της. Αρκετοί μέθοδοι έχουν δημιουργηθεί για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Η μέθοδος που είναι η πιο διαδεδομένη για τη μέτρηση της αποδοτικότητας και σύγκριση μονάδων απόφασης είναι DEA. Η μέθοδος DEA είναι η σχεδόν η αποκλειστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρησιμοποίηση της DEA είναι αξιόπιστα και μπορούν να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη αποδοτικότητα των μονάδων. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.2 τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι περίπου ίδια σε όλες τις έρευνες. Διαφορές στα κριτήρια υπάρχουν όταν οι έρευνες επικεντρώνονται στην οικονομική αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής και όχι στη λειτουργική. Όπως αναφέρθηκε η DEA είναι μέθοδος για πολλαπλές εισόδους και εξόδους για αυτό και στις περισσότερες έρευνες χρησιμοποιούνται μεγάλος αριθμός κριτηρίων. Ο μεγάλος αριθμός κριτηρίων όμως συνοδεύεται και από μεγάλο αριθμό μονάδων παραγωγής. Έτσι αποφεύγεται να προκύψουν αποτελέσματα που δεν είναι αξιόπιστα. Συνεπώς ο αποφασίζοντας κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης του προβλήματος με τη μέθοδο DEA θα πρέπει να δίνει προσοχή στο να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ του αριθμού των μονάδων απόφασης και του αριθμού των κριτηρίων.

Στη παρούσα διπλωματική θα αναπτυχθεί ένα σύστημα βασισμένο στη μεθοδολογία της DEA για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής. Θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερος κατά τη μοντελοποίηση να υπάρχει η ισορροπία μεταξύ των μονάδων και των κριτηρίων ώστε να προκύψουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Ακόμα η επιλογή των κριτηρίων πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να χρησιμοποιηθούν όσο τον δυνατόν περισσότερα κριτήρια που επηρεάζουν την λειτουργία της μονάδας παραγωγής.

Η μέτρησης της αποδοτικότητας θα γίνει σε μονάδες παραγωγής ατμοηλεκτρικού σταθμού. Αν και υπάρχουν έρευνες που χρησιμοποίησαν τη μέθοδο DEA για τη μέτρηση της αποδοτικότητας στο τομέα ενέργειας στην Ελλάδα εντούτοις δεν υπάρχει έρευνα στη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη. Έρευνες έχουν γίνει στη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Τα τελευταία χρόνια οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μη ερευνώντας τις ατμοηλεκτρικές μονάδες που αποτελούν τη μεγαλύτερη ενεργειακή πηγή της χώρας.

Στόχος είναι μέσα από το σύστημα που θα αναπτυχθεί να προκύψουν αξιόπιστα αποτελέσματα για την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση λιγνίτη. Εκτός από την λειτουργική αποδοτικότητα στόχος είναι να μετρηθεί και η περιβαλλοντική αποδοτικότητα καθώς οι ατμοηλεκτρικές μονάδες είναι ιδιαίτερα ρυπογόνες και επιζήμιες στο περιβάλλον. Η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την αποδοτικότητα των μονάδων θα καθορίσει την επιτυχία της διπλωματικής εργασίας.



# 3.

## ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

---

### 3.1 Εισαγωγή

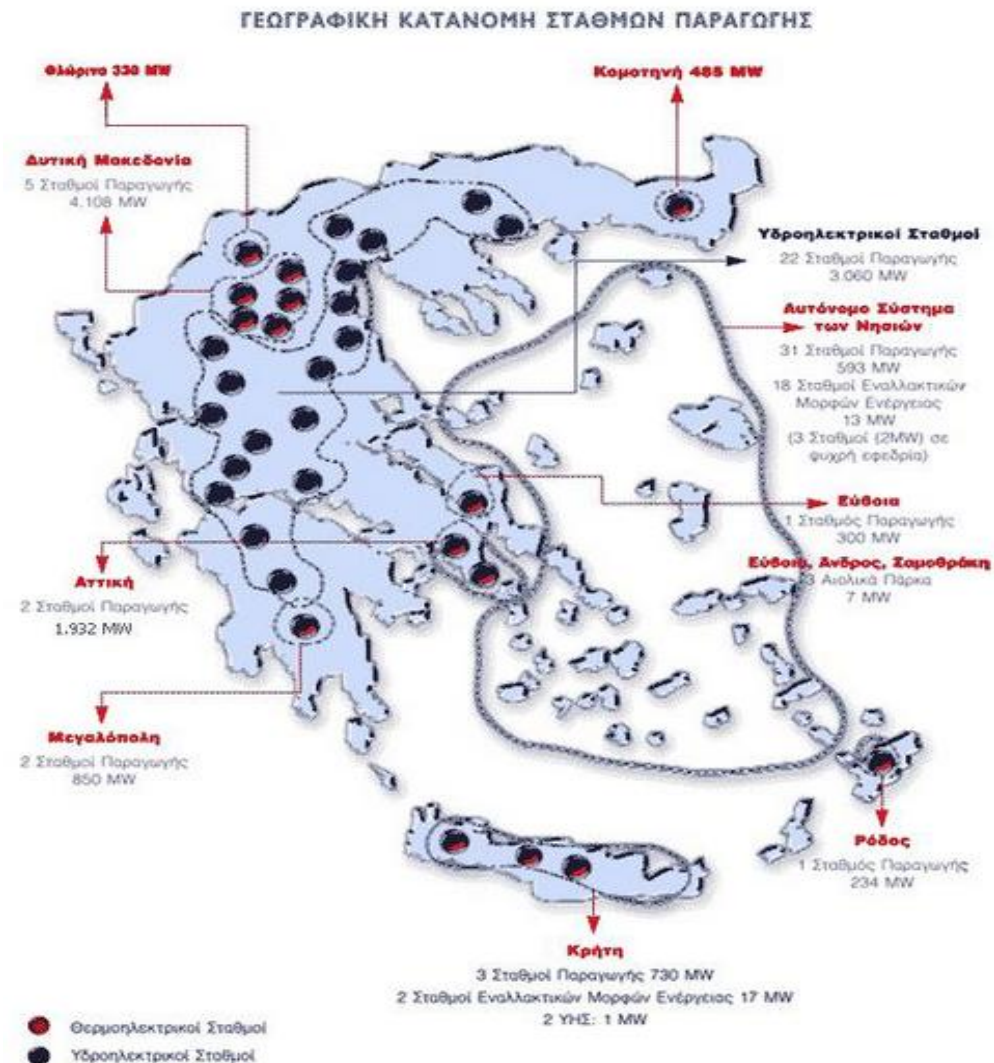
Η Ελλάδα μέχρι πρόσφατα ήταν η δεύτερη χώρα στην Ευρώπη πίσω από τη Γερμανία στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη καύση λιγνίτη. Η πλειοψηφία των μεγάλων και σημαντικών μονάδων παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τη καύση λιγνίτη. Αν και η καύση του λιγνίτη έχει τα μειονεκτήματά της όπως είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τις εκπομπές ρύπων εντούτοις τα μεγάλα κοιτάσματα που έχει η Ελλάδα και η φθηνή παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος κατέστησαν τον λιγνίτη ως τη κύρια πηγή ενέργειας στην Ελλάδα. Υπάρχει η θέληση οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα επόμενα χρόνια να αντικαταστήσουν τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες που χρησιμοποιούν για καύσιμο τον λιγνίτη. Ωστόσο κάτι τέτοιο φαίνεται ότι είναι χρονοβόρο και μη πραγματοποιήσιμο στο εγγύς μέλλον ακόμα και αν τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν αρκετά αιολικά και ηλιακά πάρκα. Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυτών των πάρκων δεν μπορεί να συγκριθεί ακόμα με τη δυνατότητα των μονάδων καύσης λιγνίτη. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος καθιστά αναγκαία την εξεύρεση λύσεων για τη καλύτερη λειτουργία των μονάδων καύσης λιγνίτη. Η αξιολόγηση αυτών των μονάδων μπορεί να βοηθήσει στη εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για την λειτουργία των μονάδων. Στη παρούσα διπλωματική θα γίνει μια αξιολόγηση μονάδων παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας που

χρησιμοποιούν ως καύσιμο το λιγνίτη με τη μέθοδο DEA στοχεύοντας να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα που θα βοηθήσουν να σχηματιστούν κάποιες προτάσεις για την καλύτερη απόδοση των μονάδων αλλά και την όσο δυνατόν μείωση στην εκπομπή ρύπων. Η αξιολόγηση θα γίνει στο μεγαλύτερο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, στο εργοστάσιο του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και συγκεκριμένα στις 5 μονάδες παραγωγής ενέργειας που λειτουργούν εκεί. Η αξιολόγηση θα γίνει με βάση κάποια δεδομένα που δόθηκαν από το εργοστάσιο τους ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και αφορούν στη λειτουργία των μονάδων και όχι γενικά στη λειτουργία του εργοστασίου.

### 3.2 Η Δημόσια Ηλεκτρική Εταιρία

Στην Ελλάδα η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Η ΔΕΗ ιδρύθηκε τον Αύγουστο του 1950 με σκοπό η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας να συγκεντρωθούν κάτω από ένα δημόσιο φορέα. Οι εταιρίες μέχρι τότε για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούσαν εισαγόμενα καύσιμα, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που το είχε καταστήσει προϊόν πολυτελείας. Η ΔΕΗ από την αρχή της λειτουργίας της στράφηκε στην εκμετάλλευση των πλούσιων κοιτασμάτων (όπως του λιγνίτη) που υπάρχουν στην Ελλάδα.

Αυτή τη στιγμή η ΔΕΗ προμηθεύει περίπου το 98% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (στοιχεία 2013) με ένα δίκτυο διανομής που φτάνει περίπου τα 217.000 χιλιόμετρα (στοιχεία 2009). Κατέχει περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα. Έχει στη κατοχή της 98 σταθμούς παραγωγής ενέργειας σε όλη την Ελλάδα με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ αυτών να φτάνει τα 12.760 MW. Από τους 98 σταθμούς οι 37 (34 θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί και 3 αιολικά πάρκα) βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής χώρας και οι υπόλοιποι 61 που είναι αυτόνομοι βρίσκονται στην νησιωτική χώρα. Η καθαρή παραγωγή και των 98 σταθμών ενέργειας που έχει στη κατοχή της η ΔΕΗ είναι περίπου στις 53 TWh. Από τα 12.760 MW τα 11.070 MW βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα και τα υπόλοιπα 1.689 βρίσκονται στην νησιωτική χώρα. Τα 9660 MW της εγκατεστημένης ισχύς είναι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί και τα άλλα 3100 MW είναι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και ένα πολύ μικρό ποσοστό ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).



Σχήμα 3.1: Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κυρίως από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και ιδιαίτερα από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς καύσης λιγνίτη. Ο λιγνίτης είναι η σημαντικότερη εγχώρια πηγή ενέργειας καθώς συνεισφέρει περίπου το 53% της εγχώριας παραγωγής ενέργειας (στοιχεία 2011). Η Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγει περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών μόνο στη βόρεια Ελλάδα δημιούργησε μεγάλες απώλειες κατά τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στα κέντρα κατανάλωσης ωστόσο τα πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη στη βόρεια Ελλάδα έκριναν αναγκαία τη δημιουργία των σταθμών εκεί λόγω εγγύτητας. Η χρονική διάρκεια ζωής των γνωστών εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων λιγνίτη είναι περίπου 35 χρόνια ακόμα κάτι που καθιστά αναγκαίο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από νέα καύσιμα όπως είναι ο λιθάνθρακας που έχει μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, μεγαλύτερη

ενεργειακή απόδοση και λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Ήδη η ΔΕΗ επιχειρεί την βελτίωση των σταθμών λιγνίτη για να πετύχει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και μείωση της εκπομπής ρύπων ενώ κάποιες παλαιές μονάδες έχουν ήδη αποσυρθεί και τη θέση τους θα πάρουν νέες εκσυγχρονισμένες μονάδες όπως η πέμπτη μονάδα που έχει σχεδιαστεί να κατασκευαστεί στη Πτολεμαΐδα.

### 3.3 Σταθμοί καύσης λιγνίτη

Όπως αναφέρθηκε οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η μεγάλη συνεισφορά είναι των μονάδων καύσης λιγνίτη στη παραγωγή ενέργειας. Ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη καύση λιγνίτη δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950 στο Αλιβέρι συνολικής ισχύς 230 MW. Το 1959 άρχισε να λειτουργεί η πρώτη μονάδα του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας. Τη δεκαετία του 1960 δημιουργήθηκαν και οι άλλες δύο μονάδες του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας έχοντας συνολική ισχύ 320 MW. Παράλληλα με την εξόρυξη του λιγνίτη και ανάπτυξη των σταθμών στη Βόρεια Ελλάδα υπήρξε εξόρυξη λιγνίτη και στη Μεγαλόπολη στη Πελοπόννησο. Εκεί δημιουργήθηκε το 1970 ο σταθμός τους ΑΗΣ Μεγαλόπολης με δύο μονάδες συνολικής ισχύς 250 MW.

Η ανάπτυξη και η δημιουργία σταθμών καύσης λιγνίτη για τη παραγωγή ενέργειας συνεχίστηκε και τη δεκαετία του 1980. Στις αρχές της δεκαετίας με τη δημιουργία τους ΑΗΣ Καρδιάς με τέσσερις μονάδες με ισχύ 300 MW η κάθε μια και τη τρίτη μονάδα στη Μεγαλόπολη και τη τέταρτη στη Πτολεμαΐδα ισχύς 300 MW η κάθε μία. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 δημιουργούνται ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου με τέσσερις μονάδες και στο Αμύνταιο με δύο μονάδες συνολικής ισχύς 1820 MW. Τη δεκαετία του 1990 δημιουργούνται άλλες δύο μονάδες. Η τέταρτη μονάδα στη Μεγαλόπολη και η πέμπτη μονάδα στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου ενώ το 2003 άλλη μία μονάδα δημιουργήθηκε στη Φλώρινα με ισχύ 330 MW.

Με το πρωτόκολλο του Κιότο η ΔΕΗ επικεντρώθηκε στην περιβαλλοντική αναβάθμιση των μονάδων παραγωγής ενέργειας από τη καύση λιγνίτη για να γίνουν συμβατές με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και δεν υπήρξε ουσιαστική αναβάθμιση στη λειτουργία και στην ενεργειακή απόδοση των μονάδων. Κάποιες παλαιές μονάδες αποσύρθηκαν όπως του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας ενώ κάποιες άλλες τροποποιήθηκαν για την καύση άλλων καυσίμων όπως στο Αλιβέρι που το 1980 μετά την εξάντληση των καλών αποθεμάτων οι μονάδες καίνε μαζούτ

για τη παραγωγή ενέργειας. Προς το παρόν οι δύο μεγαλύτεροι σταθμοί παραγωγής ενέργειας είναι ο ΑΗΣ Καρδιάς και ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.

### 3.4 ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου

Ο Ατμοηλεκτρικός Σταθμός (ΑΗΣ) Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένος στο νομό Κοζάνης σε υψόμετρο 678 μέτρων και σε απόσταση 18 χιλιομέτρων από τη πόλη της Κοζάνης. Το όνομα του σταθμού προέρχεται από το διπλανό χωριό, τον Άγιο Δημήτριο. Η συνολική επιφάνεια των εγκαταστάσεων του είναι 3.236 στρέμματα. Αποτελείται από πέντε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το λιγνίτη. Η ηλικία των δύο πρώτων μονάδων είναι 31 χρόνια. Η ηλικία της 3 και της 4 μονάδας είναι 30 χρόνια και η ηλικία της πέμπτης είναι 18 χρόνια.

Ο ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου παράγει περίπου 9 TWh ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρόνο καταναλώνοντας 17 εκατομμύρια τόνους λιγνίτη κάθε χρόνο. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού είναι 1595 MW. Αυτό αναμένεται να συνεχιστεί περίπου για τα άλλα 13 χρόνια καθώς τότε υπολογίζεται ότι θα αποσυρθούν οι τέσσερις πρώτες μονάδες και θα παραμείνει μόνο η πέμπτη μονάδα για άλλα 10 χρόνια περίπου. Ο σταθμός τους Αγίου Δημητρίου είναι ο μεγαλύτερος σταθμός στην Ελλάδα και συνεισφέρει περισσότερο από 10% του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα.

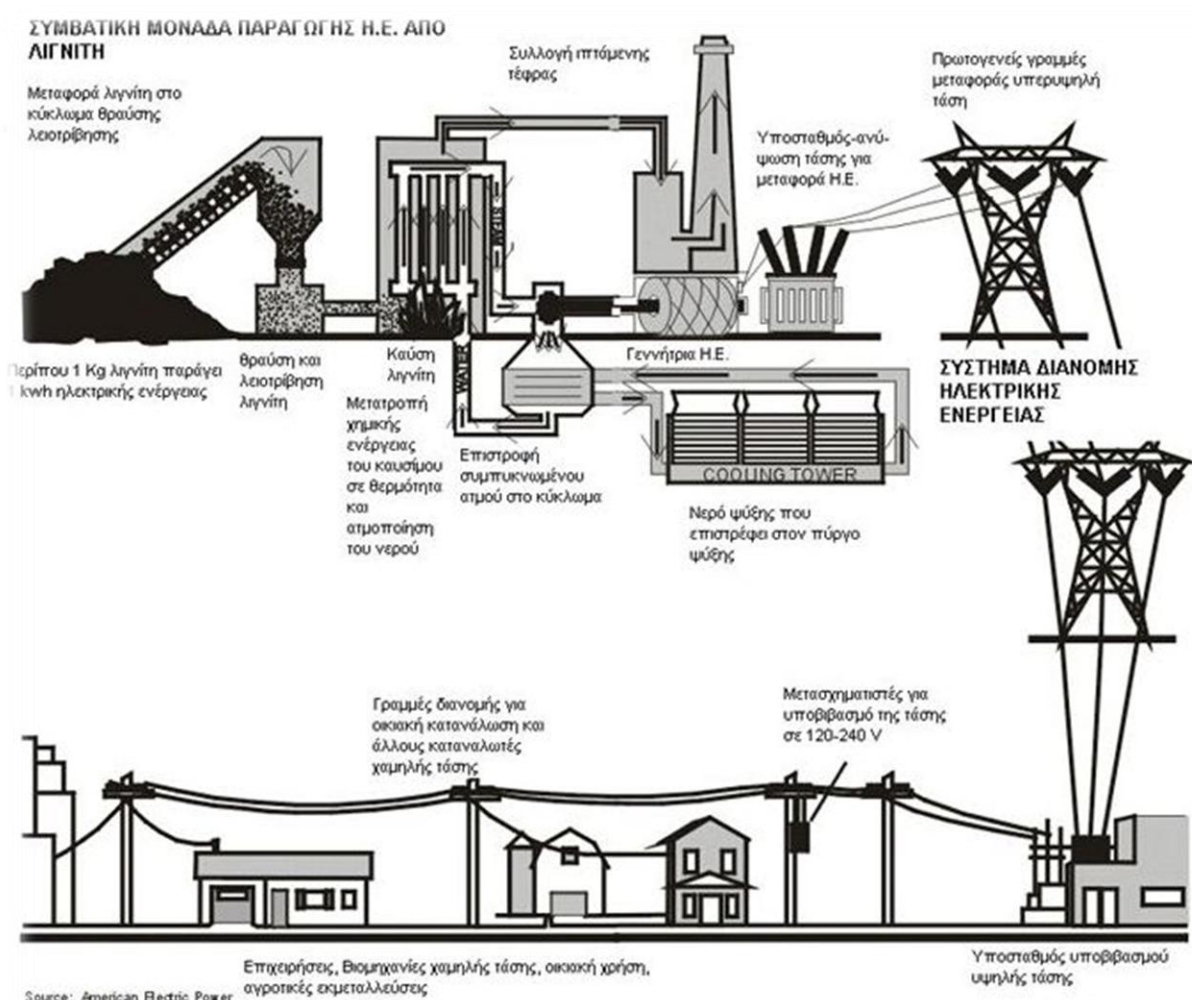
Στο σταθμό του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου απασχολούνται γύρω στους 500 εργαζόμενους από τη γύρω περιοχή. Ο αριθμός αυτός μειώνεται κάθε χρόνο καθώς οι περισσότεροι εργαζόμενοι εργάζονται σχεδόν από την αρχή της λειτουργίας του σταθμού και όταν συνταξιοδοτούνται δεν αντικαθιστώνται. Την εργασία τους πια την αντικαθιστούν εταιρίες εργολαβίας που απασχολούν εργάτες με συμβάσεις χρόνου εργασίας. Στο χώρο του σταθμού εκτός από τις πέντε μονάδες που είναι εγκατεστημένες βρίσκονται το διοικητικό κτήριο του σταθμού, η πυροσβεστική, το ιατρείο και ότι άλλο χρειάζεται για να λειτουργήσει ένα εργοστάσιο με ασφάλεια και με αυτονομία.

Στη παρούσα διπλωματική θα γίνει η αξιολόγηση στη λειτουργία των πέντε μονάδων του σταθμού. Η εγκατεστημένη ισχύ των δύο πρώτων μονάδων είναι 300 MW, της τρίτης και τέταρτης μονάδας είναι 310 MW και της πέμπτης μονάδας είναι 375 MW. Η τρίτη, η τέταρτη και η πέμπτη μονάδα συνεισφέρουν στη θέρμανσή της πόλης της Κοζάνης μέσω της τηλεθέρμανσης. Ο χειρισμός της πέμπτης και νεότερης μονάδας είναι εξολοκλήρου

ηλεκτρονικός σε αντίθεση με τις άλλες μονάδες που είναι παλιότερες. Ωστόσο γίνεται προσπάθειες για να εκσυγχρονιστούν και οι υπόλοιπες μονάδες ενώ ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί για την μείωση της εκπομπής ρύπων καθώς ο σταθμός του Αγίου Δημητρίου θεωρείται ένα από τα πιο ρυπογόνα εργοστάσια στην Ευρώπη.

### 3.5 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας στη παρούσα διπλωματική θα γίνει στη λειτουργία των μονάδων στοχεύοντας στη βελτίωση των της απόδοσης των μονάδων αυτών με ταυτόχρονη μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Η λειτουργία της μονάδας γίνεται μέσα από κάποιες βασικές διεργασίες.



Σχήμα 3.2 Διάταξη ατμοηλεκτρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο σχήμα 3.2 δίνεται μια συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας της μονάδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο λιγνίτη και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από τη πραγματοποίηση βασικών διεργασιών. Συνοπτικά οι βασικές διεργασίες για τη λειτουργία της μονάδας είναι:

- Ο λιγνίτης μεταφέρεται με τις μεταφορικές ταινίες από τα ορυχεία στη μονάδα θραύσης.
- Θραύεται και μεταφέρεται στη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο λιγνίτης αναμιγνύεται με καυτό αέρα και εισάγεται στο θάλαμο καύσης όπου γίνεται η μετατροπή της χημικής ενέργειας μέσω της καύσης σε θερμική ενέργεια και παράγεται θερμότητα.
- Μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού που αντλούνται κυκλοφορούν στις σωληνώσεις του θαλάμου καύσης.
- Το νερό θερμαίνεται από τη θερμότητα που παράγεται και μετατρέπεται σε υπέρθερμο και υψηλής πίεσης ατμό.
- Ο ατμός οδηγείται με τις σωληνώσεις στους ατμοστροβίλους που θέτονται σε λειτουργία και μετατρέπουν την ενέργεια του ατμού σε κινητική ενέργεια.
- Η κινητική ενέργεια του ατμοστροβίλου μέσω μια γεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε υψηλής τάσης ηλεκτρική ενέργεια και οδηγείται στο σύστημα μεταφοράς.
- Συγχρόνως ο θερμός ατμός που έθεσε σε λειτουργία τους ατμοστροβίλους οδηγείται στο κύκλωμα συμπύκνωσης και επιστρέφει σε μορφή νερού με τις σωληνώσεις στο θάλαμο καύσης για να θερμανθεί.
- Το νερό με το οποίο ψύχεται ο θερμός ατμός στο κύκλωμα συμπύκνωσης θερμαίνεται και αυτό και είτε επιστρέφει στη λίμνη από όπου αντλήθηκε αφού πρώτα περάσει από κάποιους εναλλακτές θερμότητας είτε χρησιμοποιείτε για άλλους σκοπούς όπως είναι η τηλεθέρμανση.

Κατά τη καύση του λιγνίτη εκπέμπονται αέρια που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Οι τιμές των ρύπων εξαρτώνται από τη ποιότητα του καύσιμου καθώς και από την απόδοση καύσης των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο στην Ελλάδα ο λιγνίτης δεν είναι τόσο ποιοτικός καθώς έχει πολύ χαμηλή θερμογόνο δύναμη κάτι που επηρεάζει τη καύση και αυξάνει την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Προσπάθεια γίνεται στις μονάδες για λιγότερο εκπομπή ρύπων είτε εγκαθιστώντας νέα φίλτρα είτε εκσυγχρονίζοντας τη λειτουργία τους.

### 3.5 Δεδομένα μονάδων παραγωγής

Η αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει μέσω της λειτουργίας τους. Ωστόσο για να γίνει αυτή η αξιολόγηση χρειάζονται να υπάρχουν κάποια μετρήσιμα δεδομένα. Μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας συνδυασμός μηχανημάτων και διεργασιών. Έτσι τα δεδομένα από μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να είναι οικονομικά αλλά μόνο λειτουργικά. Αυτό σημαίνει ότι δεδομένα μιας μονάδας είναι το τι χρειάζεται για να λειτουργήσει η μονάδα, το τι καταναλώνει η μονάδα για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια και το τι παράγει η μονάδα. Τα κυριότερα δεδομένα που χρειάζονται για την αξιολόγηση και τη σύγκριση των πέντε μονάδων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου ανά έτος είναι:

- Κατανάλωση λιγνίτη: Είναι η ποσότητα του λιγνίτη που καταναλώνει η μονάδα παραγωγής.
- Κατανάλωση πετρελαίου: Είναι η ποσότητα του πετρελαίου που καταναλώνεται από τις μονάδες για γίνουν κάποιες διεργασίες.
- Εσωτερική κατανάλωση: Είναι η κατανάλωση της ενέργειας που παράγεται για κάποιες διεργασίες στο εσωτερικό των μονάδων.
- Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια: Είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την μονάδα.
- Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια: Είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τη μονάδα αν η μονάδα είναι 100% διαθέσιμη.
- Θερμογόνος δύναμη λιγνίτη: Είναι η τιμή της θερμογόνου δύναμης του λιγνίτη που καταναλώνεται από μια μονάδα. Δείχνει τη ποιότητα του λιγνίτη.
- Διαθεσιμότητα της μονάδας: Είναι το ποσοστό που είναι διαθέσιμη η μονάδα όταν χρειάζεται να λειτουργήσει.
- Βαθμός απόδοσης: Είναι ο δείκτης που δείχνει την απόδοσης της μονάδας σε σχέση μόνο με τη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ): Είναι η ποσότητα που του διοξειδίου του άνθρακα από τη καύση του λιγνίτη για κάθε μονάδα.
- Ώρες λειτουργίας: Είναι οι ώρες λειτουργίας της μονάδας για να παραχθεί η ενέργεια
- Βλάβες: Είναι η ποσότητα των βλαβών που συνέβησαν στη μονάδα
- Συντήρηση: Είναι η συχνότητα συντηρήσεως της μονάδας
- Εγκατεστημένη ισχύς: Είναι η ονομαστική ισχύς των μονάδων.



Στην αξιολόγηση των μονάδων δεν θα χρησιμοποιηθούν όλα αυτά τα δεδομένα. Θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που επηρεάζουν περισσότερο την απόδοση των μονάδων καθώς και την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

## **3.6 Μοντελοποίηση με τη μέθοδο DEA**

### **3.6.1 Εισαγωγή**

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε μια ανάλυση της μεθόδου DEA και μια περιγραφή του τρόπου αξιολόγησης μονάδων αποφάσεων μετρώντας την αποδοτικότητα αυτών. Όπως αναφέρθηκε η DEA είναι μια μέθοδος για τη μέτρηση της αποδοτικότητας και τη σύγκριση μονάδων αποφάσεων που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Μια μονάδα απόφασης είναι ένα σύστημα που δέχεται κάποιες εισόδους και τις μετασχηματίζει με κάποιον άγνωστο μηχανισμό ώστε να παραχθούν κάποιες εξόδους. Οι εισόδοι και εξόδοι του συστήματος δεν χρειάζεται να έχουν τις ίδιες μονάδες. Η μέθοδος DEA βασίζεται στο γραμμικό προγραμματισμό. Υπάρχουν κάποια βασικά μοντέλα της DEA ενώ έχουν δημιουργηθεί και αρκετές παραλλαγές αυτών. Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει η δυνατότητα να μετρήσουμε την αποδοτικότητα είτε με βάση την αύξηση των εξόδων είτε με βάση την μείωση των εισόδων ώστε μια μονάδα που είναι μη αποδοτική να καταφέρει να γίνει αποδοτική. Ως μονάδες απόφασης στην παρούσα διπλωματική είναι οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μονάδες παραγωγής θα είναι τα συστήματα για τη μέτρηση της αποδοτικότητας.

### **3.6.2 Μονάδες απόφασης (DMUs)**

Στη παρούσα διπλωματική οι μονάδες απόφασης θα είναι οι πέντε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Όμως όπως αναφέρθηκε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος κατά την εφαρμογή της μεθόδου DEA στις μονάδες να προκύψουν όλες οι μονάδες αποδοτικές επειδή ο αριθμός των μονάδων που συγκρίνονται είναι μικρός. Έτσι θα γίνει μια σύγκριση όχι μόνο των πέντε μονάδων μεταξύ τους αλλά και των ίδιων μονάδων σε ένα χρονικό διάστημα κάποιων χρόνων. Επομένως η ίδια μονάδα θα θεωρείται ξεχωριστή μονάδα κάθε χρονιά. Αυτό θα βοηθήσει να βγουν κάποια συμπεράσματα όπως για τη συμπεριφορά της

μονάδας σε ένα χρονικό διάστημα καθώς και για το αν η μονάδα στη πάροδο του χρόνου έχει βελτιωθεί ή έχει επιβαρυνθεί. Το χρονικό διάστημα που θα εξεταστεί θα είναι πάνω από πέντε χρόνια οπότε οι μονάδες απόφασης (DMUs) θα είναι πάνω από 25 ένας αριθμός που με κατάλληλο αριθμό εισόδων και εξόδων επιτρέπει στη DEA να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

### **3.6.3 Είσοδοι & Έξοδοι των μονάδων απόφασης**

Οι εισοδοι και έξοδοι θα είναι τα δεδομένα των μονάδων. Ωστόσο δεν θα χρησιμοποιηθούν όλα τα δεδομένα. Η επιλογή των δεδομένων θα πρέπει να είναι προσεκτική. Πολλά δεδομένα έχουν την ίδια συσχέτιση μεταξύ τους οπότε θα μπορούσαν κάποια από αυτά να παραλειφθούν. Προσοχή πρέπει να δοθεί και στον αριθμό των εισόδων και εξόδων που θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Θα ακολουθηθεί η σχέση 2.13 όπου το άθροισμα των εισόδων και των εξόδων πολλαπλασιασμένο επί τρία θα είναι μικρότερο από τον αριθμό των DMUs για αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι πηγές των δεδομένων που θα χρησιμοποιούν είναι μέσα από το εργοστάσιο του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και η επιλογή τους στηρίζεται στις έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας. Θα υπάρχει ένας συνδυασμός των εισόδων και εξόδων των μονάδων ανάλογα με το που επικεντρώνεται η μέτρηση της αποδοτικότητας της μονάδας.

### **3.6.4 Μοντέλα & Προσανατολισμός**

Θα χρησιμοποιηθούν τα δύο βασικά μοντέλα της DEA το CCR και το BCC. Η μέτρηση θα γίνει και με τα δύο αυτά τα μοντέλα καθώς είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Ωστόσο η παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθεί περισσότερο στη CCR καθώς αυτό μοντέλο δεν εμφανίζει τόσο αποδοτικές τις μονάδες. Ο προσανατολισμός στη παρούσα διπλωματική θα είναι με βάση τη μείωση των εισροών καθώς στόχος δεν είναι να αυξηθεί η παραγωγή αλλά να μειωθούν οι πόροι που καταναλώνονται για την ίδια παραγωγή. Θα υπάρχουν όμως μετρήσεις και με προσανατολισμό με βάση την αύξηση της παραγωγής με τους δεδομένους πόρους για να γίνει μια σύγκριση ανάμεσα στους δυο προσανατολισμούς.

### 3.6.5 Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου DEA εκτός από την αποδοτικότητα θα είναι και οι στόχοι βελτίωσης των εισόδων και των εξόδων των μη αποδοτικών μονάδων που θα βασίζονται στις σχέσεις 2.11 και 2.12 για τον υπολογισμό τους. Θα υπάρξει μια σύγκριση μεταξύ των μονάδων καθώς και μια σύγκριση μεταξύ των δύο βασικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στη παρούσα διπλωματική. Τα αποτελέσματα θα υπολογιστούν από το σύστημα που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική το οποίο είναι βασισμένο στη μέθοδο DEA και στα μοντέλα CCR και BCC.

### 3.6.6 Συνοπτική περιγραφή της μοντελοποίησης

Μια συνοπτική περιγραφή της μοντελοποίησης του προβλήματος δίνεται παρακάτω:

- **Μονάδες :** Οι μονάδες που θα συγκριθούν είναι οι πέντε μονάδες του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου.
- **Αριθμός Μονάδων (DMUs) :** Ο αριθμός των μονάδων θα κυμανθεί από 45 μέχρι 30 ανάλογα με τα έτη.
- **Είσοδοι & Έξοδοι :** Από τα δεδομένα της μονάδας θα χρησιμοποιηθούν κάποια από αυτά σαν είσοδοι όπως η κατανάλωση λιγνίτη και κάποια ως έξοδοι όπως η παραγόμενη ενέργεια.
- **Μοντέλα :** Τα δύο μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τα βασικά μοντέλα της DEA. Το CCR και το BCC.
- **Προσανατολισμός :** Περισσότερο θα χρησιμοποιηθεί ο προσανατολισμός με βάση την μείωση των εισροών ωστόσο θα γίνουν μετρήσεις και με βάση την αύξηση των εκροών.
- **Αποτελέσματα :** Εκτός από την αποδοτικότητα των μονάδων που θα παρουσιάζεται επί τοις εκατό θα υπολογισθούν και οι τιμές βελτίωσης των δεδομένων των μονάδων ώστε να είναι αποδοτικές.
- **Σύστημα :** Για την μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα DEA Program που αναπτύχθηκε για τη παρούσα διπλωματική και είναι βασισμένο στη μέθοδο DEA.

# 4.

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ DEA PROGRAM

---

### 4.1 Εισαγωγή

Η ευημερία και η ανάπτυξη των επιχειρήσεων βασίζεται στο σχεδιασμό μιας σωστής οικονομικής στρατηγικής. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται οι επιχειρήσεις να αξιολογούνται ανά τακτά διαστήματα. Η μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής (DMUs) των επιχειρήσεων έχει καταστεί σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση τους. Ωστόσο η τεράστια ποσότητα των δεδομένων δεν επιτρέπει εύκολα τον υπολογισμό τους ώστε να αποκτηθούν οι χρήσιμες γνώσεις που χρειάζονται για την αξιολόγηση μια επιχείρησης. Η ανάγκη για τον υπολογισμό αυτών των δεδομένων ώστε να εξαχθούν χρήσιμες γνώσεις έφερε την ανάπτυξη διάφορων μεθόδων. Μια τέτοια μέθοδος είναι και η DEA που χρησιμοποιεί γραμμικό προγραμματισμό.

Η DEA θεωρήθηκε η πιο κατάλληλη μέθοδος για το πρόβλημα που ασχολείται η παρούσα διπλωματική. Η μέθοδος DEA έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας σε όλα τα πλάτη και μήκη του κόσμου. Σε αυτό βοηθάει ότι η DEA βλέπει την εξεταζόμενη μονάδα σαν ένα σύστημα που καταναλώνει πόρους και παράγει προϊόντα η υπηρεσίες ότι δηλαδή κάνει μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Καταναλώνει κάποιους πόρους για να παράγει ηλεκτρική ενέργειας.

Έτσι στη παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε ένα σύστημα βασισμένο στη μέθοδο DEA για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB. Το σύστημα δεν αναπτύχθηκε αποκλειστικά για τη μέτρηση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικότερα για μέτρηση της αποδοτικότητας επιχειρήσεων και οργανισμών. Η μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων μέσω του συστήματος επιτρέπει στο να επιτευχθεί η αξιολόγηση των μονάδων. Έτσι το σύστημα αυτό θα βοηθούσε αυτούς που αποφασίζουν στο να πάρουν τις κατάλληλες αποφάσεις για την καλύτερη λειτουργία των μονάδων και γενικότερα της επιχείρησης. Αυτό γίνεται γιατί το σύστημα επιτρέπει να:

- σχηματιστούν μελέτες συγκριτικής αποδοτικότητας για τις μονάδες
- απεικονίζονται σημαντικές πληροφορίες για τις μονάδες
- αναγνωριστούν οι μονάδες με την καλύτερη αποδοτικότητα
- αναγνωριστούν οι μονάδες με την χειρότερη αποδοτικότητα
- αποκτηθούν πληροφορίες για τον στρατηγικό σχεδιασμό της επιχείρησης
- εξεταστεί το πρόβλημα βαθύτερα
- διατεθούν οι πόροι που χρειάζονται

Στη παρούσα διπλωματική το σύστημα αυτό είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την επίτευξη κάποιων χρήσιμων συμπερασμάτων για τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Εκτός από τη σύγκριση και την αναγνώριση των μονάδων σε αποδοτικές και μη αποδοτικές θα βοηθήσει και να βγουν κάποια συμπεράσματα για τη βελτίωση των μη αποδοτικών μονάδων.

## 4.2 Αλγόριθμος

Όπως αναφέρθηκε το σύστημα που δημιουργήθηκε είναι βασισμένο στη μέθοδο DEA. Μια αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου έχει γίνει στο κεφάλαιο 2. Για την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν οι μαθηματικοί τύποι της μεθόδου ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιεί ο χρήστης κάθε φορά. Για την εξαγωγή των απαιτούμενων βελτιώσεων είτε στις εισόδους είτε στις εξόδους των μονάδων χρησιμοποιήθηκε ο μαθηματικός τύπος της μεθόδου. Η DEA χρησιμοποιεί γραμμικό προγραμματισμό για να υπολογίσει την αποδοτικότητα των μονάδων για αυτό χρησιμοποιήθηκε στο περιβάλλον της MATLAB η έτοιμη συνάρτηση **linprog** που υλοποιεί τον γραμμικό προγραμματισμό. Η σύνταξη της linprog διαφέρει ανάλογα με τα

ορίσματα που παίρνει κάθε φορά. Η σύνταξη που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος είναι:

$$\text{linprog} (f,A,b,Aeq,beg,lb) \quad (4.1)$$

όπου:

$f$  : είναι η συνάρτηση που ελαχιστοποιείται

$A,b$  : είναι δύο πίνακες κενοί

$Aeq$  : είναι το μέγεθος των εισόδων/εξόδων των μονάδων

$beg$  : είναι το μέγεθος των εξόδων/εισόδων των μονάδων

$lb$  : είναι η κατώτερη τιμή που μπορούν να πάρουν τα δεδομένα

Όπως είναι προφανές τα ορίσματα της  $\text{linprog}$  αλλάζουν ανάλογα το μοντέλο και τον προσανατολισμό που θέλει ο αποφασίζοντας. Οι μαθηματικοί τύποι πάνω στους οποίους δημιουργήθηκε ο αλγόριθμος είναι το δυικό μοντέλο το οποίο προσφέρει κάποιες πρόσθετες ερμηνείες όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2.

Έτσι για το μοντέλο CCR με προσανατολισμό με βάση τη μείωση των εισροών η συνάρτηση  $f$  θα είναι ίση με τη σχέση 2.4 ενώ τα υπόλοιπα ορίσματα παίρνουν τους αντίστοιχους περιορισμούς.

Για το μοντέλο CCR με προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών η συνάρτηση  $f$  θα είναι ίση με την αρνητική τιμή της σχέσης 2.6 ενώ τα υπόλοιπα ορίσματα παίρνουν τους αντίστοιχους περιορισμούς.

Αντίστοιχα για το μοντέλο BCC η συνάρτηση  $f$  θα ισούται με η σχέση 2.8 για προσανατολισμό με βάση τη μείωση των εισροών και με την αρνητική τιμή της σχέσης 2.10 για προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών. Αντίστοιχα και τα υπόλοιπα ορίσματα θα ισούται με τις τιμές των αντίστοιχων περιορισμών.

Ως αποτέλεσμα από τη  $\text{linprog}$  προκύπτει το  $\theta$  της κάθε μονάδας που με προσανατολισμό με βάση τη μείωση των εισροών ισούται με την αποδοτικότητα των μονάδων και με προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών ισούται με το λόγο 1 προς την αποδοτικότητα

της μονάδας. Ακόμα σαν αποτελέσματα της linprog προκύπτουν η σχέση των μη αποδοτικών μονάδων με τις μονάδες με τις οποίες συγκρίθηκαν καθώς και οι χαλαρές μεταβλητές (slacks) των μη αποδοτικών μονάδων. Αυτά τα αποτελέσματα βοηθούν για υπολογισθούν μέσω των σχέσεων 2.11 και 2.12 κατά πόσο μπορούν να βελτιωθούν οι είσοδοι και οι έξοδοι των μη αποδοτικών μονάδων ώστε να γίνουν αποδοτικές.

## 4.3 DEA Program

### 4.3.1 Εισαγωγή

Πριν τη χρησιμοποίηση του συστήματος είναι καλό ο χρήστης να έχει προσδιορίσει τις μονάδες που θέλει να αξιολογήσει καθώς και τις εισόδους και τους εξόδους των μονάδων αυτών. Κάποια από τα κριτήρια που θα πρέπει να προσέξει ο χρήστης για την επιλογή των μονάδων είναι:

- Οι μονάδες που θα επιλέγονται πρέπει να έχουν τους ίδιους στόχους και τα ίδια αποτελέσματα.
- Ο αριθμός των μονάδων να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να αποφευχθεί το να προκύψουν οι περισσότερες μονάδες αποδοτικές.
- Οι μονάδες που συγκρίνονται πρέπει να είναι ομοειδής για να μπορεί έχει ουσία η σύγκριση μεταξύ τους.
- Η χρονική περίοδος θα πρέπει να προσεχτεί καθώς δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη αλλά δεν πρέπει να είναι και πολύ μικρή. Αυτό θα εξαρτηθεί και από το είδος των μονάδων που συγκρίνονται.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να προσδιοριστούν σωστά οι εισροές και εκροές των μονάδων καθώς βάση αυτών θα προσδιοριστεί η αποδοτικότητα των μονάδων. Καλό είναι να χρησιμοποιούνται μόνο εκείνες οι εισροές και εκροές που σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία των μονάδων. Ο προσδιορισμός των εισροών και των εκροών καλό είναι να ακολουθεί κάποια βήματα. Τα βήματα αυτά είναι:

- Να είναι εύκολα στο να βρεθούν και να είναι αξιόπιστα τα δεδομένα.
- Να συνεισφέρουν ή να συσχετίζονται με τους στόχους της μονάδας.

- Να μην συσχετίζονται με άλλες εισροές ή εκροές δηλαδή να μην μεταφέρουν την ίδια πληροφορία με κάποια άλλη εισροή ή εκροή.

Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μεταβλητές οι οποίες αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα έναν παράγοντα ή μια διεργασία της μονάδας. Θα ήταν καλό να ακολουθηθούν οι παρακάτω οδηγίες ώστε να αποφευχθούν κάποια λάθη κατά την επιλογή των εισροών και των εκροών:

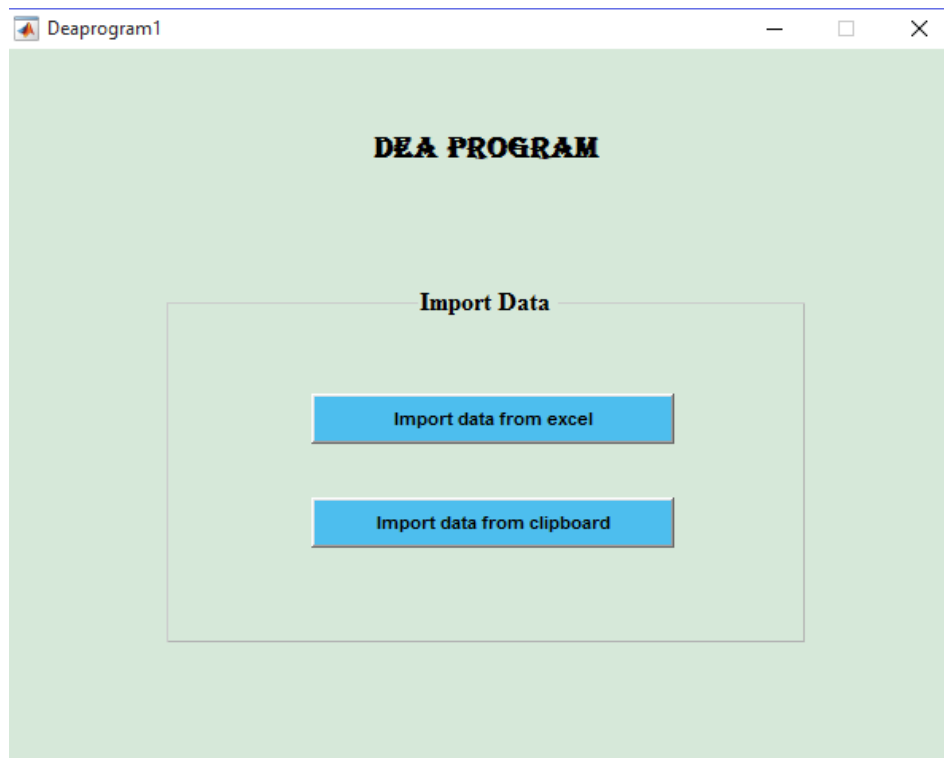
- Οι τιμές των δεδομένων θα πρέπει να είναι θετικές για όλες τις εισροές και τις εκροές της μονάδας.
- Όλες οι τιμές των δεδομένων πρέπει να είναι αριθμοί, αν κάποιο δεδομένο είναι ποιοτικό θα πρέπει η τιμή του να γίνει αριθμητική.
- Κάθε δεδομένο θα πρέπει να οριστεί είτε σαν είσοδος του συστήματος είτε σαν έξοδος.
- Όλες οι μονάδες θα πρέπει να αξιολογούνται έχοντας τις ίδιες εισροές και τις ίδιες εκροές.
- Οι εισροές και εκροές θα πρέπει να είναι το ίδιο σημαντικές για μια μονάδα και να μην είναι η μία λιγότερη σημαντική και η άλλη περισσότερο.

Ακολουθώντας τα παραπάνω στην επιλογή των μονάδων απόφασης (DMUs) και στην επιλογή των εισροών και εκροών θα επιτευχθούν από το σύστημα αξιόπιστα αποτελέσματα που θα βοηθήσουν να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των μονάδων απόφασης αλλά και γενικότερα για την αποτελεσματικότητα της δηλαδή την επίτευξη των στόχων της μονάδας ή όλης της επιχείρησης.

### 4.3.2 Εισαγωγή δεδομένων

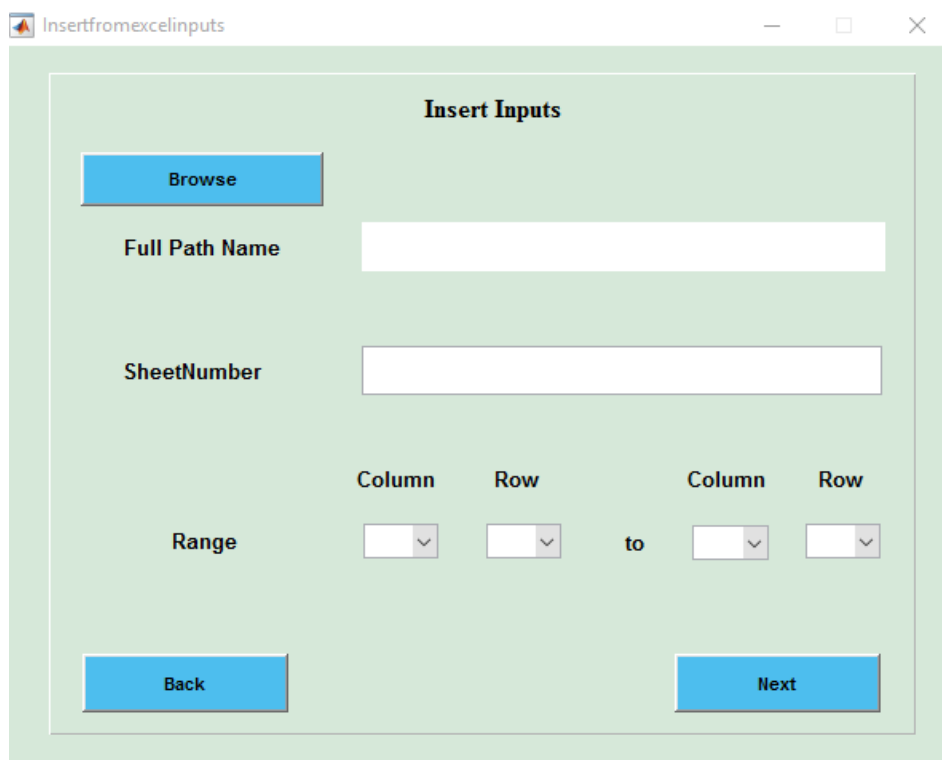
Με το άνοιγμα του συστήματος δίνεται η επιλογή στο χρήστη να διαλέξει πως θέλει να εισάγει τα δεδομένα του. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εισάγει τα δεδομένα του με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να εισάγει τα δεδομένα μέσα από κάποιο αρχείο excel και ο δεύτερος τρόπος είναι να εισάγει τα δεδομένα από το πληκτρολόγιο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1 το παράθυρο που εμφανίζεται έχει δύο επιλογές, την επιλογή εισαγωγή δεδομένων από αρχείο excel (Import data from excel) και την εισαγωγή δεδομένων από το πληκτρολόγιο (Import data from clipboard). Πατώντας με το ποντίκι σε ένα από τα κουμπιά διαλέγει πως θέλει να γίνει η εισαγωγή.





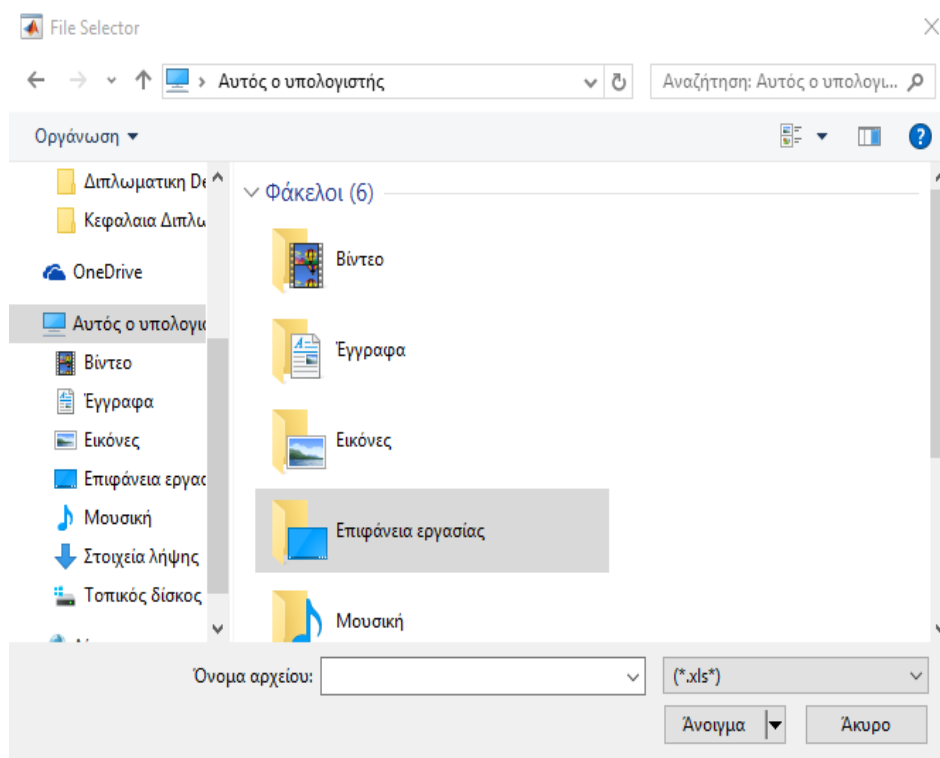
Εικόνα 4.1: Τρόποι εισαγωγής δεδομένων

Εφόσον ο χρήστης επιλέξει την επιλογή εισαγωγή δεδομένων από αρχείο excel θα του ανοίξει ένα καινούριο παράθυρο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2: Εισαγωγή εισροών από excel

Για την εισαγωγή των εισροών ο χρήστης χρειάζεται να πατήσει την το κουμπί Browse που του ανοίγει το παράθυρο για την επιλογή του αρχείου excel στο οποίο υπάρχουν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για εισροές όπως φαίνεται στην εικόνα 4.3. Επιλέγοντας το αρχείο και πατώντας το κουμπί άνοιγμα του ανοίγει το αρχείο excel ενώ συγχρόνως στο πλαίσιο κειμένου δίπλα από το Full Path Name του εμφανίζει τη διεύθυνση περιορισμού του αρχείου excel. Στο πλαίσιο κειμένου δίπλα από το SheetNumber ο χρήστης πρέπει να δώσει τον αριθμό του φύλλου του αρχείου excel όπου υπάρχουν τα δεδομένα. Στις λίστες επιλογής δίπλα από το Range ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τη στήλη και τη γραμμή από που ξεκινάν τα δεδομένα μέχρι τη στήλη και τη γραμμή που τελειώνουν τα δεδομένα που θέλει να εισάγει ο χρήστης ως εισροές. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί που γράφει Back έχει τη δυνατότητα να γυρίσει στο προηγούμενο παράθυρο και πατώντας next να προχωρήσει στο επόμενο ωστόσο για να προχωρήσει στο επόμενο θα πρέπει να έχει εισάγει όλα τα στοιχεία που χρειάζονται.



Εικόνα 4.3: Επιλογή αρχείου excel

Εφόσον ο χρήστης προχωρήσει στο επόμενο παράθυρο θα του ζητηθεί να εισάγει τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιεί το σύστημα ως εκροές. Το παράθυρο που θα ανοίξει είναι παρόμοιο με το προηγούμενο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4. Ο χρήστης θα ακολουθήσει τα ίδια βήματα που

ακολούθησε και στο προηγούμενο παράθυρο για την εισαγωγή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν ως εκροές.

The image shows a software window titled "Insert Outputs" with a light green background. At the top left is a "Browse" button. Below it is a text field labeled "Full Path Name". Underneath that is another text field labeled "SheetNumber". In the center, there is a "Range" section consisting of two pairs of dropdown menus for "Column" and "Row", separated by the word "to". At the bottom left is a "Back" button, and at the bottom right is a "Next" button.

Εικόνα 4.4: Εισαγωγή εκροών από excel

Το αρχείο excel θα πρέπει αν έχει τις μονάδες απόφασης ως γραμμές και τις εισροές ή εκροές ως στήλη. Αυτό χρειάζεται να γίνει γιατί το σύστημα διαβάσει την κάθε γραμμή του excel ως μια ξεχωριστή μονάδα ενώ κάθε στήλη τη διαβάσει ως μία εισροή ή μία εκροή ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Θα πρέπει να προσεχθεί κατά την εισαγωγή των δεδομένων ο αριθμός των μονάδων απόφασης να είναι ίδιος και κατά την εισαγωγή εισροών και εκροών. Αυτό σημαίνει ότι οι γραμμές κατά την εισαγωγή των δεδομένων από το excel να είναι ίσες είτε είναι η επιλογή δεδομένων για εισροές είτε είναι επιλογή δεδομένων για εκροές. Με το τρόπο της εισαγωγής δεδομένων από το excel ο χρήστης μπορεί να εισάγει δεδομένα μέχρι 100 διαφορετικών μονάδων. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να αξιολογήσει μέχρι 100 μονάδες.

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει την εισαγωγή δεδομένων από το πληκτρολόγιο στο παράθυρο της εικόνας 4.1 το σύστημα θα του ανοίξει ένα καινούριο παράθυρο για να εισάγει τα δεδομένα από το πληκτρολόγιο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5.

The screenshot shows a window titled 'PastelInputs' with a sub-window titled 'Insert Inputs'. Inside 'Insert Inputs' is a table with the following structure:

	Inputs_1	Inputs_2	Inputs_3	Inputs_4	Inputs_5	Inputs_6
DMU_1						
DMU_2						
DMU_3						
DMU_4						
DMU_5						
DMU_6						
DMU_7						
DMU_8						
DMU_9						
DMU_10						
DMU_11						
DMU_12						
DMU_13						
DMU_14						
DMU_15						

Below the table are two buttons: 'Back' and 'Next'.

Εικόνα 4.5: Εισαγωγή εισροών από το πληκτρολόγιο

Στο παράθυρο για την εισαγωγή εισροών από το πληκτρολόγιο υπάρχει ένας πίνακας που έχει για γραμμή μια μονάδα απόφασης (DMU) και για στήλη μία εισροή. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει για κάθε μονάδα απόφασης τη τιμή της κάθε εισροής που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αποδοτικότητας της. Αφού πληκτρολογήσει όλα τα δεδομένα για κάθε μονάδα απόφασης που θέλει να εξετάσει ο χρήστης έχει τη δυνατότητα πατώντας το κουμπί που γράφει Next να προχωρήσει στο επόμενο παράθυρο ή πατώντας το κουμπί που γράφει Back να γυρίσει στο προηγούμενο παράθυρο και να διαλέξει διαφορετικό τρόπο εισαγωγής των δεδομένων.

Το επόμενο παράθυρο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6 είναι παρόμοιο με το παράθυρο για την εισαγωγή εισροών από το πληκτρολόγιο. Σε αυτό το παράθυρο του ζητείται του χρήστη να εισάγει τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν ως εισροές στον πίνακα που εμφανίζεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως έκανε και στο προηγούμενο παράθυρο. Κατά την εισαγωγή είτε των εισροών είτε των εκροών θα πρέπει ο χρήστης να εισάγει τα ίδια δεδομένα για κάθε μονάδα απόφασης καθώς και όλα τα δεδομένα που θα εισάγει θα πρέπει να είναι αριθμός ακόμα και κάποια εισροή έχει ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο αριθμός των μονάδων απόφασης θα πρέπει να είναι ίδιος κατά την εισαγωγή των εισροών και κατά την εισαγωγή των εκροών. Με το τρόπο εισαγωγής από το πληκτρολόγιο ο χρήστης μπορεί να εισάγει μέχρι 50 διαφορετικές μονάδες. Αυτό σημαίνει ότι το

σύστημα μπορεί να αξιολογήσει μέχρι 50 μονάδες. Αριθμός των εισροών μπορεί να είναι μέχρι 15. Το ίδιο ισχύει και για τον αριθμό των εκροών. Αυτό σημαίνει ότι οι μονάδες απόφασης μπορούν να δέχονται μέχρι 15 εισροές και να παράγουν μέχρι 15 εκροές.

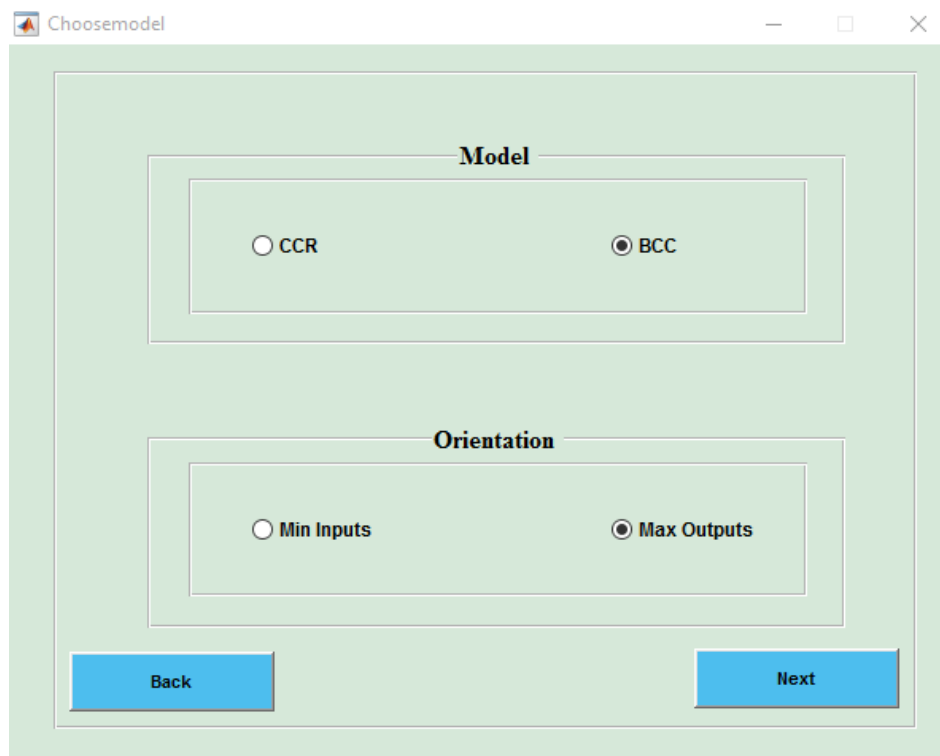
	Outputs_1	Outputs_2	Outputs_3	Outputs_4	Outputs_5	Out
DMU_1						
DMU_2						
DMU_3						
DMU_4						
DMU_5						
DMU_6						
DMU_7						
DMU_8						
DMU_9						
DMU_10						
DMU_11						
DMU_12						
DMU_13						
DMU_14						
DMU_15						

Εικόνα 4.6: Εισαγωγή εκροών από το πληκτρολόγιο

### 4.3.3 Επιλογή Μοντέλου & Προσανατολισμού

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων ζητείται από το χρήστη να επιλέξει με βάση ποιο μοντέλο και ποιον προσανατολισμό θέλει να υπολογιστεί η αποδοτικότητα των μονάδων. Το παράθυρο που του ανοίγει μετά την εισαγωγή των δεδομένων φαίνεται στην εικόνα 4.7. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα στα δύο βασικά μοντέλα της μεθόδου DEA, το CCR μοντέλο και το BCC μοντέλο. Ακόμα αφού επιλέξει το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το προσανατολισμό που θέλει. Οι δύο προσανατολισμοί είναι ο προσανατολισμός με βάση τη μείωση των εισροών (Min Inputs) και ο προσανατολισμός με βάση την αύξηση των εκροών (Max Outputs). Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν επιλέξει το σύστημα θα υπολογίσει το μοντέλο BCC με προσανατολισμό την αύξηση εξόδων. Η επιλογή του μοντέλου και του

προσανατολισμού είναι σημαντική καθώς με διαφορετική επιλογή από αυτή που χρειάζεται ο χρήστης θα προκύψουν λανθασμένα αποτελέσματα και θα εξαχθούν μη χρήσιμα συμπεράσματα. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί Back γυρίζει στην εισαγωγή των δεδομένων από όπου προήλθε ενώ πατώντας το κουμπί Next το σύστημα θα υπολογίσει και αξιολογήσει τις μονάδες απόφασης και θα προχωρήσει στο τελικό παράθυρο των αποτελεσμάτων και της αποθήκευσης.

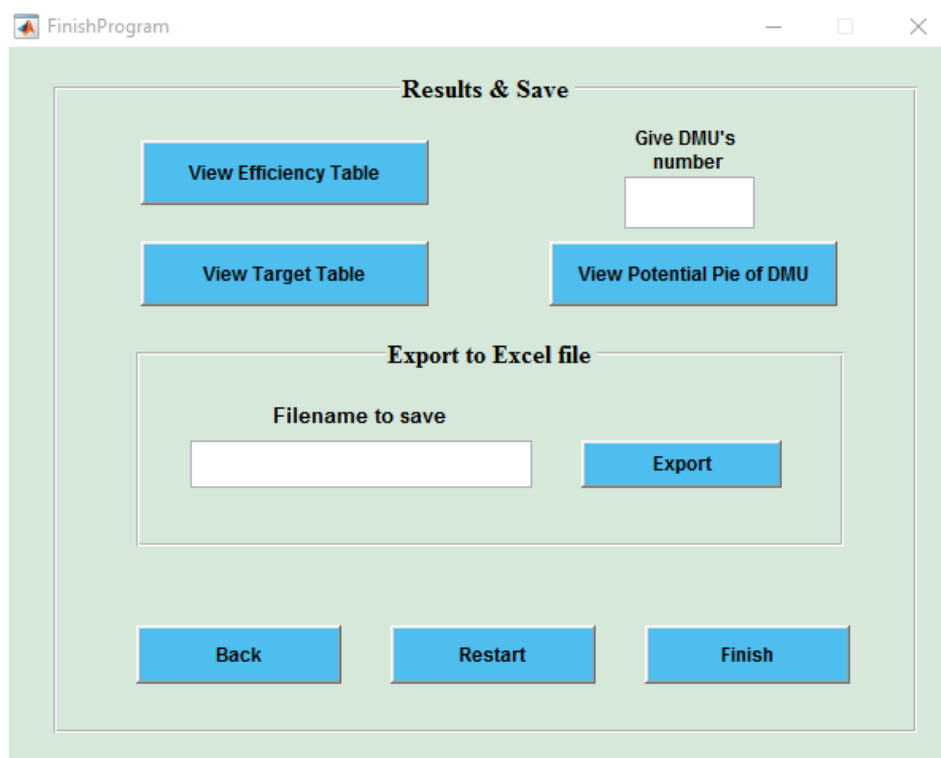


Εικόνα 4.7: Επιλογή Μοντέλου & Προσανατολισμού

#### 4.3.4 Αποτελέσματα & Αποθήκευση

Μετά και την επιλογή του μοντέλου και του προσανατολισμού το σύστημα ανοίγει το επόμενο παράθυρο που είναι το παράθυρο των αποτελεσμάτων και της αποθήκευσης των αποτελεσμάτων. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.8 το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δει επί τόπου τα αποτελέσματα ή να τα αποθηκεύσει σε ένα αρχείο excel. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τρία διαφορετικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το σύστημα. Αυτά τα τρία αποτελέσματα είναι:

- Πατώντας το κουμπί που γράφει View Efficiency Table το σύστημα ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο παρουσιάζει έναν πίνακα με την αποδοτικότητα των μονάδων επί τοις εκατό. Οι αποδοτικές μονάδες είναι αυτές που η αποδοτικότητάς τους ισούται με 100.
- Πατώντας το κουμπί που γράφει View Target Table το σύστημα ανοίγει ένα παράθυρο το οποίο παρουσιάζει έναν πίνακα με τις τιμές που πρέπει να έχουν οι εισροές και οι εκροές ώστε οι μη αποδοτικές μονάδες να γίνουν αποδοτικές.
- Δίνοντας στο πλαίσιο κειμένου κάτω από το Give DMU's number τον αριθμό της μονάδας απόφασης που θέλει να δει ο χρήστης και πατώντας το κουμπί που γράφει View Potential Pie of DMU ανοίγει ένα παράθυρο με το οποίο παρουσιάζει μία πίτα όπου δείχνει ποια εισροή ή εκροή μπορεί να βελτιωθεί πιο πολύ.



Εικόνα 4.8: Αποτελέσματα & Αποθήκευση

Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα και σε ένα αρχείο excel. Στο πλαίσιο κειμένου κάτω από το Filename to save ο χρήστης δίνει το όνομα του αρχείου που θέλει να δημιουργηθεί. Πατώντας το κουμπί που γράφει Export το σύστημα δημιουργεί τρία φύλλα με στο αρχείο excel. Στο πρώτο φύλλο αποθηκεύει την αποδοτικότητα των μονάδων. Στο δεύτερο φύλλο αποθηκεύεται τα ποσοστά που δείχνουν κατά πόσο πρέπει να

βελτιωθεί η εισροή ή εκροή. Για τις εισροές τα ποσοστά σημαίνουν ότι θα πρέπει να μειωθεί κατά τέτοιο ποσοστό ενώ για τις εκροές θα πρέπει να αυξηθεί κατά τέτοιο ποσοστό. Και στο τρίτο φύλλο αποθηκεύει τις τιμές που πρέπει να έχουν οι εισροές και εκροές των μη αποδοτικών μονάδων ώστε να γίνουν αποδοτικές. Μόλις δημιουργηθεί το αρχείο excel το σύστημα το ανοίγει και το εμφανίζει στον χρήστη.

Τέλος δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα πατώντας το κουμπί που γράφει Back να αλλάξει το μοντέλο και το προσανατολισμό και να υπολογίσει με τα ίδια δεδομένα τα καινούρια αποτελέσματα. Πατώντας το κουμπί που γράφει Restart το σύστημα αρχίζει από την αρχή ενώ πατώντας το κουμπί που γράφει Finish το σύστημα κλείνει.

## 4.4 Παράδειγμα Συστήματος

Παρακάτω θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα του συστήματος με εισροές και εκροές. Το παράδειγμα γίνεται για φανεί πιο ξεκάθαρα η λειτουργία του συστήματος. Το παράδειγμα δεν έχει σχέση με μονάδα παραγωγής. Αυτό γίνεται για να αποδειχθεί ότι το σύστημα DEA Program μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς και όχι μόνο σε μονάδες παραγωγής. Στο παράδειγμα θα συγκρίνουμε 15 παίκτες του NBA με βάση το μέσο όρο των λεπτών ανά παιχνίδι, το μέσο όρο των σουτ που επιχειρούσαν ανά παιχνίδι και τέλος το μέσο όρο πόντων ανά παιχνίδι. Μια περιγραφή της μοντελοποίησης γίνεται παρακάτω:

- Μονάδες απόφασης (DMUs) : 15 παίκτες του NBA
- Εισροές : Μέσο όρος λεπτών και μέσος όρος σουτ ανά παιχνίδι
- Εκροές : Μέσος όρος πόντων ανά παιχνίδι
- Μοντέλο : CCR
- Προσανατολισμός : Με βάση την αύξηση των εκροών

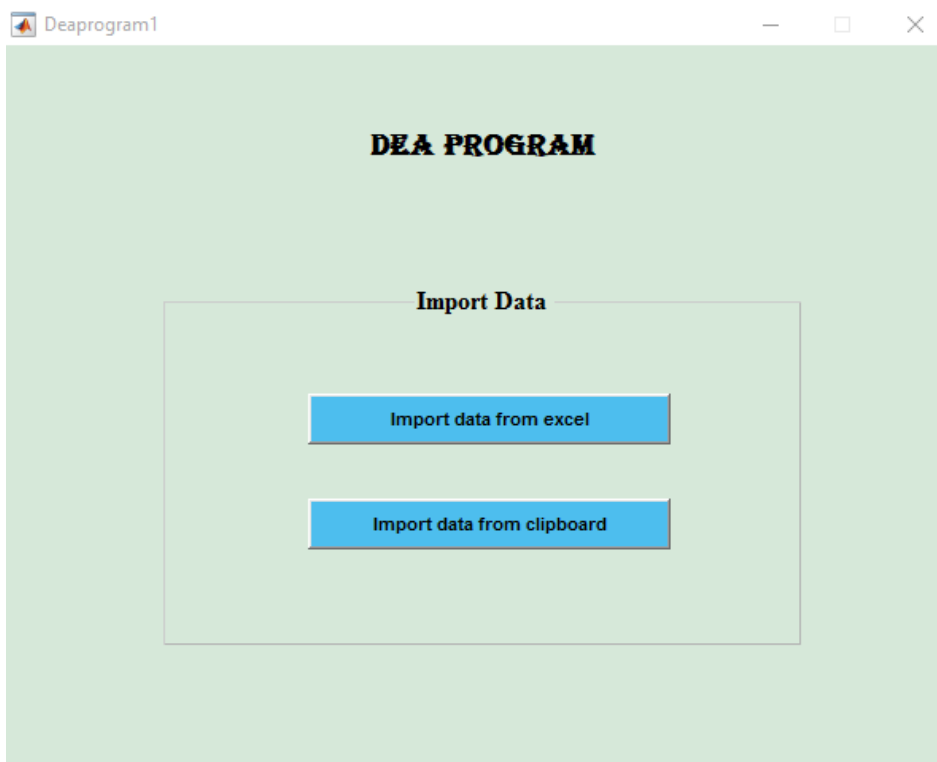
Τα δεδομένα είναι από το επίσημο site του NBA. Επιλέχθηκαν αυτά τα δεδομένα γιατί ένας παίκτης κρίνεται τις περισσότερες φορές ως αποδοτικός από τους πόντους που βάζει στο παιχνίδι. Σημαντικό ρόλο στην απόδοση του παίκτη παίζει και ο χρόνος που παίζει σε ένα παιχνίδι ενώ σημαντικός παράγοντας είναι και ο αριθμός των σουτ που σουτάρει ένας παίκτης. Εδώ φαίνεται και η διαφορά της αποτελεσματικότητας από την αποδοτικότητα. Ένας παίκτης θεωρείται αποτελεσματικός όταν πετυχαίνει πολλούς πόντους. Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι και



αποδοτικός αυτό συμβαίνει γιατί αν ο παίχτης χρειάζεται να επιχειρήσει πολλά σουτ για να βάλει πολλούς πόντους τότε δεν είναι τόσο αποδοτικός. Στο πίνακα 4.1 δίνεται τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν. Το Input\_1 είναι ο μέσος όρος των λεπτών, το Input\_2 είναι ο μέσος όρος των και το Output\_1 είναι ο μέσος όρος των πόντων για κάθε παίχτη.

	Input_1	Input_2	Output_1
DMU_1	34,4	22	28,1
DMU_2	36,8	18,1	27,4
DMU_3	36,1	18,5	25,3
DMU_4	36,1	17,6	24,4
DMU_5	34,1	18,1	24,1
DMU_6	32,7	16,8	23,8
DMU_7	35,4	19,9	23,4
DMU_8	35,2	17,1	21,9
DMU_9	36,4	16,5	21,7
DMU_10	31,9	16,9	21,7
DMU_11	31,8	17,5	21,5
DMU_12	35,4	16,4	21,1
DMU_13	35,7	16,6	21
DMU_14	35	16,5	20,1
DMU_15	38,7	14	20

Πίνακας 4.1: Πίνακας δεδομένων



Εικόνα 4.9: Αρχή συστήματος

Στο παράδειγμα αυτό θα γίνει εισαγωγή από αρχείο excel. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.10 έχουν δοθεί όλα τα πεδία που χρειάζονται για να γίνει η εισαγωγή των δεδομένων των εισροών.

**Insert Inputs**

**Browse**

**Full Path Name** C:\Users\user\Desktop\diplw\NB\Aplayer.xlsx

**SheetNumber** 1

**Range**

Column	Row		Column	Row
B	2	to	C	16

**Back** **Next**

Εικόνα 4.10: Εισαγωγή εισροών

**Insert Outputs**

**Browse**

**Full Path Name** C:\Users\user\Desktop\diplw\NB\Aplayer.xlsx

**SheetNumber** 1

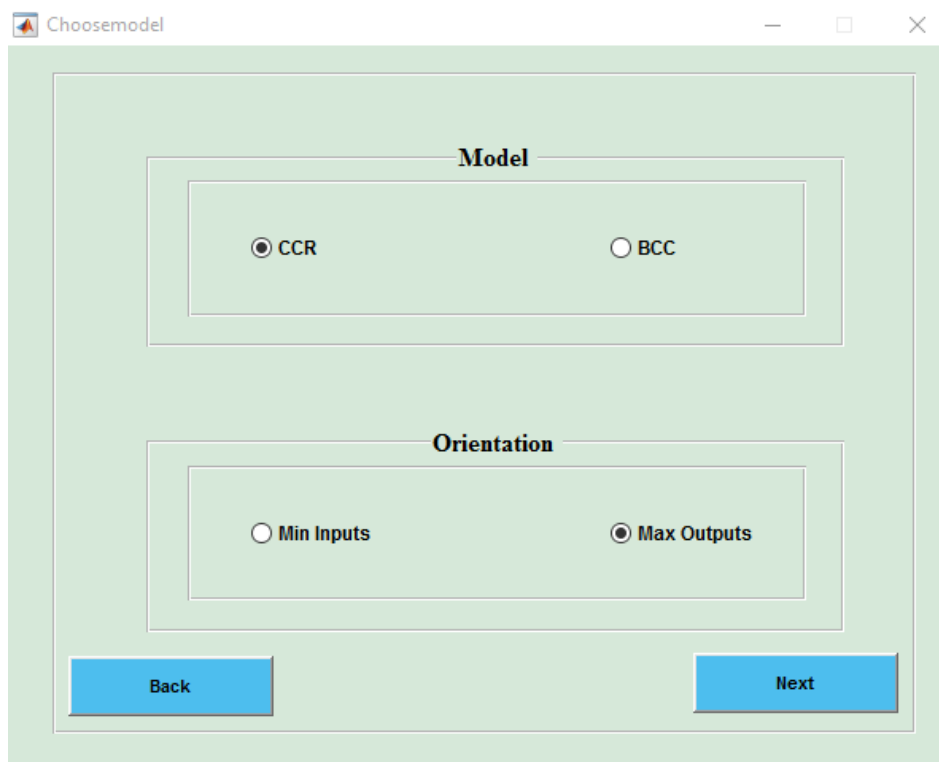
**Range**

Column	Row		Column	Row
D	2	to	D	16

**Back** **Next**

Εικόνα 4.11: Εισαγωγή εκροών

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.11 έχουν δοθεί όλα τα πεδία που χρειάζονται για να γίνει η εισαγωγή των δεδομένων των εκροών.



Εικόνα 4.12: Επιλογή Μοντέλου & Προσανατολισμό

Στην εικόνα 4.12 φαίνεται η επιλογή του μοντέλου καθώς και του προσανατολισμού. Σε αυτό το παράδειγμα όπως αναφέρθηκε θα χρησιμοποιηθεί το CCR μοντέλο με προσανατολισμό με βάση την αύξηση των εκροών.

Στην εικόνα 4.13 φαίνεται ο πίνακας αποδοτικότητας των μονάδων απόφασης. Με πράσινο χρώμα είναι η αποδοτικότητα των μονάδων που είναι 100% δηλαδή των μονάδων που είναι αποδοτικές. Με κίτρινο χρώμα είναι οι μονάδες που η αποδοτικότητας κυμαίνεται από 90% μέχρι 99% δηλαδή οι μονάδες που είναι μη αποδοτικές αλλά δεν χρειάζονται μεγάλη βελτίωση και με κόκκινο χρώμα είναι οι μονάδες όπου η αποδοτικότητά τους είναι κάτω από 90% δηλαδή είναι οι μονάδες που χρειάζονται τη μεγαλύτερη βελτίωση ώστε να γίνουν αποδοτικές. Όπως φαίνεται στην εικόνα μόνο 2 παίχτες είναι αποδοτική ενώ όσο πέφτει ο μέσος όρος των πόντων η αποδοτικότητα πέφτει χωρίς όμως να είναι απόλυτο αυτό. Υπάρχουν παίχτες με μικρότερο μέσο όρο πόντων αλλά μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Εδώ φαίνεται η διαφορά που αναφέρθηκε προηγουμένως μεταξύ της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας.

Figure 1: model:CCR orientation: Max O...

File

	Input_1	Input_2	Output_1	Efficiency(%)
DMU_1	34.4	22	28.1	100
DMU_2	36.8	18.1	27.4	100
DMU_3	36.1	18.5	25.3	92.87
DMU_4	36.1	17.6	24.4	91.58
DMU_5	34.1	18.1	24.1	92.55
DMU_6	32.7	16.8	23.8	96.36
DMU_7	35.4	19.9	23.4	84.86
DMU_8	35.2	17.1	21.9	84.6
DMU_9	36.4	16.5	21.7	86.88
DMU_10	31.9	16.9	21.7	89.14
DMU_11	31.8	17.5	21.5	87.44
DMU_12	35.4	16.4	21.1	84.99
DMU_13	35.7	16.6	21	83.57
DMU_14	35	16.5	20.1	80.47
DMU_15	38.7	14	20	94.37

Εικόνα 4.13: Πίνακας αποδοτικότητας

Figure 1: model:CCR orie...

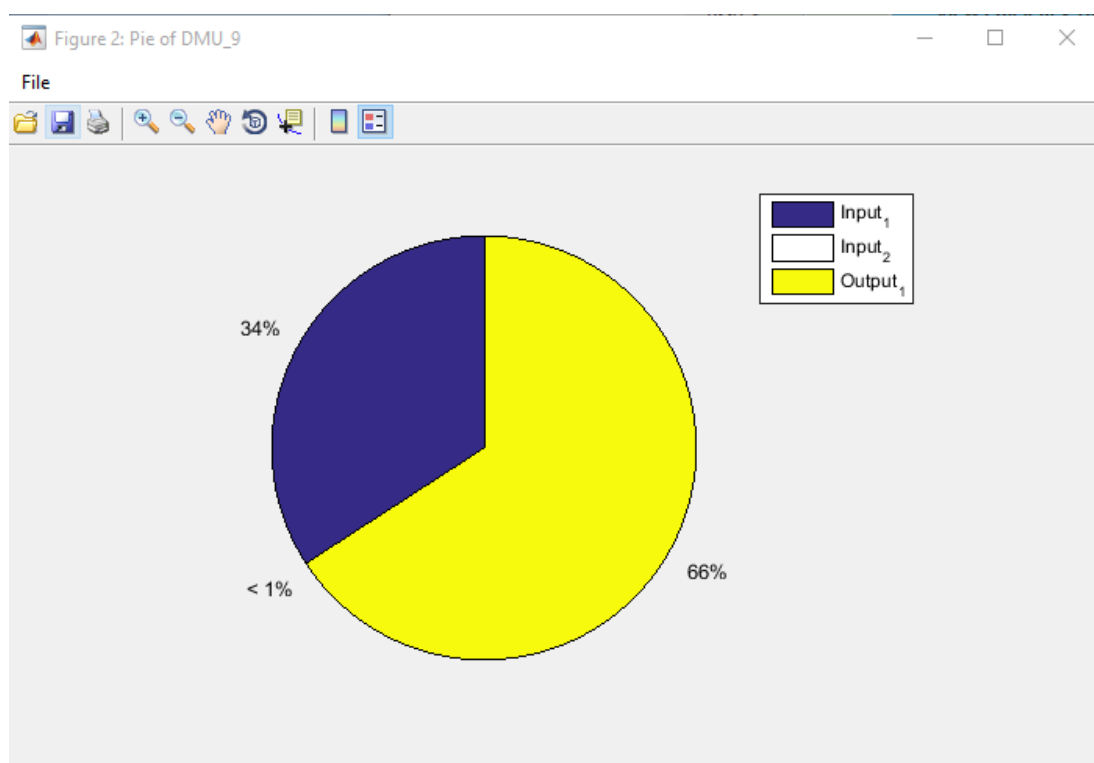
File

	Input_1	Input_2	Output_1
DMU_1	34.4000	22	28.1000
DMU_2	36.8000	18.1000	27.4000
DMU_3	36.1000	18.5000	27.2431
DMU_4	35.7800	17.6000	26.6431
DMU_5	34.1000	18.1000	26.0397
DMU_6	32.7000	16.8000	24.6981
DMU_7	35.4000	19.9000	27.5758
DMU_8	34.7700	17.1000	25.8862
DMU_9	33.5500	16.5000	24.9779
DMU_10	31.9000	16.9000	24.3440
DMU_11	31.8000	17.5000	24.5873
DMU_12	33.3400	16.4000	24.8265
DMU_13	33.7500	16.6000	25.1293
DMU_14	33.5500	16.5000	24.9779
DMU_15	28.4600	14	21.1934

Εικόνα 4.14: Πίνακας στόχων

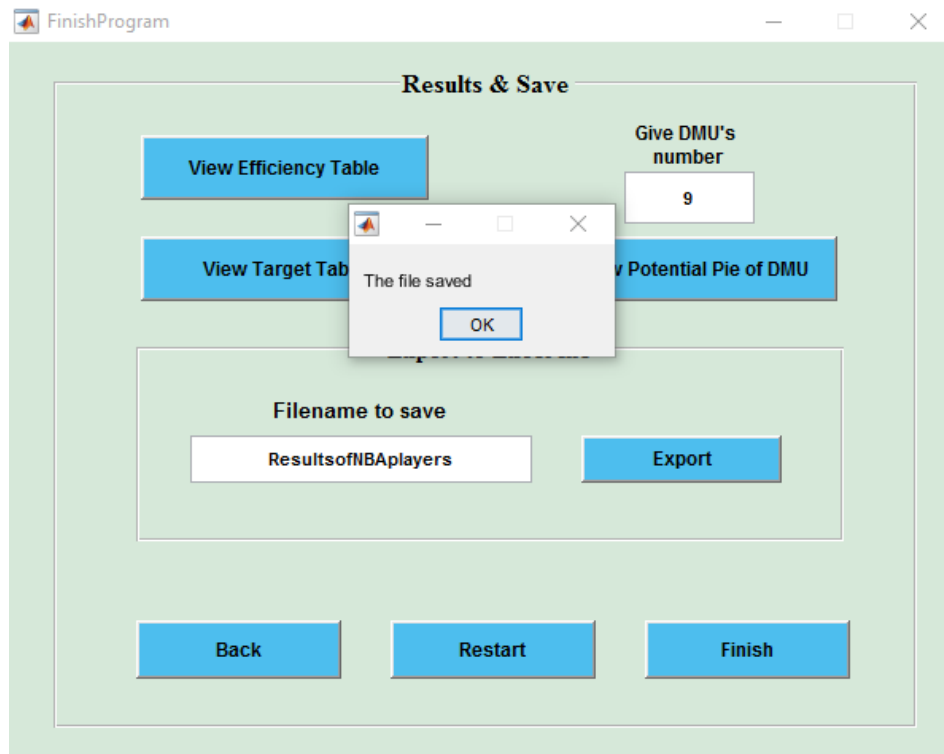
Στην εικόνα 4.14 φαίνεται ο πίνακας στόχων. Δηλαδή ποιες τιμές θα έπρεπε να έχουν οι εισροές των και οι εκροές των μη αποδοτικών μονάδων ώστε να γίνουν και αυτές αποδοτικές. Είναι ένας πίνακας που δείχνει που και πόσο θα έπρεπε να βελτιωθεί η κάθε μονάδα - παίχτης ώστε να γίνει αποδοτικός πάντα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους παίχτες.

Στην εικόνα 4.15 φαίνεται η πίτα βελτίωσης της μονάδας-παίχτη 9. Όπως φαίνεται περισσότερα περιθώρια βελτίωσης έχει η εκροή. Δηλαδή ο μέσος όρων πόντων. Αυτό σημαίνει ότι ίσως είναι καλύτερα ο παίχτης να επικεντρωθεί να στο αυξήσει το μέσο όρων των πόντων του παρά να μειώσει τα λεπτά συμμετοχής του. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι πιο εύστοχος αν θέλει να γίνει πιο αποδοτικός ενώ αν θέλει να γίνει αποδοτικός σε σύγκριση με τους αποδοτικούς παίχτες θα πρέπει να μειώσει και τα λεπτά συμμετοχής του.



Εικόνα 4.15: Πίτα βελτίωσης της μονάδας

Για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων ζητείται από το σύστημα να εισαχθεί το όνομα του αρχείου που θα αποθηκευτεί. Πατώντας το κουμπί Export το αρχείο δημιουργείται. Όταν το αρχείο δημιουργηθεί θα το σύστημα ενημερώνει το χρήστη με ένα μήνυμα ενώ ταυτόχρονα ανοίγει και το αρχείο που δημιουργήθηκε. Στην εικόνα 4.16 φαίνεται η εισαγωγή του ονόματος του αρχείου excel καθώς και το μήνυμα ότι δημιουργήθηκε το αρχείο excel και στην εικόνα 4.17 φαίνεται το αρχείο excel που δημιουργήθηκε.



Εικόνα 4.16: Αποθήκευση αποτελεσμάτων

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Input_1	Input_2	Output_1	Efficiency(%)				
2	DMU_1	34,4	22	28,1	100				
3	DMU_2	36,8	18,1	27,4	100				
4	DMU_3	36,1	18,5	25,3	92,87				
5	DMU_4	36,1	17,6	24,4	91,58				
6	DMU_5	34,1	18,1	24,1	92,55				
7	DMU_6	32,7	16,8	23,8	96,36				
8	DMU_7	35,4	19,9	23,4	84,86				
9	DMU_8	35,2	17,1	21,9	84,6				
10	DMU_9	36,4	16,5	21,7	86,88				
11	DMU_10	31,9	16,9	21,7	89,14				
12	DMU_11	31,8	17,5	21,5	87,44				
13	DMU_12	35,4	16,4	21,1	84,99				
14	DMU_13	35,7	16,6	21	83,57				
15	DMU_14	35	16,5	20,1	80,47				
16	DMU_15	38,7	14	20	94,37				
17									
18									

Εικόνα 4.17: Αρχείο excel με αποτελέσματα

# 5.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

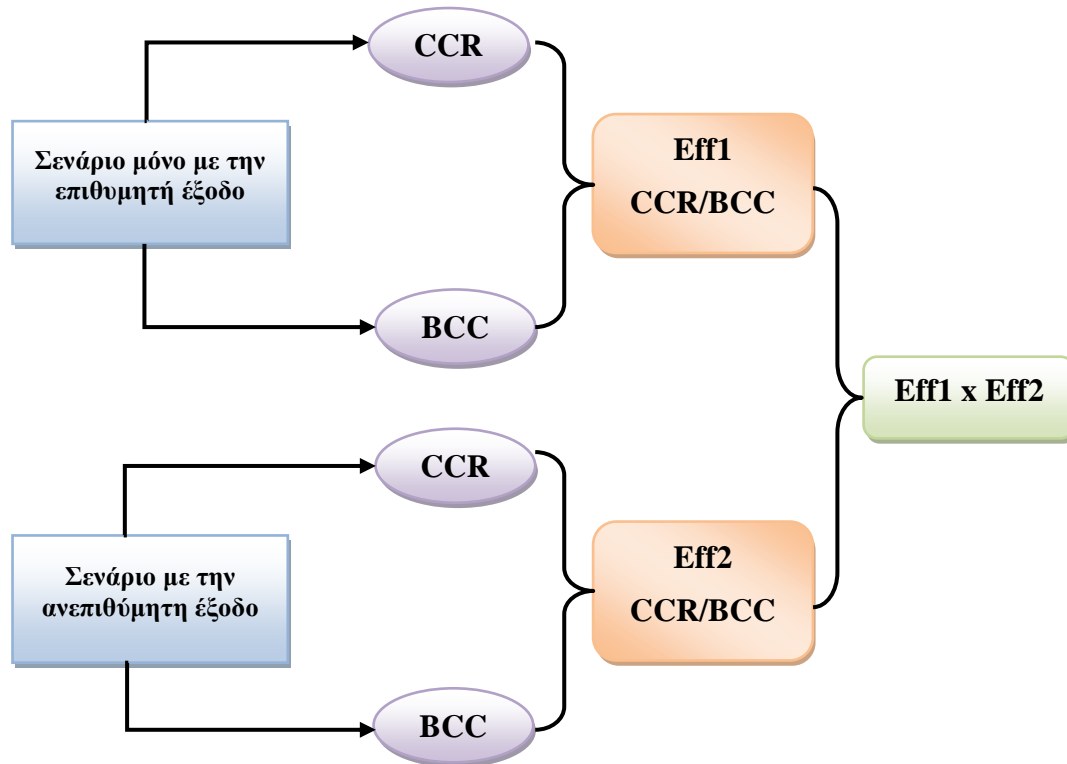
---

### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο υπολογίζεται η αποδοτικότητα των πέντε μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Χρησιμοποιούνται τα δύο βασικά μοντέλα της μεθόδου DEA, το μοντέλο CCR και το μοντέλο BCC. Ο προσανατολισμός είναι με βάση τη μείωση των εισροών καθώς στόχος δεν είναι η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά η μείωση των πόρων που καταναλώνει η μονάδα. Έγινε μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων ως προς την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται ωστόσο έγινε μέτρηση της αποδοτικότητας ως προς την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα των μονάδων. Πρέπει να αναφερθεί ότι πολλές φορές οι μεγάλοι έξοδοι που πετυχαίνουν οι μονάδες δεν σημαίνει ότι είναι και αποδοτικές. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν οι ανεπιθύμητες έξοδοι όπως είναι η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα.

Ως προς την εκπομπή ρύπων έγινε μία μέτρηση της αποδοτικότητας βάση του σχήματος 5.1. Υπολογίστηκαν οι αποδοτικότητες η αποδοτικότητα των μονάδων μόνο με την επιθυμητή έξοδο και με την ανεπιθύμητη έξοδο χρησιμοποιώντας τα βασικά μοντέλα της DEA. Ο λόγος των δύο

μοντέλων έδωσε το δείκτη αποδοτικότητα του κάθε σεναρίου. Για να υπολογιστεί όμως ο δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας (Environmental Productivity Index, EPI) χρειάστηκε να πολλαπλασιαστούν οι δύο δείκτες των σεναρίων.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα υπολογισμού EPI

Σε κάποιες έρευνες η ανεπιθύμητη έξοδος χρησιμοποιείται ως είσοδος στο σύστημα γιατί στόχος είναι η μείωση των τιμών των ανεπιθύμητων μεταβλητών. Αν και αυτή η μέθοδος δεν είναι η πιο σωστή ωστόσο χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία ώστε γίνει μια σύγκριση με τα σεναρία τα οποία η ανεπιθύμητη μεταβλητή χρησιμοποιείται ως έξοδος.

## 5.2 Δεδομένα

### 5.2.1 Μονάδες απόφασης

Στη παρούσα εφαρμογή του συστήματος οι μονάδες απόφασης είναι οι πέντε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημήτριου. Θεωρήθηκε σαν ξεχωριστή μονάδα η κάθε μονάδα που εξετάζεται ανά το χρόνο. Δηλαδή η δεύτερη μονάδα την μία χρονιά



αξιολογήθηκε σαν διαφορετική μονάδα από την επόμενη χρονιά. Η αξιολόγηση των μονάδων έγινε για τη περίοδο 2005-2011 που είναι ένα διάστημα 7 χρόνων. Επομένως οι μονάδες απόφασης (DMUs) που αξιολογήθηκαν είναι σύνολο 35. Άρα για αυτήν την εφαρμογή ο αριθμός των μονάδων απόφασης ήταν 35.

### 5.2.2 Είσοδοι συστήματος

Όπως έχει αναφερθεί η επιλογή των εισόδων του συστήματος θα πρέπει να γίνεται με προσοχή. Στη παρούσα διπλωματική οι εισοδοί που χρησιμοποιήθηκαν για τα διάφορα σενάρια που υπολογίστηκε η αποδοτικότητα των μονάδων είναι οι εξής:

- **Κατανάλωση λιγνίτη** : είναι η σημαντικότερη παράμετρος για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων καθώς είναι ο πόρος που καταναλώνει και μετασχηματίζει η μονάδα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της αποδοτικότητας των μονάδων.
- **Κατανάλωση πετρελαίου** : είναι πόρος που καταναλώνει η μονάδα ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει. Όσο μικρότερη κατανάλωση πετρελαίου επιτευχθεί τόσο πιο αποδοτική είναι η μονάδα.
- **Εγκαταστημένη ισχύς** : είναι η ονομαστική ισχύς που έχει μία μονάδα. Παίζει σημαντικό ρόλο καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της μονάδας τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράγει.
- **Εσωτερική κατανάλωση (%)** : είναι η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την λειτουργία των μονάδων και του εργοστασίου. Στόχος είναι να είναι όσο μικρότερη σε σχέση με τη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.
- **Θερμογόνος δύναμη λιγνίτη (KΘΙ)** : είναι η ποσότητα ενέργειας που έχει ένας τόνος λιγνίτη. Δείχνει τη ποιότητα του λιγνίτη ενώ δεν επηρεάζει μόνο τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τις εκπομπές ρύπων.

Αυτές οι πέντε μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν ως εισοδοί στο σύστημα για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Ωστόσο σε ένα σενάριο χρησιμοποιήθηκε ως είσοδος και η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Η πηγή των δεδομένων είναι από τον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζονται τα δεδομένα με τις τιμές τους για κάθε μονάδα για τις χρονιές 2005-2011.

### 5.2.3 Έξοδοι συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου οι έξοδοι του συστήματος είναι δύο. Αυτές οι δύο έξοδοι είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργική αποδοτικότητα αλλά και την περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Οι δύο έξοδοι είναι οι εξής:

- **Παραγόμενη ενέργεια** : είναι το αποτέλεσμα της λειτουργίας των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αποδοτικότητα των μονάδων χωρίς ωστόσο εξαρτάται μόνο από αυτή. Όσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη ενέργεια τόσο πιο αποτελεσματική είναι η μονάδα όχι όμως κατά ανάγκη και πιο αποδοτική.
- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)** : είναι η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που αποβάλλεται κατά τη διεργασία της καύσης του λιγνίτη. Είναι σημαντικός παράγοντας για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας καθώς είναι ο παράγοντας που την καθορίζει. Είναι η κύρια αιτία του προβλήματος του φαινομένου του θερμοκηπίου που συντελεί στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης. Ακόμα είναι σημαντικός παράγοντας για τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της Ελλάδας καθώς η ΔΕΗ πληρώνει αρκετά πρόστιμα μιας και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί της Ελλάδας είναι από τους πιο ρυπογόνους σταθμούς στην Ευρώπη.

Οι δύο αυτές έξοδοι χρησιμοποιήθηκαν σε σενάρια μαζί αλλά και ξεχωριστά ως έξοδοι του συστήματος για τη μέτρηση της αποδοτικότητας. Όπως αναφέρθηκε η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιήθηκε και ως είσοδο γιατί σκοπός είναι να μειωθεί. Στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζονται τα δεδομένα με τις τιμές τους για κάθε μονάδα για τις χρονιές 2005-2011.

## 5.3 Σενάρια

Στη παρούσα διπλωματική δημιουργήθηκαν 3 σενάρια για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο σενάριο επικεντρώθηκε στη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ενώ τα άλλα δύο επικεντρώθηκαν στην εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα. Ωστόσο και στα 3 σενάρια στόχος είναι η παραγόμενη ενέργεια να παραμείνει στα ίδια επίπεδα και να μειωθούν οι πόροι που καταναλώνονται από τις μονάδες. Στο πρώτο σενάριο η ανεπιθύμητη μεταβλητή δεν χρησιμοποιείται στο δεύτερο χρησιμοποιείται ως ανεπιθύμητη έξοδο στο σύστημα ενώ στο τρίτο χρησιμοποιείται ως είσοδο στο σύστημα μιας και ο στόχος

είναι η μείωση της. Παρακάτω παρουσιάζονται τα 3 σενάρια σε πίνακα και σε σχήμα ως μονάδα απόφασης που δέχεται εισροές και παράγει εκροές.

**Σενάριο 1ο :**

No DMUs	Κριτήρια Εισόδου	Κριτήρια Εξόδου
35	Κατανάλωση Λιγνίτη	Παραγόμενη Ενέργεια
	Κατανάλωση Πετρελαίου	
	Εσωτερική κατανάλωση	
	Εγκατεστημένη ισχύ	
	Θερμογόνος δύναμη (ΚΘΙ)	

Πίνακας 5.1: Σενάριο 1ο

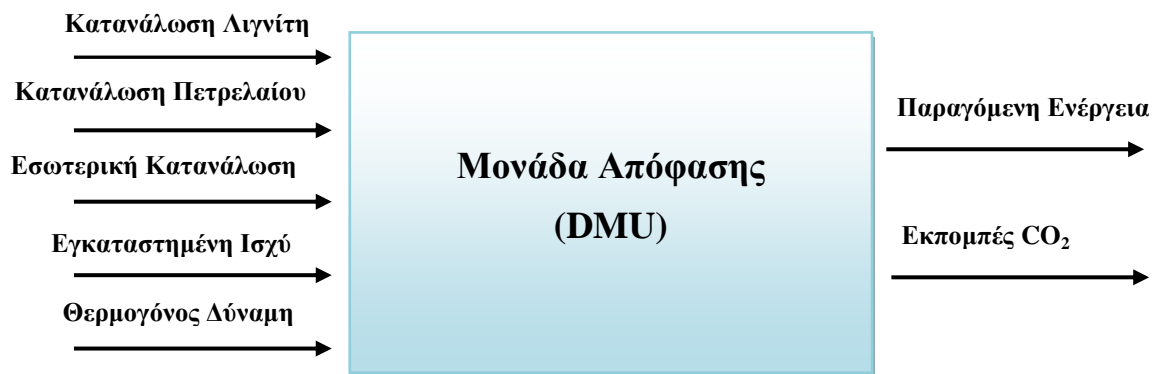


Σχήμα 5.2: Μονάδα απόφασης 1ου Σεναρίου

**Σενάριο 2ο :**

No DMUs	Κριτήρια Εισόδου	Κριτήρια Εξόδου
35	Κατανάλωση Λιγνίτη	Παραγόμενη Ενέργεια
	Κατανάλωση Πετρελαίου	Εκπομπές CO2
	Εσωτερική κατανάλωση	
	Εγκατεστημένη ισχύ	
	Θερμογόνος δύναμη (ΚΘΙ)	

Πίνακας 5.2: Σενάριο 2ο

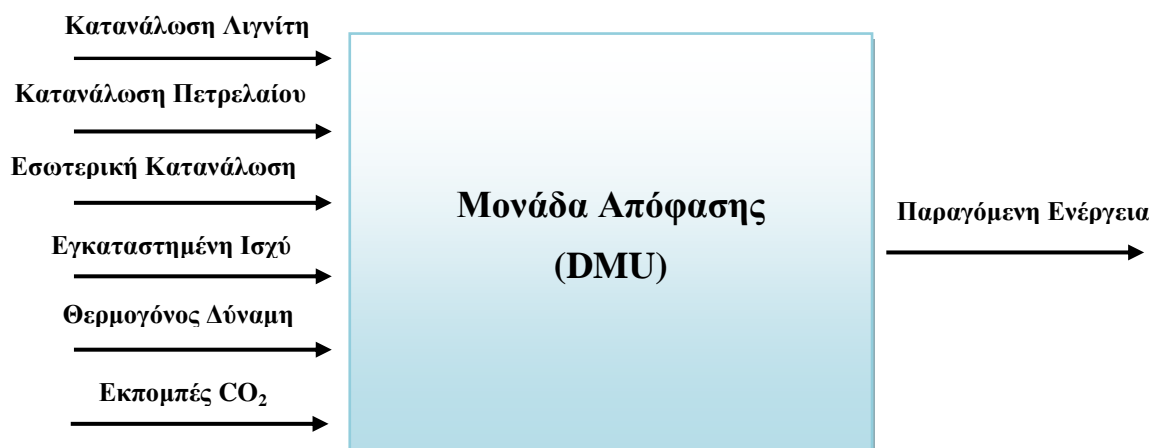


Σχήμα 5.3: Μονάδα απόφασης 2ου Σεναρίου

**Σενάριο 3ο :**

No DMUs	Κριτήρια Εισόδου	Κριτήρια Εξόδου
35	Κατανάλωση Λιγνίτη	Παραγόμενη Ενέργεια
	Κατανάλωση Πετρελαίου	
	Εσωτερική κατανάλωση	
	Εγκατεστημένη ισχύ	
	Θερμογόνος δύναμη (ΚΘΙ)	
	Εκπομπές CO <sub>2</sub>	

Πίνακας 5.3: Σενάριο 3ο



Σχήμα 5.4: Μονάδα απόφασης 3ου Σεναρίου

## 5.4 Αποτελέσματα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η μέτρηση της αποδοτικότητας για κάθε σενάριο υπολογίστηκε με τα μοντέλα CCR και BCC και με προσανατολισμό με βάση την μείωση των εισροών για δεδομένες εκροές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων.

Ο πίνακας 5.4 παρουσιάζει την αποδοτικότητα των μονάδων για το 1ο σενάριο. Στη πρώτη στήλη είναι οι μονάδες απόφασης. Η κάθε μονάδα απόφασης αναγράφεται από τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από το έτος. Στη δεύτερη στήλη είναι η αποδοτικότητα των μονάδων με το μοντέλο CCR και η τρίτη στήλη είναι η αποδοτικότητα των μονάδων με το μοντέλο BCC.

Μονάδες Απόφασης	Μοντέλο	
	CCR	BCC
Μονάδα1_2005	91,2	100
Μονάδα1_2006	89,84	100
Μονάδα1_2007	99,77	100
Μονάδα1_2008	97,23	100
Μονάδα1_2009	99,08	100
Μονάδα1_2010	90,17	100
Μονάδα1_2011	87,82	100
Μονάδα2_2005	88,65	100
Μονάδα2_2006	91,64	100
Μονάδα2_2007	100	100
Μονάδα2_2008	96,53	100
Μονάδα2_2009	97,94	100
Μονάδα2_2010	92,04	100
Μονάδα2_2011	89,07	100
Μονάδα3_2005	90,09	100
Μονάδα3_2006	93,59	99,71
Μονάδα3_2007	100	100
Μονάδα3_2008	100	100
Μονάδα3_2009	100	100
Μονάδα3_2010	96,66	98,59
Μονάδα3_2011	93,59	99,26
Μονάδα4_2005	94	100
Μονάδα4_2006	93,5	99,81
Μονάδα4_2007	96,04	100
Μονάδα4_2008	98,6	99,92
Μονάδα4_2009	97,86	98,98

Μονάδες Απόφασης	Μοντέλο	
	CCR	BCC
Μονάδα4_2010	94,82	98,38
Μονάδα4_2011	94,51	100
Μονάδα5_2005	96,78	100
Μονάδα5_2006	100	100
Μονάδα5_2007	100	100
Μονάδα5_2008	99,9	99,97
Μονάδα5_2009	99,37	99,55
Μονάδα5_2010	97,19	98,45
Μονάδα5_2011	94,33	96,75

Πίνακας 5.4: Αποδοτικότητα 1ου σεναρίου

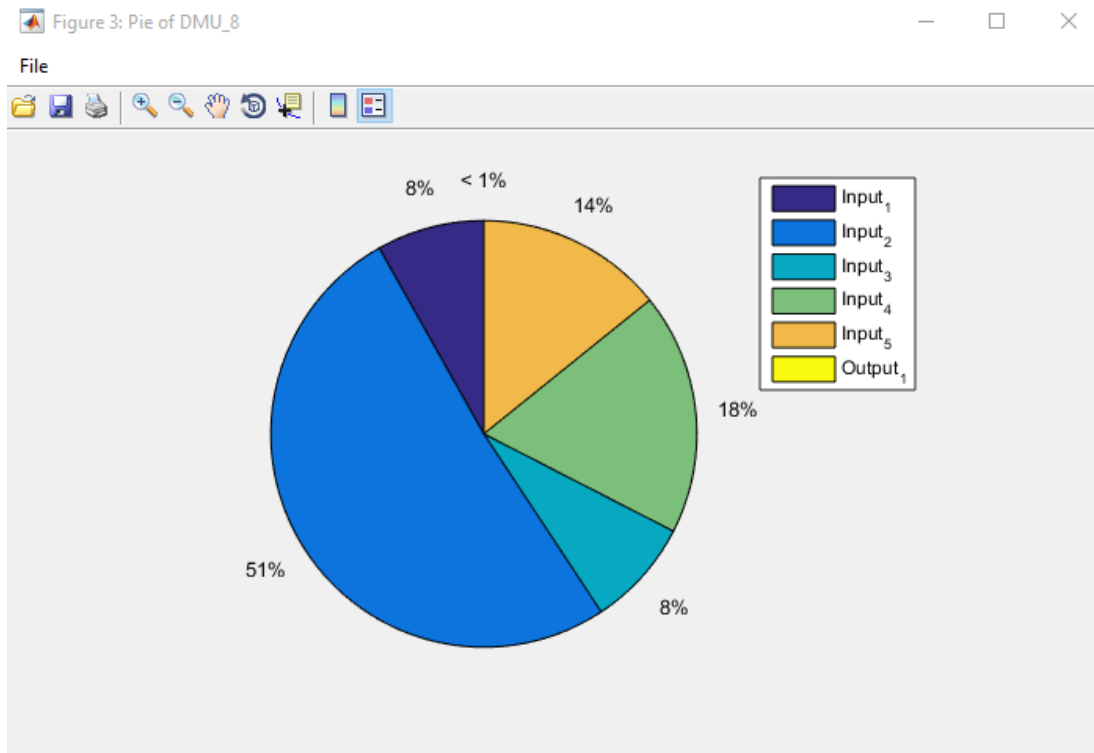
Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ του μοντέλου CCR και του μοντέλου BCC. Το μοντέλο BCC παρουσιάζει τις περισσότερες μονάδες αποδοτικές. Όπως εξηγήθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο αυτό συμβαίνει γιατί το μοντέλο BCC χρησιμοποιεί περισσότερους περιορισμούς. Μόλις 6 μονάδες από τις 35 που δημιουργούνται φαίνονται αποδοτικές με το μοντέλο CCR.

Μονάδα παραγωγής	Μέσος όρος αποδοτικότητας
Μονάδα1	93,59
Μονάδα2	93,70
Μονάδα3	96,28
Μονάδα4	95,62
Μονάδα5	98,22

Πίνακας 5.5: Μέσος όρος αποδοτικότητας των μονάδων

Στο πίνακα 5.5 παρουσιάζεται ο μέσος όρος τη αποδοτικότητας των πέντε μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο χρονικό διάστημα 2005-2011. Όπως ήταν αναμενόμενο η αποδοτικότητα των μονάδων 1 και 2 είναι οι πιο χαμηλή. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτές οι μονάδες είναι οι πιο παλιές και έχουν τη μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ. Ο μέσος όρος της πέμπτης μονάδας πλησιάζει σχεδόν στο 100%. Αυτό συμβαίνει γιατί η πέμπτη μονάδα είναι η πιο καινούρια, η πιο εκσυγχρονισμένη και αυτή που έχει τη μεγαλύτερη ισχύ. Η αποδοτικότητα της

τρίτης και της τέταρτης μονάδας είναι περίπου ίδια γιατί αυτές οι δυο μονάδες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά.



Εικόνα 5.1: Πίτα βελτίωσης μονάδα απόφασης 8

Στην εικόνα 5.1 φαίνεται η πίτα βελτίωσης της μονάδα2\_2005. Η αποδοτικότητα της μονάδας είναι 88,65%. Το μεγαλύτερο κομμάτι της πίτας δείχνει ποιο από τα κριτήρια μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο. Στην περίπτωση της μονάδας 2 για το 2005 η είσοδος 2 που είναι η κατανάλωση πετρελαίου χρειάζεται μεγαλύτερη βελτίωση σε σχέση με τα άλλα κριτήρια. Αυτό δείχνει ότι για τη βελτίωση της αποδοτικότητας της μονάδας είναι καλό η στρατηγική που θα σχεδιαστεί από την επιχείρηση να επικεντρωθεί στη μείωση της κατανάλωσης του πετρελαίου. Το δεύτερο κριτήριο που χρειάζεται να βελτιωθεί περισσότερο είναι το κριτήριο της εγκατεστημένης ισχύς. Κάτι τέτοιο βεβαίως δεν μπορεί να γίνει. Το τρίτο κριτήριο που χρειάζεται μεγαλύτερη βελτίωση είναι η θερμογόνοος δύναμη του λιγνίτη. Όπως αναφέρθηκε η ποιότητα του λιγνίτη στην Ελλάδα δεν είναι τόσο καλή. Είναι δύσκολο να βελτιωθεί κάτι τέτοιο. Η μονάδα 2 για το 2005 είναι μια αντιπροσωπευτική μονάδα καθώς όπως φαίνεται και στο πίνακα 5.6 η κατανάλωση πετρελαίου είναι το κριτήριο που χρειάζεται μια μείωση περίπου στο 28% κατά μέσο όρο στις μη αποδοτικές μονάδες.

Κριτήρια	Ποσοστό Βελτίωσης
Κατανάλωση Λιγνίτη	-4,53%
Κατανάλωση Πετρελαίου	-27,74%
Εσωτερική κατανάλωση	-5,79%
Εγκατεστημένη ισχύ	-10,28%
Θερμογόνος δύναμη (ΚΘΙ)	-7,19%
Παραγόμενη ενέργεια	0%

Πινάκας 5.6: Ποσοστό βελτίωσης των κριτηρίων

Παρατηρώντας την αποδοτικότητα των μονάδων δεν υπάρχει κάποια μείωση ή αύξηση της αποδοτικότητας των μονάδων με το πέρασμα των χρόνων. Κάποιες αυξομειώσεις της αποδοτικότητας για την ίδια μονάδα κατά την διάρκεια των 7 χρόνων ίσως να οφείλεται ότι κάποιες χρονιές η μονάδα αντιμετώπισε κάποιες βλάβες και σταμάτησε η λειτουργία της ή υπήρχε προγραμματισμένη διακοπή λόγω συντήρησης της μονάδας.

Σε σχέση με τη παραγωγικότητα η αποδοτικότητα των μονάδων κυμάνθηκε σε αναμενόμενα πλαίσια. Στο δεύτερο σενάριο και στο τρίτο σενάριο εισάγεται και το κριτήριο της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Στον πίνακα 5.7 παρουσιάζεται ο η αποδοτικότητα των μονάδων του δεύτερου σεναρίου για τα μοντέλα CCR και BCC. Όπως φαίνεται δεν υπάρχει μεγάλες αλλαγές στην αποδοτικότητα των μονάδων στο σενάριο 2 σε σχέση με το σενάριο 1. Οι μονάδες 1 και 2 παραμένουν οι μονάδες που δεν είναι τόσο αποδοτικές ενώ η μονάδα 5 είναι εμφανίζεται να είναι πιο αποδοτική από τις υπόλοιπες και αυτό μάλλον οφείλεται στους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο μοντέλα εμφανίζεται και σε αυτό το σενάριο με το μοντέλο BCC να εμφανίζει πάρα πολλές μονάδες ως αποδοτικές. Η διαφορά του δεύτερου σεναρίου από του πρώτου είναι ότι στο πρώτο σενάριο υπήρχαν 6 μονάδες αποδοτικές ενώ στο δεύτερο εμφανίζονται 9 μονάδες αποδοτικές. Αυτό η μικρή αλλαγή ίσως να οφείλεται στο ότι προστέθηκε ακόμα ένα κριτήριο σε αυτό το σενάριο.



Μονάδες Απόφασης	Μοντέλο	
	CCR	BCC
Μονάδα1_2005	91,22	100
Μονάδα1_2006	89,84	100
Μονάδα1_2007	100	100
Μονάδα1_2008	98,18	100
Μονάδα1_2009	99,08	100
Μονάδα1_2010	91	100
Μονάδα1_2011	89,46	100
Μονάδα2_2005	88,65	100
Μονάδα2_2006	91,64	100
Μονάδα2_2007	100	100
Μονάδα2_2008	97,42	100
Μονάδα2_2009	97,94	100
Μονάδα2_2010	92,71	100
Μονάδα2_2011	90,6	100
Μονάδα3_2005	90,22	100
Μονάδα3_2006	93,57	99,73
Μονάδα3_2007	100	100
Μονάδα3_2008	100	100
Μονάδα3_2009	100	100
Μονάδα3_2010	96,77	98,59
Μονάδα3_2011	94,26	99,43
Μονάδα4_2005	94,26	100
Μονάδα4_2006	93,51	99,81
Μονάδα4_2007	96,04	100
Μονάδα4_2008	100	100
Μονάδα4_2009	97,86	98,98
Μονάδα4_2010	97,07	99
Μονάδα4_2011	95,85	100
Μονάδα5_2005	96,77	100
Μονάδα5_2006	100	100
Μονάδα5_2007	100	100
Μονάδα5_2008	100	100
Μονάδα5_2009	99,36	99,59
Μονάδα5_2010	98,33	98,46
Μονάδα5_2011	96,29	98,43

Πίνακας 5.7: Αποδοτικότητα 2ου σεναρίου

Για τον υπολογισμό του δείκτη της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας ακολουθήθηκαν τα βήματα που παρουσιάστηκαν στη σχέση 5.1. Το σενάριο χωρίς ανεπιθύμητες εξόδους αντιστοιχεί στο σενάριο 1 και το σενάριο με την ανεπιθύμητη έξοδο αντιστοιχεί στο σενάριο 2. Ο δείκτης της

περιβαλλοντικής αποδοτικότητας παρουσιάζεται στο παρακάτω πίνακα καθώς και ο δείκτης της αποδοτικότητας του πρώτου σεναρίου και δεύτερου σεναρίου.

Μονάδες Απόφασης	Δείκτες		
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Περιβαλλοντική
Μονάδα1_2005	0,9120	0,9122	0,8319
Μονάδα1_2006	0,8984	0,8984	0,8071
Μονάδα1_2007	0,9977	1,0000	0,9977
Μονάδα1_2008	0,9723	0,9818	0,9546
Μονάδα1_2009	0,9908	0,9908	0,9817
Μονάδα1_2010	0,9017	0,9100	0,8205
Μονάδα1_2011	0,8782	0,8946	0,7856
Μονάδα2_2005	0,8865	0,8865	0,7859
Μονάδα2_2006	0,9164	0,9164	0,8398
Μονάδα2_2007	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα2_2008	0,9653	0,9742	0,9404
Μονάδα2_2009	0,9794	0,9794	0,9592
Μονάδα2_2010	0,9204	0,9271	0,8533
Μονάδα2_2011	0,8907	0,9060	0,8070
Μονάδα3_2005	0,9009	0,9022	0,8128
Μονάδα3_2006	0,9386	0,9382	0,8806
Μονάδα3_2007	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα3_2008	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα3_2009	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα3_2010	0,9804	0,9815	0,9623
Μονάδα3_2011	0,9429	0,9480	0,8939
Μονάδα4_2005	0,9400	0,9426	0,8860
Μονάδα4_2006	0,9368	0,9369	0,8777
Μονάδα4_2007	0,9604	0,9604	0,9224
Μονάδα4_2008	0,9868	1,0000	0,9868
Μονάδα4_2009	0,9887	0,9887	0,9775
Μονάδα4_2010	0,9638	0,9805	0,9450
Μονάδα4_2011	0,9451	0,9585	0,9059
Μονάδα5_2005	0,9678	0,9677	0,9365
Μονάδα5_2006	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα5_2007	1,0000	1,0000	1,0000
Μονάδα5_2008	0,9993	1,0000	0,9993
Μονάδα5_2009	0,9982	0,9977	0,9959
Μονάδα5_2010	0,9872	0,9987	0,9859
Μονάδα5_2011	0,9750	0,9783	0,9538

Πίνακας 5.8: Δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας

Όπως φαίνεται στο πίνακα 5.8 η επίπτωση της ανεπιθύμητης εξόδου στην αποδοτικότητα των μονάδων είναι μεγάλη όταν στόχος είναι να μετρηθεί η περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Η επίπτωση είναι μεγαλύτερη στις μονάδες που έχουν μικρότερη αποδοτικότητα και μικρότερη στις μονάδες που είναι η αποδοτικότητα τους είναι μεγαλύτερη. Αυτό φαίνεται και από το πίνακα 5.9 όπου φαίνεται ότι οι μονάδες 1 και 2 επηρεάζονται περισσότερο από ότι η μονάδα 5. Και αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο καθώς οι μονάδες 1 και 2 είναι πιο παλιές και είναι λογικό να μην έχουν τόσο καλή τεχνολογία όσο η πέμπτη μονάδα για την αντιμετώπιση των ανεπιθύμητων εξόδων όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα.

Μονάδα παραγωγής	Μέσος όρος δείκτη αποδοτικότητας
Μονάδα1	0,8827
Μονάδα2	0,8837
Μονάδα3	0,9357
Μονάδα4	0,9288
Μονάδα5	0,9816

Πίνακας 5.9: Μέσος όρος περιβαλλοντικής αποδοτικότητας

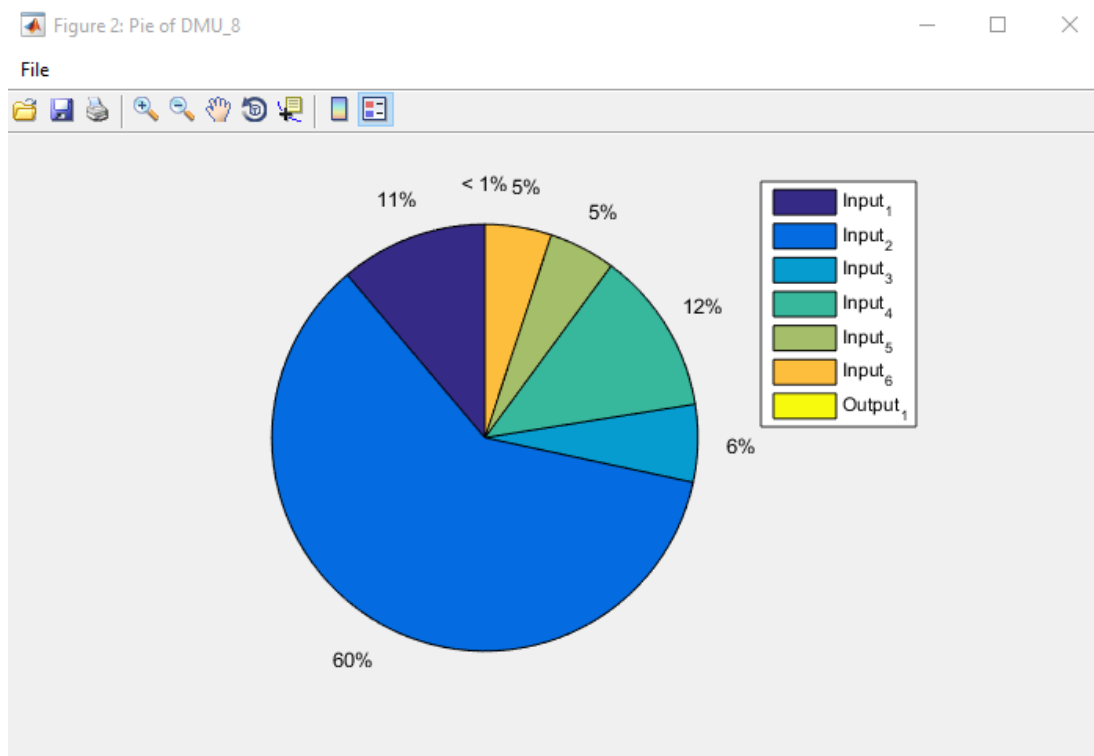
Στο 3ο σενάριο η ανεπιθύμητη έξοδος του χρησιμοποιείται ως είσοδος στο σύστημα αυτό συμβαίνει γιατί οι ανεπιθύμητες έξοδοι τις περισσότερες φορές η βελτίωση τους γίνεται με τη μείωση τους. Αν και στη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το διοξείδιο του άνθρακα είναι έξοδος κατά τη καύση του λιγνίτη και θεωρείται ως ρύποι που παράγονται εντούτοις σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιείται ως είσοδος για να μελετηθεί κατά πόσο μπορεί να μειωθεί ώστε οι μη αποδοτικές μονάδες να γίνουν αποδοτικές. Στον πίνακα 5.10 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα των δύο βασικών μοντέλων της DEA. Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα σενάρια τα αποτελέσματα του μοντέλου BCC εμφανίζουν τις περισσότερες μονάδες αποδοτικές κάτι που δεν δίνει πολλά περιθώρια στο να προκύψουν αξιόπιστα συμπεράσματα. Ενώ οι περισσότερες μονάδες κατά τον υπολογισμό με το μοντέλο BCC εμφανίζονται αποδοτικές η μονάδα 5 κάποιες χρονιές δεν εμφανίζεται αποδοτική. Όσον αφορά το CCR μοντέλο εμφανίζει έξι μονάδες αποδοτικές όσες δηλαδή και στο πρώτο σενάριο, οι οποίες είναι οι ίδιες έξι μονάδες. Όπως αναμενόταν και εδώ οι χειρότερες μονάδες είναι η 1 και 2 η μονάδα με τη καλύτερη απόδοση είναι η 5.

Μονάδες Απόφασης	Μοντέλο	
	CCR	BCC
Μονάδα1_2005	94,66	100
Μονάδα1_2006	94,36	100
Μονάδα1_2007	99,8	100
Μονάδα1_2008	97,76	100
Μονάδα1_2009	99,27	100
Μονάδα1_2010	89,97	100
Μονάδα1_2011	87,82	100
Μονάδα2_2005	93,6	100
Μονάδα2_2006	94,43	100
Μονάδα2_2007	100	100
Μονάδα2_2008	96,57	100
Μονάδα2_2009	98,01	100
Μονάδα2_2010	91,88	100
Μονάδα2_2011	89,07	100
Μονάδα3_2005	93,08	100
Μονάδα3_2006	97,96	100
Μονάδα3_2007	100	100
Μονάδα3_2008	100	100
Μονάδα3_2009	100	100
Μονάδα3_2010	96,66	98,64
Μονάδα3_2011	93,63	99,27
Μονάδα4_2005	96,29	100
Μονάδα4_2006	94,34	99,96
Μονάδα4_2007	96,2	100
Μονάδα4_2008	99,49	99,6
Μονάδα4_2009	97,84	100
Μονάδα4_2010	94,76	98,39
Μονάδα4_2011	94,51	100
Μονάδα5_2005	96,99	100
Μονάδα5_2006	100	100
Μονάδα5_2007	100	100
Μονάδα5_2008	99,9	99,97
Μονάδα5_2009	99,36	100
Μονάδα5_2010	97,26	98,59
Μονάδα5_2011	94,34	96,76

Πίνακας 5.10: Αποδοτικότητα 3ου σεναρίου

Η εικόνα 5.2 παρουσιάζει τη πίτα βελτίωσης της μονάδας2\_2005. Όπως φαίνεται και σε αυτό το σενάριο η κατανάλωση πετρελαίου είναι αυτή που επιδέχεται τη μεγαλύτερη βελτίωση δηλαδή τη μεγαλύτερη μείωση. Η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα δεν επιδέχεται τόσο μεγάλη βελτίωση. Η θερμογόνος

δύναμη του λιγνίτη είναι το δεύτερο κριτήριο που χρειάζεται να βελτιωθεί ώστε να γίνει η μονάδα αποδοτική.



Εικόνα 5.2: Πίτα βελτίωσης μονάδα απόφασης 8

Κριτήρια	Ποσοστό Βελτίωσης
Κατανάλωση Λιγνίτη	-4,63%
Κατανάλωση Πετρελαίου	-34,21%
Εσωτερική κατανάλωση	-7,05%
Εγκατεστημένη ισχύ	-10,59%
Θερμογόνος δύναμη (ΚΘΙ)	-7,57%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	-5,02%
Παραγόμενη ενέργεια	0%

Πινάκας 5.11: Ποσοστό βελτίωσης των κριτηρίων

Μεγαλύτερη βελτίωση όπως φαίνεται και στο πίνακα 5.11 χρειάζεται η κατανάλωση πετρελαίου για να χαρακτηριστεί μια μονάδα αποδοτική. Ο μέσος όρος βελτίωσης των κριτηρίων είναι περίπου ίδιος με του πρώτου σεναρίου. Η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα δεν επιδέχεται μεγάλη μείωση. Το 5% μείωση δείχνει ότι ως είσοδο η ανεπιθύμητη έξοδος δεν επηρεάζει την αποδοτικότητα των μονάδων. Σε αντίθεση με το δείκτη περιβαλλοντικής απόδοσης που δείχνει ότι η ανεπιθύμητη έξοδος επηρεάζει την αποδοτικότητα των μονάδων και τη χειροτερεύει περισσότερο σε μονάδες που είναι ήδη περισσότερο μη αποδοτικές.

Όπως φάνηκε στα σενάρια 1, 2 και 3 η αποδοτικότητα των μονάδων εμφανίστηκε περίπου όπως αναμενόταν. Οι μονάδες 1 και 2 να είναι οι περισσότερο μη αποδοτικές και οι μονάδα 5 να είναι η πιο αποδοτική. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι ότι από θέμα λειτουργίας οι μονάδες παρουσιάζουν καλή απόδοση όπως φαίνεται και στο πίνακα 5.12. Μεταξύ των σεναρίων οι μονάδες δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην αποδοτικότητά τους. Η μικρή αύξηση στα σενάρια 2 και 3 οφείλεται στο ότι στο σύστημα εισήχθη ακόμα ένα κριτήριο. Όπως αναφέρθηκε για την βελτίωση της αποδοτικότητας των μη αποδοτικών μονάδων προσοχή πρέπει να δοθεί στη κατανάλωση πετρελαίου. Ο εκσυγχρονισμός των μονάδων μπορεί να βοηθήσει σε αυτό καθώς η μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου γίνεται κατά την εκκίνηση των μονάδων.

	Μέσος όρος αποδοτικότητας		
Μονάδα παραγωγής	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Μονάδα1	93,59	94,11	94,81
Μονάδα2	93,70	94,14	94,79
Μονάδα3	96,28	96,4	97,33
Μονάδα4	95,62	96,37	96,2
Μονάδα5	98,22	98,68	98,92

Πίνακας 5.12: Μέσος όρος αποδοτικότητας των μονάδων

Αν και στη λειτουργική απόδοση η αποδοτικότητα των μονάδων κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα εντούτοις η περιβαλλοντική αποδοτικότητα εμφανίζει μονάδες με χαμηλή αποδοτικότητα. Χρειάζεται να δοθεί προσοχή στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα καθώς επηρεάζει την αποδοτικότητα των μονάδων. Ο εκσυγχρονισμός των μονάδων, η αλλαγή φίλτρων για τους ρύπους που αποβάλλουν οι μονάδες είναι κάποια από τα πράγματα που πρέπει να

ακολουθηθούν ώστε η μονάδες να βελτιώσουν τη περιβαλλοντική τους απόδοση. Η ΔΕΗ θα πρέπει να αναπτύξει την στρατηγική τουλάχιστον για το ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου πάνω στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης της μονάδας και ύστερα στη λειτουργική απόδοση. Μια στρατηγική κίνηση θα μπορούσε να είναι η μείωση της παραγωγής των μονάδων 1 και 2 και η αύξηση της παραγωγή στη μονάδα 5. Με τη κατασκευή της πέμπτης μονάδας του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας θα μπορούσε να αποδεσμευτούν οι μονάδες 1 και 2. Αυτό θα βοηθούσε στη μείωση των εκπομπών ρύπων του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου αλλά θα είχε και οικονομική επίπτωση καθώς θα μπορούσαν μειωθούν τα χρήματα που δίνει η ΔΕΗ ως πρόστιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την εκπομπή ρύπων.

Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του συστήματος στις μονάδες παραγωγής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου δεν είναι επίσημα αποτελέσματα και συμπεράσματα της ΔΕΗ. Αυτό δεν τα κάνει κατά ανάγκη αποδεκτά από τη ΔΕΗ.

Τα αποτελέσματα του συστήματος και η βελτίωση των εισροών και εκροών και για τα τρία σενάρια παρατίθενται στα παραρτήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

# 6.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

---

### 6.1 Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση των επιχειρήσεων - οργανισμών στη σημερινή εποχή είναι αναγκαία για να μπορούν να ανταπεξέρχονται στο μεγάλο ανταγωνισμό που έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια. Η μέτρηση της αποδοτικότητας των επιχειρήσεων - οργανισμών ή των μονάδων από τις οποίες αποτελούνται αυτές είναι βασικός παράγοντας της αξιολόγησης. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς είναι ο τομέας της ενέργειας. Η αξιολόγηση στο τομέα ενέργειας μπορεί να γίνει στη παραγωγή της ενέργειας στη διανομή και στη κατανάλωση. Υπάρχουν πλήθος ερευνών που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Η αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας γίνεται μέσα από τη μέτρηση της αποδοτικότητας των μονάδων. Σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση της μονάδας παραγωγής ενέργειας δεν είναι μόνο η αποτελεσματική λειτουργία της αλλά είναι και το κατά πόσο μολύνει το περιβάλλον με τους ρύπους που αποβάλλει μιας και αυτές οι μονάδες είναι από τις πιο ρυπογόνες.

Στη παρούσα διπλωματική δημιουργήθηκε ένα σύστημα βασισμένο στη μέθοδο DEA για την αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Η μέθοδος DEA επιλέχτηκε καθώς είναι μια μέθοδος η οποία μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για μονάδες που επηρεάζονται από πολλαπλούς παράγοντες. Υπάρχουν πλήθος ερευνών με τη μέθοδο DEA σε μονάδες παραγωγής ενέργειας ωστόσο στην Ελλάδα έρευνα έχει γίνει μόνο σε υδροηλεκτρικές μονάδες παραγωγής. Ένας λόγος ήταν αυτός για την επιλογή η αξιολόγηση να



γίνει σε μονάδες παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη. Άλλος ένας λόγος ήταν ότι οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση λιγνίτη αποτελούν τη κύρια ενεργειακή πηγή στην Ελλάδα κάτι που φαίνεται ότι θα συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια.

Αν και οι μονάδες παραγωγής με καύση λιγνίτη είναι ιδιαίτερα αποδοτικές εντούτοις έχουν ένα μεγάλο μειονέκτημα το οποίο είναι ότι αποβάλλουν μεγάλη ποσότητα ρύπων και ιδιαίτερα διοξείδιο του άνθρακα που είναι η κύρια αιτία ύπαρξης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η παρούσα διπλωματική επικεντρώθηκε στο να αξιολογήσει τις μονάδες μέσω της μέτρησης της αποδοτικότητας των μονάδων ως προς την λειτουργία και ως προς την εκπομπή ρύπων.

Το σύστημα που δημιουργήθηκε κατάφερε να βγάλει αποτελέσματα που μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα μια και αυτά μπορούν να συγκριθούν με αποτελέσματα εμπορικών συστημάτων. Ωστόσο το σύστημα δεν δημιουργήθηκε αποκλειστικά για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μονάδων παραγωγής ενέργειας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς όπως φάνηκε και στο παράδειγμα στο κεφάλαιο 4. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από το σύστημα είναι αρκετές για να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των μονάδων.

Η επιλογή των κριτηρίων για την αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής έγινε με γνώμονα την επιρροή του στη μονάδα λειτουργίας. Οι πέντε μονάδες εξετάστηκαν σε ένα διάστημα 7 χρόνων προκύπτοντας χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για τη λειτουργική αποδοτικότητα των μονάδων όσο και για τη περιβαλλοντική. Τα τρία σενάρια που δημιουργήθηκαν ήταν βασισμένα στη παραγωγή ενέργειας και τα δύο τελευταία και στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι οι μονάδες 1 και 2 δεν είναι τόσο αποδοτικές ενώ η μονάδα 5 είναι σχεδόν αποδοτική. Πάντως όλες οι μονάδες σε θέμα παραγωγής ενέργειας θα μπορούσαν να εκτιμηθούν ως αποδοτικές καθώς καμιά μονάδα δεν παρουσίασε πολύ χαμηλή απόδοση. Αυτό που έχει μεγάλο ενδιαφέρον είναι ότι οι μονάδες ήταν λιγότερο αποδοτικές κατά τη μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Αυτό δείχνει ότι ίσως θα πρέπει ο σχεδιασμός για τη βελτίωση των μονάδων να επικεντρωθεί στη μείωση των ρύπων που αποβάλλουν οι μονάδες κατά τη λειτουργία τους.

Συμπερασματικά η παρούσα διπλωματική πέτυχε το στόχο της που ήταν η αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής ενέργειας καθώς προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την αποδοτικότητα των μονάδων. Ωστόσο δεν κατέστη δυνατή η αυτοαξιολόγηση των μονάδων από το προσωπικό τους ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου. Ο λόγος ήταν η αμυντική στάση που έχουν οι εργαζόμενοι της ΔΕΗ με τη καχυποψία που υπάρχει προς αυτούς από τον υπόλοιπο κόσμο. Έτσι

δεν υπήρχε συνεργασία ως προς την αυτοαξιολόγηση αλλά στο να δοθούν τα στοιχεία που χρειαζόταν για να διεξαχθεί η αξιολόγηση των μονάδων η συνεργασία ήταν άψογη.

## 6.2 Μελλοντικές έρευνες

Στη παρούσα διπλωματική ο αριθμός των μονάδων που αξιολογήθηκαν περιορίστηκαν στις πέντε μονάδες. Στο μέλλον θα μπορούσε να γίνει μια αξιολόγηση όλων των μονάδων παραγωγής ενέργειας με καύση λιγνίτη της Ελλάδας Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα και θα βοηθούσε στο σχεδιασμό πολιτικής στρατηγικής στο τομέα της ενέργειας. Ακόμα θα μπορούσε να γίνει μια σύγκριση μεταξύ των μονάδων παραγωγής ενέργειας. Δηλαδή μια σύγκριση μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών, των υδροηλεκτρικών μονάδων και των ατμοηλεκτρικών μονάδων. Αυτό θα βοηθούσε ειδικά αν χρησιμοποιούνταν οικονομικά κριτήρια στο να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για το κόστος παραγωγής της ενέργειας από όλο των ειδών μονάδων παραγωγής ενέργειας.

Το σύστημα που δημιουργήθηκε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές έρευνες που στηρίζονται στη μέθοδο DEA καθώς θα μπορούσε να γίνει και μια επέκταση του ώστε να μπορεί να χρησιμοποιήσει όλα τα μοντέλα της DEA και όχι μόνο τα βασικά αλλά και να παρουσιάσει ευρύτερα αποτελέσματα. Ακόμα αυτή η επέκταση του θα μπορούσε να χρησιμοποιείται αποκλειστικά από το πολυτεχνείο χωρίς να είναι αναγκασμένο το πολυτεχνείο να αγοράζει εμπορικά προγράμματα για τη μεθοδολογία DEA.

---

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- A. Charnes, W. C. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research* 2 , σσ. 429-444.
- Adnan S, I. A. (2010). Assessment of operational and environmental performance of the thermal power plants in Turkey by using data envelopment analysis. *Energy Policy* 38 , σσ. 6194–6203.
- Alireza Fallahi, R. E. (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: A case study. *Energy* 36 , σ. 6398e6405.
- Anil Pahwa, X. F. (2002). Performance Evaluation of Electric Distribution Utilities Based on Data Envelopment Analysis. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 17, NO. 3* .
- C.H. Liu, S. J. (2010). Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis. *Energy Policy* 38 , σσ. 1049–1058.
- Carlos Pestana Barros, N. P. (2008). Technical efficiency of thermoelectric power plants. *Energy Economics* 30 , σσ. 3118–3127.
- Deependra Kumar Jha, N. Y. (2007). A Modified DEA Model for Benchmarking of Hydropower Plants. *ResearchGate* .
- Deependra Kumar Jha, R. S. (2006). Measuring Efficiency of Hydropower Plants in Nepal Using Data Envelopment Analysis. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 21, NO. 4* , .
- Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of Royal Statistical Society A* 120 , σσ. 253-281.
- Golany B., R. Y. (1994). Measuring efficiency of power plants in Israel by data envelopment analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management* 41 , σσ. 291–301.
- H. Dyckhoff, K. A. (2001). Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). *European Journal of Operational Research Volume* 132, Issue 2 , σσ. 312–325.
- Hongliang Yang, M. P. (2009). Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: The performance of Chinese coal-fired power plants. *European Journal of Operational Research* 197 , σσ. 1095–1105.
- Kemal Sarica, I. O. (2007). Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy* 32 , σσ. 1484–1499.
- Mustafa Jahangoshai Rezaee, A. M. (2012). Operational and non-operational performance evaluation of thermal power plants in Iran: A game theory approach. *Energy* 38 , σσ. 96-103.

- P. Zhou, B. A. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research* 189 , σσ. 1–18.
- Pekka J. Korhonen, M. L. (2004). Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 154 , σσ. 437–446.
- Pun-Lee Lam, A. S. (2002). A data envelopment analysis of the efficiency of China's thermal power generation. *Utilities Policy* , σσ. 75–83.
- R.D. Banker, A. C. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 32 , σσ. 1078-1092.
- Reinhard Madlener, C. H. (2006). Multi-Criteria versus Data Envelopment Analysis for Assessing the Performance of Biogas Plants . *CEPE Working Paper No. 49* .
- Shafali Jain, T. T. (2010). Cost Benchmarking of Generation Utilities Using DEA: A Case Study of India . *Technology and Investment* , σσ. 229-234 .
- Soo-Uk Park, J.-B. L. (2000). The efficiency of conventional fuel power plants in South Korea: A comparison of parametric and non-parametric approaches. *Int. J. Production Economics* 63 , σσ. 59-67.
- Sudhir Kumar Singh, V. K. (2013). Estimation of operational efficiency and its determinants using DEA The case of Indian coal-fired power plants. *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 7 , σσ. 409 - 429.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis*. Springer.
- Tooraj Jamasb, M. P. (2003). International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities. *Energy policy* 31 , σσ. 1609-1622.
- Toshiyuki Sueyoshi, M. G. (2011). DEA approach for unified efficiency measurement: Assessment of Japanese fossil fuel power generation. *Energy Economics* 33 , σσ. 292–303.
- Toshiyuki Sueyoshi, M. G. (2010). Performance analysis of US coal-fired power plants by measuring three DEA efficiencies. *Energy Policy* 38 , σσ. 1675–1688.
- Tripta Thakur, S. D. (2006). Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India. *Energy Policy* 34 , σσ. 2788–2804.
- Vaninsky, A. (2006). Efficiency of electric power generation in the United States: Analysis and forecast based on data envelopment analysis. *Energy Economics* 28 , σσ. 326–338.
- Vaninsky, A. Y. (2008). Environmental Efficiency of Electric Power Industry of the United States: A Data Envelopment Analysis Approach . *World Academy of Science, Engineering and Technology* 16 .
- Vassilis Dedoussis, C. K. (2010). Efficiency evaluation of hydroelectric power plants using data envelopment analysis. *Journal of Applied Operational Research* , σσ. 94–99.
- WW Cooper, L. S. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Springer.
- ΑΝΑΓΝΩΣΤΑΚΗΣ, Θ. *ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ* .
- ΚΑΡΤΑΣ, Α. Ν. (2009). *Συγκριτική Αξιολόγηση Μονάδων Διανομής της ΔΕΗ με την Περιβάλλοντα Ανάλυση Δεδομένων* .

ΚΑΤΣΑΜΑΝΗΣ, Γ. (2009). *ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ DATA ENVELOPMENT ANALYSIS.*

Τσακαλάκης, Κ. *Παραγωγή ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα και από εναλλακτικές πηγές ενέργειας.*

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Δεδομένα

	Κατανάλωση Λιγνίτη (Tn)	Κατανάλωση Πετρελαίου (lt)	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Εσωτερική Κατανάλωση (%)	Θερμογόνος Δύναμη (KCAL/KG)	Διοξείδιο του Άνθρακα (ktn)	Παραγόμενη Ενέργεια (KWh)
Μονάδα1_2005	4.327.143	1.494.202	300	10,39	1.214	2.621,20	2.236.520
Μονάδα1_2006	3.064.850	1.565.541	300	9,94	1.260	1.891,38	1.646.475
Μονάδα1_2007	4.104.060	1.612.307	300	10,15	1.332	3.085,10	2.371.355
Μονάδα1_2008	3.576.400	2.127.349	300	10,29	1.327	2.715,09	2.069.220
Μονάδα1_2009	4.102.463	1.231.319	300	10,23	1.330	2.654,37	2.360.620
Μονάδα1_2010	3.548.702	1.442.063	300	10,96	1.334	2.469,68	1.905.630
Μονάδα1_2011	3.882.276	3.534.131	300	11,18	1.276	2.643,74	2.025.853
Μονάδα2_2005	4.264.835	2.584.943	300	10,25	1.221	2.527,78	2.156.810
Μονάδα2_2006	3.047.438	1.350.680	300	9,87	1.269	1.917,17	1.670.005
Μονάδα2_2007	4.272.162	396.390	300	10,00	1.311	3.239,73	2.419.580
Μονάδα2_2008	3.759.900	1.300.900	300	10,21	1.319	2.707,10	2.160.205
Μονάδα2_2009	4.039.726	776.910	300	10,13	1.331	2.612,64	2.310.825
Μονάδα2_2010	3.607.693	1.234.566	300	10,61	1.328	2.471,43	1.978.015
Μονάδα2_2011	3.877.220	3.483.700	300	10,99	1.299	2.680,11	2.053.722
Μονάδα3_2005	3.997.085	1.011.800	310	10,10	1.237	2.479,74	2.115.815
Μονάδα3_2006	4.056.586	1.346.400	310	10,15	1.267	2.521,20	2.229.935
Μονάδα3_2007	4.135.554	1.060.000	310	9,84	1.332	3.041,12	2.429.720
Μονάδα3_2008	2.118.992	2.629.880	310	9,21	1.350	2.102,64	1.278.330
Μονάδα3_2009	3.980.863	652.550	310	9,93	1.329	2.572,57	2.373.210
Μονάδα3_2010	4.277.460	696.100	310	10,07	1.318	2.982,58	2.386.340
Μονάδα3_2011	3.760.216	2.541.700	310	10,64	1.287	2.720,45	2.084.636
Μονάδα4_2005	4.547.251	1.061.200	310	9,95	1.223	2.816,38	2.403.055
Μονάδα4_2006	3.832.185	1.876.186	310	9,90	1.272	2.432,43	2.117.000
Μονάδα4_2007	2.746.537	2.575.900	310	8,84	1.314	2.012,01	1.579.840
Μονάδα4_2008	3.904.626	2.672.900	310	9,87	1.330	2999,65	2.295.600
Μονάδα4_2009	3.482.594	1.621.826	310	9,94	1.343	2.250,57	2.031.310

Μονάδα4_2010	3.465.592	1.875.377	310	10,22	1.325	2.714,49	1.955.785
Μονάδα4_2011	4.284.770	3.289.800	310	10,39	1.250	3.053,73	2.340.023
Μονάδα5_2005	4.953.061	1.363.700	375	9,85	1.229	3.190,39	2.722.175
Μονάδα5_2006	5.496.347	940.600	375	10,20	1.266	3.553,17	3.092.405
Μονάδα5_2007	5.178.368	341.850	375	9,90	1.305	3.540,20	2.948.340
Μονάδα5_2008	5.002.240	1.313.300	375	10,17	1.316	3.614,94	2.858.435
Μονάδα5_2009	4.363.947	1.176.532	375	9,91	1.343	2.823,21	2.534.405
Μονάδα5_2010	5.383.509	1.033.700	375	10,17	1.334	3.513,04	2.958.380
Μονάδα5_2011	4.675.277	1.859.400	375	10,57	1.305	3.307,76	2.534.684

Παράρτημα Α: Πίνακας τιμών δεδομένων

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Σενάριο 1

	ηπρα_1	ηπρα_2	ηπρα_3	ηπρα_4	ηπρα_5	σπρα_1	επιτευχ(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2236520	91.2
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1646475	89.84
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	2371355	99.77
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2069220	97.23
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2360620	99.08
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	1905630	90.17
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2025853	87.82
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2156810	88.65
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1670005	91.64
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2160205	96.53
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2310825	97.94
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	1978015	92.04
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2053722	89.07
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2115815	90.09
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2229935	93.59
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	2429720	100.07
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2386340	96.66
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2084636	93.59
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2403055	94
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2117000	93.5
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	1579840	96.04
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2295600	98.6
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2031310	97.86
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	1955785	94.82
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	2340023	94.51
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	2722175	96.78
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	2858435	99.9
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2534405	99.37
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	2958380	97.19
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	2534684	94.33

Παράρτημα Β: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο CCR

	ηπρα_1	ηπρα_2	ηπρα_3	ηπρα_4	ηπρα_5	Σαπρα_1
DMU_1	3.9465e+06	7.3044e+05	273.6100	7.6600	968.3300	2.2365e+06
DMU_2	2.7534e+06	1.2071e+06	262.4200	8.1700	1.1320e+03	1.6465e+06
DMU_3	4.0946e+06	1.2995e+06	299.3100	9.6700	1.2752e+03	2371355
DMU_4	3.4773e+06	1.2518e+06	291.6900	9.2300	1.2535e+03	2.0692e+06
DMU_5	4.0648e+06	9.4761e+05	297.2500	9.0900	1.2077e+03	2.3606e+06
DMU_6	3.1999e+06	1.1099e+06	270.5100	8.5600	1.1628e+03	1.9056e+06
DMU_7	3.4095e+06	5.8009e+05	263.4700	8.3900	1.1206e+03	2.0259e+06
DMU_8	3.7809e+06	7.4823e+05	265.9600	7.6400	979.8700	2.1568e+06
DMU_9	2.7926e+06	1237753	267.0200	8.3100	1.1519e+03	1.6700e+06
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	2.4196e+06
DMU_11	3.6295e+06	9.5796e+05	289.6000	9.2400	1.2426e+03	2160205
DMU_12	3.9567e+06	7.6094e+05	293.8300	9.0100	1.1896e+03	2.3108e+06
DMU_13	3.3207e+06	1.0253e+06	276.1300	8.7500	1.1864e+03	1.9780e+06
DMU_14	3.4535e+06	6.2060e+05	267.2100	8.5500	1146	2.0537e+06
DMU_15	3.6008e+06	7.2051e+05	276.8200	8.4100	1.1144e+03	2.1158e+06
DMU_16	3.7965e+06	9.7545e+05	290.1300	8.9500	1.1858e+03	2.2299e+06
DMU_17	4.1385e+06	9.5600e+05	310.2200	9.7600	1.3103e+03	2.4297e+06
DMU_18	2118992	2629880	310	9.2100	1350	1.2783e+06
DMU_19	3980863	652550	310	9.9300	1329	2.3732e+06
DMU_20	4.1346e+06	6.7284e+05	299.6400	8.9300	1.1562e+03	2.3863e+06
DMU_21	3.5192e+06	1.5144e+06	280.7200	8.9500	1.2045e+03	2.0846e+06
DMU_22	4.2711e+06	7.3092e+05	291.4100	7.9300	983.7900	2403055
DMU_23	3.5830e+06	1.4268e+06	280.6800	8.8800	1.1893e+03	2117000
DMU_24	2.6377e+06	1.5434e+06	275.9800	8.4900	1.1934e+03	1.5798e+06
DMU_25	3.8499e+06	7.0572e+05	304.5400	9.7300	1.3063e+03	2.2956e+06
DMU_26	3408235	1.4213e+06	303.3800	9.5300	1.3061e+03	2031310
DMU_27	3.2862e+06	1.5215e+06	291.8500	9.1600	1.2564e+03	1955785
DMU_28	4.0494e+06	9.0417e+05	292.9700	8.8100	1.1602e+03	2.3400e+06
DMU_29	4.7934e+06	9.3593e+05	339.7700	9.3900	1.1894e+03	2722175
DMU_30	5496347	940600	375	10.2000	1266	3.0924e+06
DMU_31	5178368	341850	375	9.9000	1305	2948340
DMU_32	4.9974e+06	1.1067e+06	369.7800	10.1600	1.3147e+03	2858435
DMU_33	4.3364e+06	8.7366e+05	329.3700	9.8500	1.3129e+03	2534405
DMU_34	5.2321e+06	7.4188e+05	364.4500	9.8800	1.2517e+03	2.9584e+06
DMU_35	4.4101e+06	1.5643e+06	333.4500	9.4300	1.2310e+03	2.5347e+06

Παράρτημα Β: Πίνακας στόχων μοντέλο CCR



	input_1	input_2	input_3	input_4	input_5	Output_1	Efficiency(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2236520	100
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1646475	100
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	2371355	100
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2069220	100
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2360620	100
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	1905630	100
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2025853	100
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2156810	100
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1670005	100
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2160205	100
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2310825	100
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	1978015	100
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2053722	100
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2115815	100
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2229935	99.71
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	2429720	100
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2386340	98.59
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2084636	99.26
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2403055	100
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2117000	99.81
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	1579840	100
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2295600	99.92
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2031310	98.98
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	1955785	98.38
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	2340023	100
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	2722175	100
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	2858435	99.97
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2534405	99.55
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	2958380	98.45
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	2534684	96.75

Παράρτημα Β: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο BCC

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Σενάριο 2

	input_1	input_2	input_3	input_4	input_5	output_1	output_2	Efficiency(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2621.2014	2236520	91.22
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1891.3799	1646475	89.84
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	3085.101	2371355	100
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2715.094	2069220	98.18
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2654.374	2360620	99.08
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	2469.682	1905630	91
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2643.738	2025853	89.46
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2527.781	2156810	88.65
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1917.165	1670005	91.64
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3239.727	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2707.1	2160205	97.42
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2612.642	2310825	97.94
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	2471.432	1978015	92.71
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2680.107	2053722	90.6
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2479.735	2115815	90.22
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2521.195	2229935	93.57
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	3041.12	2429720	100
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	2102.639	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2572.568	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2982.584	2386340	96.77
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2720.449	2084636	94.26
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2816.38	2403055	94.26
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2432.433	2117000	93.51
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	2012.01	1579840	96.04
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2999.648	2295600	100.45
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2250.57	2031310	97.86
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	2714.494	1955785	97.07
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	3053.73	2340023	95.85
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	3190.389	2722175	96.77
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3553.173	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	3540.203	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	3614.94	2858435	100
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2823.21	2534405	99.36
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	3513.041	2958380	98.33
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	3307.762	2534684	96.29

Παράρτημα Γ: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο CCR

	input_1	input_2	input_3	input_4	input_5	output_1	output_2
DMU_1	3.9474e+06	7.1622e+05	273.6700	7.7100	975.4000	2.6212e+03	2.2365e+06
DMU_2	2.7534e+06	1.2071e+06	262.4200	8.1700	1.1320e+03	2.0221e+03	1.6465e+06
DMU_3	4104060	1612307	300	10.1500	1332	3.0851e+03	2.3714e+06
DMU_4	3.5114e+06	1.7697e+06	294.5400	9.2500	1.2681e+03	2.7151e+03	2069220
DMU_5	4.0648e+06	9.4761e+05	297.2500	9.0900	1.2077e+03	2.8907e+03	2.3606e+06
DMU_6	3.2293e+06	1.3123e+06	273	8.5500	1.1763e+03	2.4697e+03	1905630
DMU_7	3.4732e+06	1.8350e+06	268.3900	8.5200	1.1415e+03	2.6437e+03	2.0259e+06
DMU_8	3.7809e+06	7.4823e+05	265.9600	7.6400	979.8700	2.5498e+03	2.1568e+06
DMU_9	2.7926e+06	1.2378e+06	267.0200	8.3100	1.1519e+03	2.0553e+03	1.6700e+06
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3.2397e+03	2.4196e+06
DMU_11	3.6628e+06	1.2434e+06	292.2600	9.2300	1.2569e+03	2.7071e+03	2160205
DMU_12	3.9567e+06	7.6094e+05	293.8300	9.0100	1.1896e+03	2.6576e+03	2.3108e+06
DMU_13	3.3445e+06	1.1315e+06	278.1200	8.7500	1.1973e+03	2.4714e+03	1978015
DMU_14	3.5130e+06	2.0441e+06	271.8100	8.8000	1.1770e+03	2.6801e+03	2.0537e+06
DMU_15	3606224	7.8505e+05	275.7200	8.4000	1.1160e+03	2.4797e+03	2115815
DMU_16	3.7958e+06	9.5274e+05	290.0700	8.9500	1.1855e+03	2.5529e+03	2.2299e+06
DMU_17	4135554	1060000	310	9.8400	1332	3.0411e+03	2.4297e+06
DMU_18	2118992	2629880	310	9.2100	1350	2.1026e+03	1.2783e+06
DMU_19	3.9809e+06	6.5255e+05	310	9.9300	1329	2.5726e+03	2.3732e+06
DMU_20	4.1395e+06	6.7365e+05	300	9.5600	1.2628e+03	2.9826e+03	2.3863e+06
DMU_21	3.5445e+06	2.3959e+06	282.7100	8.9900	1.2132e+03	2.7204e+03	2084636
DMU_22	4.2677e+06	6.9009e+05	292.2000	8.1700	1.0223e+03	2.8164e+03	2.4031e+06
DMU_23	3.5835e+06	1.4424e+06	280.7500	8.8800	1.1895e+03	2.5295e+03	2.1170e+06
DMU_24	2.6377e+06	1.5434e+06	275.9800	8.4900	1.1934e+03	2.0615e+03	1.5798e+06
DMU_25	3.9222e+06	1.9300e+06	311.3900	9.8800	1.3360e+03	2.9996e+03	2.2956e+06
DMU_26	3.4081e+06	1.4172e+06	303.3700	9.5200	1.3061e+03	2.4545e+03	2.0313e+06
DMU_27	3.3641e+06	1.8033e+06	300.9200	9.3800	1.2862e+03	2.7145e+03	1.9558e+06
DMU_28	4.1070e+06	6.9691e+05	297.1400	9.1600	1.1981e+03	3.0537e+03	2.3400e+06
DMU_29	4.7929e+06	9.0156e+05	339.4700	9.3800	1.1893e+03	3.1904e+03	2722175
DMU_30	5496347	940600	375	10.2000	1266	3.5532e+03	3.0924e+06
DMU_31	5178368	341850	375	9.9000	1305	3.5402e+03	2.9483e+06
DMU_32	5002240	1313300	375	10.1700	1316	3.6149e+03	2.8584e+06
DMU_33	4.3360e+06	8.6099e+05	329.3100	9.8500	1.3127e+03	2.9398e+03	2.5344e+06
DMU_34	5.2280e+06	9.0234e+05	368.7400	10	1.2687e+03	3.5130e+03	2958380
DMU_35	4.5020e+06	1.2158e+06	344.1300	9.6200	1.2566e+03	3.3078e+03	2.5739e+06

Παράρτημα Γ: Πίνακας στόχων μοντέλο CCR

	ημρα_1	ημρα_2	ημρα_3	ημρα_4	ημρα_5	Σημρα_1	Σημρα_2	Επίδοση(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2621.2014	2236520	100
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1891.3799	1646475	100
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	3085.101	2371355	100
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2715.094	2069220	100
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2654.374	2360620	100
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	2469.682	1905630	100
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2643.738	2025853	100
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2527.781	2156810	100
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1917.165	1670005	100
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3239.727	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2707.1	2160205	100
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2612.642	2310825	100
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	2471.432	1978015	100
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2680.107	2053722	100
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2479.735	2115815	100
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2521.195	2229935	99.73
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	3041.12	2429720	100
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	2102.639	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2572.568	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2982.584	2386340	98.59
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2720.449	2084636	99.43
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2816.38	2403055	100
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2432.433	2117000	99.81
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	2012.01	1579840	100
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2999.648	2295600	100
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2250.57	2031310	98.98
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	2714.494	1955785	99
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	3053.73	2340023	100
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	3190.389	2722175	100
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3553.173	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	3540.203	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	3614.94	2858435	100
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2823.21	2534405	99.59
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	3513.041	2958380	98.46
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	3307.762	2534684	98.43

Παράρτημα Γ: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο BCC

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Σενάριο 3

	ημρα_1	ημρα_2	ημρα_3	ημρα_4	ημρα_5	ημρα_6	Σταθ_1	Επιδεικν(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2621.2014	2236520	94.66
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1891.3799	1646475	94.36
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	3085.101	2371355	99.8
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2715.094	2069220	97.76
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2654.374	2360620	99.27
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	2469.682	1905630	89.97
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2643.738	2025853	87.82
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2527.781	2156810	93.6
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1917.165	1670005	94.43
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3239.727	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2707.1	2160205	96.57
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2612.642	2310825	98.01
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	2471.432	1978015	91.88
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2680.107	2053722	89.07
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2479.735	2115815	93.08
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2521.195	2229935	97.96
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	3041.12	2429720	100
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	2102.639	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2572.568	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2982.584	2386340	96.66
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2720.449	2084636	93.63
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2816.38	2403055	96.29
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2432.433	2117000	94.34
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	2012.01	1579840	96.2
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2999.648	2295600	99.49
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2250.57	2031310	97.84
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	2714.494	1955785	94.76
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	3053.73	2340023	94.51
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	3190.389	2722175	96.99
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3553.173	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	3540.203	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	3614.94	2858435	99.9
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2823.21	2534405	99.36
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	3513.041	2958380	97.26
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	3307.762	2534684	94.34

Παράρτημα Δ: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο CCR



	ηπρα_1	ηπρα_2	ηπρα_3	ηπρα_4	ηπρα_5	ηπρα_6	Σαπρα_1
DMU_1	3.8389e+06	6.4046e+05	283.9700	8.5800	1.1209e+03	2.4812e+03	2.2365e+06
DMU_2	2.7618e+06	4.5272e+05	215.0700	6.8900	922.0300	1.7848e+03	1.6465e+06
DMU_3	4.0960e+06	1.3471e+06	299.4100	9.7400	1.2838e+03	3.0121e+03	2371355
DMU_4	3.4963e+06	1.9268e+06	293.2800	9.2700	1.2604e+03	2.6011e+03	2.0692e+06
DMU_5	4.0723e+06	6.8477e+05	297.8000	8.8800	1.1527e+03	2.6349e+03	2.3606e+06
DMU_6	3.1928e+06	8.5840e+05	269.9100	8.5400	1.1602e+03	2.1709e+03	1.9056e+06
DMU_7	3.4095e+06	5.8009e+05	263.4700	8.3900	1.1206e+03	2.2228e+03	2.0259e+06
DMU_8	3.6610e+06	6.0564e+05	277.7000	8.6400	1.1429e+03	2.3660e+03	2.1568e+06
DMU_9	2.8013e+06	4.5919e+05	218.1400	6.9900	935.2000	1.8103e+03	1.6700e+06
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3.2397e+03	2.4196e+06
DMU_11	3.6309e+06	1.0070e+06	289.7100	9.2400	1.2430e+03	2.4512e+03	2.1602e+06
DMU_12	3.9595e+06	6.6141e+05	294.0400	8.9300	1.1688e+03	2.5608e+03	2.3108e+06
DMU_13	3.3149e+06	8.1909e+05	275.6500	8.7400	1.1843e+03	2.2308e+03	1.9780e+06
DMU_14	3.4535e+06	6.2060e+05	267.2100	8.5500	1146	2.2843e+03	2.0537e+06
DMU_15	3.5713e+06	5.8827e+05	274.2900	8.6600	1.1513e+03	2.3080e+03	2.1158e+06
DMU_16	3.8992e+06	1.1200e+06	301.4000	9.5100	1.2411e+03	2.4697e+03	2.2299e+06
DMU_17	4135554	1.0600e+06	310	9.8400	1332	3.0411e+03	2.4297e+06
DMU_18	2118992	2629880	310	9.2100	1350	2.1026e+03	1.2783e+06
DMU_19	3980863	652550	310	9.9300	1329	2.5726e+03	2.3732e+06
DMU_20	4.1346e+06	6.7284e+05	299.6400	8.9300	1.1562e+03	2.7039e+03	2.3863e+06
DMU_21	3.5207e+06	1.5672e+06	280.8400	8.9500	1.2050e+03	2.5127e+03	2.0846e+06
DMU_22	4.1954e+06	7.0880e+05	298.5000	8.6000	1.0979e+03	2.7119e+03	2.4031e+06
DMU_23	3.5511e+06	5.8210e+05	276.5300	8.8600	1.1855e+03	2.2948e+03	2.1170e+06
DMU_24	2.6422e+06	1.1431e+06	250.8500	7.8100	1.0820e+03	1.9356e+03	1.5798e+06
DMU_25	3.8848e+06	1.9594e+06	308.0200	9.8200	1.3214e+03	2.8227e+03	2.2956e+06
DMU_26	3.4074e+06	5.5854e+05	265.3400	8.5000	1.1375e+03	2.2020e+03	2.0313e+06
DMU_27	3.2841e+06	1.4466e+06	291.6600	9.1600	1.2556e+03	2.3829e+03	1.9558e+06
DMU_28	4.0494e+06	9.0417e+05	292.9700	8.8100	1.1602e+03	2.8382e+03	2.3400e+06
DMU_29	4.7868e+06	812953	334.9200	9.4300	1.1920e+03	3.0943e+03	2.7222e+06
DMU_30	5496347	940600	375	10.2000	1266	3.5532e+03	3.0924e+06
DMU_31	5178368	341850	375	9.9000	1305	3.5402e+03	2.9483e+06
DMU_32	4.9973e+06	1.1046e+06	369.7200	10.1600	1.3147e+03	3.5059e+03	2858435
DMU_33	4.3361e+06	7.1411e+05	323.2700	9.8500	1.2914e+03	2.8052e+03	2.5344e+06
DMU_34	5.2361e+06	8.0430e+05	362.7500	9.8900	1.2452e+03	3.4168e+03	2.9584e+06
DMU_35	4.4108e+06	1.5777e+06	327.2000	9.4700	1.2312e+03	3.1207e+03	2534684

Παράρτημα Δ: Πίνακας στόχων μοντέλο CCR

	πρωτ_1	πρωτ_2	πρωτ_3	πρωτ_4	πρωτ_5	πρωτ_6	Συμμετ_1	Επικέντρωση(%)
DMU_1	4327143	1494202	300	10.39	1214	2621.2014	2236520	100
DMU_2	3064850	1565541	300	9.94	1260	1891.3799	1646475	100
DMU_3	4104060	1612307	300	10.15	1332	3085.101	2371355	100
DMU_4	3576400	2127349	300	10.29	1327	2715.094	2069220	100
DMU_5	4102463	1231319	300	10.23	1330	2654.374	2360620	100
DMU_6	3548702	1442063	300	10.96	1334	2469.682	1905630	100
DMU_7	3882276	3534131	300	11.18	1276	2643.738	2025853	100
DMU_8	4264835	2584943	300	10.25	1221	2527.781	2156810	100.02
DMU_9	3047438	1350680	300	9.87	1269	1917.165	1670005	100
DMU_10	4272162	396390	300	10	1311	3239.727	2419580	100
DMU_11	3759900	1300900	300	10.21	1319	2707.1	2160205	100
DMU_12	4039726	776910	300	10.13	1331	2612.642	2310825	100
DMU_13	3607693	1234566	300	10.61	1328	2471.432	1978015	100
DMU_14	3877220	3483700	300	10.99	1299	2680.107	2053722	100
DMU_15	3997085	1011800	310	10.1	1237	2479.735	2115815	100
DMU_16	4056586	1346400	310	10.15	1267	2521.195	2229935	100.02
DMU_17	4135554	1060000	310	9.84	1332	3041.12	2429720	100
DMU_18	2118992	2629880	310	9.21	1350	2102.639	1278330	100
DMU_19	3980863	652550	310	9.93	1329	2572.568	2373210	100
DMU_20	4277460	696100	310	10.07	1318	2982.584	2386340	98.64
DMU_21	3760216	2541700	310	10.64	1287	2720.449	2084636	99.27
DMU_22	4547251	1061200	310	9.95	1223	2816.38	2403055	100
DMU_23	3832185	1876186	310	9.9	1272	2432.433	2117000	99.96
DMU_24	2746537	2575900	310	8.84	1314	2012.01	1579840	100
DMU_25	3904626	2672900	310	9.87	1330	2999.648	2295600	99.6
DMU_26	3482594	1621826	310	9.94	1343	2250.57	2031310	100
DMU_27	3465592	1875377	310	10.22	1325	2714.494	1955785	98.39
DMU_28	4284770	3289800	310	10.39	1250	3053.73	2340023	100.18
DMU_29	4953061	1363700	375	9.85	1229	3190.389	2722175	100
DMU_30	5496347	940600	375	10.2	1266	3553.173	3092405	100
DMU_31	5178368	341850	375	9.9	1305	3540.203	2948340	100
DMU_32	5002240	1313300	375	10.17	1316	3614.94	2858435	99.97
DMU_33	4363947	1176532	375	9.91	1343	2823.21	2534405	100
DMU_34	5383509	1033700	375	10.17	1334	3513.041	2958380	98.59
DMU_35	4675277	1859400	375	10.57	1305	3307.762	2534684	96.76

Παράρτημα Δ: Πίνακας αποδοτικότητας μοντέλο BCC