ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΜΒΑ ΓΙΑ ΣΤΕΛΕΧΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Γ. ΤΣΑΛΙΑΝΗ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DATA ENVELOPMENT ANALYSIS (DEA)

Επιβλέπων: Ανδρέας Γεωργίου

Εξεταστές: Εμμανουήλ Θανασσούλης

Γεώργιος Τσιότρας

Φεβρουάριος 2015

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων.

Αφιερώνεται στην Μαρίνα
στο Γιώργο,
στη Θεοδότη
και στην Ελευθερία,

ως ελάχιστο αντίτιμο
για τον χρόνο
που τους στέρησα.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, αισθάνομαι την υποχρέωση, κάθε άλλο παρά για τυπικούς λόγους, να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλλαν, άμεσα ή έμμεσα στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πρωτίστως, οφείλω ένα θερμότατο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της εργασίας κ. Ανδρέα Γεωργίου, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Μακεδονίας και Πρόεδρο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος ΜΒΑ για στελέχη επιχειρήσεων στο ίδιο Πανεπιστήμιο, για τη συνεχή, άμεση, άοκνη και ουσιαστική βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ιδιαίτερη μνεία οφείλεται στον κ. Εμμανουήλ Θανασσούλη, Καθηγητή του Aston University, ο οποίος τυγχάνει διεθνούς αναγνώρισης στη μέθοδο DEA, για τις χρήσιμες συμβουλές, την υποστήριξη, τη στενή συνεργασία και προπάντων για τον πολύτιμο χρόνο του στις εποικοδομητικές συζητήσεις που είχαμε από το αρχικό μέχρι το τελικό στάδιο ολοκλήρωσης της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης, τον κ. Τσίοτρα Γεώργιο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Μακεδονίας, που με τίμησε με την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της εργασίας.

Οι προαναφερθέντες Καθηγητές αποτέλεσαν προσωπική πηγή δύναμης και έμπνευσης και με τη στάση τους στάθηκαν αιτία και αφορμή για να τεθεί πολύ υψηλά ο πήχης της εργασίας αυτής. Μετά από τη δεκαετή εμπειρία μου ως προπτυχιακός και μεταπτυχιακός, είμαι πεπεισμένος ότι οι φοιτητές τους θα πρέπει να αισθάνονται υπερήφανοι, ενώ τα Πανεπιστήμια, όπου διδάσκουν, θα πρέπει να τους τιμούν για το τεράστιο εκπαιδευτικό έργο που επιτελούν, αλλά και την ανεξάντλητη διάθεση για ακαδημαϊκή προσφορά.

Θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω την κα. Αργυρώ Καστανάκη, Βοηθό Διευθύντρια της Διεύθυνσης Εκμετάλλευσης Θερμοηλεκτρικών Σταθμών (ΔΕΘ) της Γενικής Διεύθυνσης Παραγωγής (ΓΔ/Π) και τον κ. Αλέξιο Σωτηρόπουλο, Τομεάρχη της ΔΕΘ, για την αρωγή τους στην ολοκλήρωση της εργασίας, τόσο με την παροχή λειτουργικών δεδομένων, όσο και την μετάδοση γνώσεων και εμπειρίας.

Επίσης, ένα θερμότατο ευχαριστώ οφείλω στον Δρ. Σωκράτη Ίτσκο, πρώην Τομεάρχη Χημικής Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του ΑΗΣ Αμυνταίου, για την ουσιαστική του συνδρομή και τις χρήσιμες παρατηρήσεις του στο αντικείμενο των ρύπων και της αντιρρυπαντικής τεχνολογίας στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Βασίλειο Τσίγκα, Διευθυντή του ΑΗΣ Καρδιάς, στην ιεραρχία και σε όλους του συναδέλφους του εν λόγω σταθμού, χωρίς την συμπαράσταση και κατανόηση των οποίων θα ήταν αδύνατη η εκπλήρωση της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία διερευνάται η εφαρμογή της ποσοτικής μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA) στην αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας δέκα θερμοηλεκτρικών σταθμών κατά την περίοδο 2006 ως 2013. Πρόκειται για σταθμούς που ανήκουν στη ΔΕΗ Α.Ε. και χρησιμοποιούν διάφορα καύσιμα (λιγνίτης, φυσικό αέριο, μαζούτ και diesel). Οχτώ από αυτούς βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα (διασυνδεδεμένο δίκτυο) και δυο στα νησιά.

Εφαρμόζονται τα δυο βασικά μοντέλα της μεθόδου DEA, CCR(CRS) και BCC(VRS), προσανατολισμένα στις εισόδους (inputs). Ως μεταβλητές εισόδου χρησιμοποιούνται η καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια, το πλήθος των εργαζομένων και το κόστος συντήρησης (προς εξωτερικούς συνεργάτες), ενώ ως μεταβλητές εξόδου, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και η αδιάθετη ηλεκτρική ενέργεια. Εισάγονται επίσης μεταβλητές ρύπανσης (μη επιθυμητές έξοδοι) ως μεταβλητές εισόδου, προκειμένου οι σταθμοί να αξιολογηθούν και για την περιβαλλοντική τους αποδοτικότητα. Επίσης, εισάγοντας τιμές κόστους ανά μονάδα στις μεταβλητές εισόδου, υπολογίζεται η αποδοτικότητα κατανομής πόρων (allocative efficiency) τεχνικά και περιβαλλοντικά. Τέλος, μελετάται η μεταβολή αποδοτικότητας κάθε σταθμού για την χρονική περίοδο μελέτης, με την βοήθεια του δείκτη Malmquist.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα προκύπτει, ότι οι σταθμοί συνδυασμένου κύκλου είναι αποδοτικότεροι από τους υπόλοιπους, τόσο τεχνικά όσο και περιβαλλοντικά. Η χαμηλή αποδοτικότητα χαρακτηρίζει κυρίως τους παλαιότερους ηλικιακά σταθμούς, ενώ οι νεότεροι συμπεριφέρονται περιβαλλοντικά αποδοτικότερα. Ως προς την αποδοτικότητα κατανομής πόρων προκύπτει ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης στους λιγνιτικούς σταθμούς. Τέλος, για την περίοδο μελέτης παρατηρούνται μικρές μεταβολές αποδοτικότητας της τάξης του ±5%.

Θεωρώντας την μέθοδο DEA σχετικά πρόσφατη για τα ελληνικά δεδομένα και αρκετά νέα στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσα από την εργασία γίνεται προσπάθεια ανάδειξης των διάφορων πτυχών της.

Περιεχόμενα

Συντομογραφίες 152

Κατάλογος Πινάκων 153

Κατάλογος Σχημάτων 154

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 15

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ 18

1.1 Κατηγορίες μεθόδων μέτρησης 18

1.2 Παραμετρικές και μη παραμετρικές μέθοδοι 19

1.3 Η μέθοδος DEA 19

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA 22

2.1 Ανάλυση Μεθόδου 22

2.2 Στάδια Εφαρμογής Μεθόδου 26

2.3 Μεθοδολογία επιλογής μεταβλητών εισόδων – εξόδων 27

2.4 Σχέση πλήθους μεταβλητών και οντοτήτων (DMUs) 29

2.5 Επιλογή κατάλληλου μοντέλου 31

2.6 Η έννοια προσανατολισμού στην αποδοτικότητα 34

2.7 Το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου 36

2.8 Βελτιστοποίηση μεθόδου 39

2.8.1 Πίνακας Διασταυρούμενων Αποδόσεων (Cross Efficiency Matrix) 39

2.8.2 Κατανομή Εικονικών εισόδων και εξόδων (Distribution of virtual inputs and outputs) 40

2.8.3 Περιορισμοί στους Συντελεστές Βαρύτητας (Weight Restrictions) 40

2.9 Διαχρονική μέτρηση μεταβολής αποδοτικότητας 42

2.9.1 Ανάλυση Χρονικού Παραθύρου (Window Analysis) 42

2.9.2 Δείκτης Malmquist (Malmquist Index) 43

2.10 Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency) 46

2.11 Μεθοδολογία διαχείρισης μη επιθυμητών εξόδων (ρύπανση) 51

2.12 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου DEA 54

2.13 Μεθοδολογία παρουσίασης αποτελεσμάτων 55

2.14 Λογισμικά επίλυσης μοντέλων DEA 57

2.14.1 Το Λογισμικό PIM – DEA v3.0 57

3. ΜΕΘΟΔΟΣ DEA - ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 60

4. Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ 69

4.1 Η μορφή και η λειτουργία της αγοράς 70

4.2 Ο Όμιλος ΔΕΗ Α.Ε. 77

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 83

5.1 Μεθοδολογία Έρευνας 83

5.2 Επιλογή σταθμών προς αξιολόγηση (το δείγμα) 83

5.2.1 Περιγραφή σταθμών παραγωγής 84

5.2.2 Τεχνολογίες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας 87

5.3 Μεταβλητές σεναρίων αξιολόγησης (κριτήρια αξιολόγησης) 89

5.3.1 Συλλογή Δεδομένων 94

5.3.2 Μεταβλητές Ρύπανσης (Μη επιθυμητές Έξοδοι) 96

5.4 Επιλογή προσανατολισμού στα σενάρια αξιολόγησης 97

5.5 Σενάρια – Μοντέλα αξιολόγησης των σταθμών παραγωγής 98

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ 100

6.1 Σενάριο 1 100

6.2 Σενάριο 2 107

6.3 Σενάριο 3 111

6.4 Σενάριο 4 113

6.5 Σενάριο 5 115

6.6 Σενάριο 6 και 7 116

6.7 Σενάριο 8 117

6.8 Σενάριο 9 119

6.9 Σενάριο 10 122

6.10 Σενάριο 11 123

6.11 Σενάριο 12 125

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 126

7.1 Συμπεράσματα 10026

7.2 Προτάσεις 107

7.3 Μειονεκτήματα παρούσας εργασίας – Μελλοντική έρευνα 11130

Βιβλιογραφία 1002

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AE	Allocative Efficiency
BCC	Banker Charnes Cooper
CCR	Charnes Cooper Rhodes
COLS	Corrected Ordinary Least Square
CRS	Constant Return to Scale
DEA	Data Envelopment Analysis
DFA	Distribution Free Analysis
DMU	Decision Making Unit
DRS	Decreasing Return to Scale
FDH	Free Disposal Hull
IAE	Input Allocative Efficiency
IOE	Input Overall Efficiency
IRS	Increasing Returns to Scale
ITE	Input Technical Efficiency
MI	Malmquist Index
MPSS	Most Productive Scale Size
OC	Overall Cost
OE	Overall Efficiency
PPBS	Planning, Programming and Budgeting System
PPS	Production Possibility Set
PTE	Pure Technical Efficiency
RTS	Return To Scale
SE	Scale Efficiency
SFA	Stochastic Frontier Analysis
TE	Technical Efficiency
TFA	Thick Frontier Analysis
TFP	Total Factor Productivity
VRS	Variable Return to Scale
ZBB	Zero-Based Budgeting System
Α/Σ	Αεριοστροβιλικές
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΤΜ	Ατμοστροβιλικές
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΔΤΚ	Δείκτης Τιμών Καταναλωτή
ΛΑΓΗΕ	Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
Σ.Κ.	Συνδυασμένου Κύκλου

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

σελ.

Πίνακας 2.1: Λογισμικά για την μέθοδο DEA……59
Πίνακας 3.1: Εφαρμογή της DEA στον κλάδο της Ηλεκτρικής Ενέργειας – Διεθνής Εμπειρία ……61
Πίνακας 4.1: Τα βασικά όργανα της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ……72
Πίνακας 4.2: Κύριοι Παραγωγοί Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα ……74
Πίνακας 4.3: Σύνολο Εγκατεστημένης Ισχύος ανά είδος παραγωγής ……75
Πίνακας 4.6: Μεταβολή βασικότερων μεγεθών……82
Πίνακας 5.1: Τεχνικά Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Σταθμών Παραγωγής ……86
Πίνακας 5.2: Τεχνικές μεταβολές Σταθμών Παραγωγής ……87
Πίνακας 5.3: Βαθμός απόδοσης θερμοηλεκτρικών μονάδων ……90
Πίνακας 5.4: Μεταβλητές μοντέλων DEA στα διάφορα σενάρια Αξιολόγησης ……91
Πίνακας 5.5: Στατιστικά στοιχεία των μεταβλητών για τα έτη 2006 και 2013 ……92
Πίνακας 5.6: Συντελεστές συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των μεταβλητών ……93
Πίνακας 5.7: Εκπεμπόμενη ποσότητα CO2 ανά καύσιμο ……97
Πίνακας 5.8: Σενάρια μέτρησης αποδοτικότητας σταθμών παραγωγής ……99
Πίνακας 6.1: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 1) ……101
Πίνακας 6.2: Συντελεστές βαρύτητας (Weights) για το έτος 2006 ……103
Πίνακας 6.3: Συντελεστές βαρύτητας (Weights) για το έτος 2013 ……104
Πίνακας 6.4: Διασταυρούμενες Αποδοτικότητες για το έτος 2013 ……104
Πίνακας 6.5: Περιθώρια (Slacks) για το έτος 2013 ……105
Πίνακας 6.6: Προτεινόμενοι Στόχοι (Targets) για το έτος 2013……105
Πίνακας 6.7: Συχνότητες Ομότιμων (Peers) Σταθμών……106
Πίνακας 6.8: Καθορισμός άνω και κάτω ορίου λόγου μεταβλητών……109
Πίνακας 6.9: Περιορισμοί ανά δοκιμή ……110
Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα δοκιμών ……110
Πίνακας 6.11: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών με χρήση περιορισμών (Δοκ. 8)……112
Πίνακας 6.12: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 3a) ……113
Πίνακας 6.13: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 3b) ……113
Πίνακας 6.14: Μέση τιμή Απόλυτων Συσχετίσεων ανά Σενάριο Αξιολόγησης ……114
Πίνακας 6.15: «Καθαρά» Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών–VRS (Σενάριο 4) ……115
Πίνακας 6.16: Βέλτιστο μέγεθος (παραγωγή) ανά σταθμό ……116
Πίνακας 6.17: Αποδοτικότητες Κλίμακος – Scale Efficiencies (SE) ……116
Πίνακας 6.18: Αποδοτικότητες Σεναρίου 5 ……117
Πίνακας 6.19: Αποδοτικότητες Σεναρίων 6 και 7 ……118
Πίνακας 6.20: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8a) ……119
Πίνακας 6.21: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8b) ……119
Πίνακας 6.22: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8c) ……120
Πίνακας 6.23: Τεχνικές Αποδοτικότητες Λιγνιτικών Σταθμών με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8d) ……120
Πίνακας 6.24: Τεχνικές Αποδοτικότητες Ρυπαντικής Συμπεριφοράς (Σενάριο 9a) ……121
Πίνακας 6.25: Τεχνικές Αποδοτικότητες Ρυπαντικής Συμπεριφοράς Λιγνιτικών Σταθμών (Σενάριο 9b) ……122
Πίνακας 6.26: Αποδοτικότητες: Τεχνική, Συνολική και Κατανομής Πόρων ……124
Πίνακας 6.27: Αποδοτικότητες: Τεχνική, Συνολική και Κατανομής Πόρων (λαμβάνονται υπόψη και μεταβλητές ρύπων) ……125
Πίνακας 6.28: Μεταβολές Αποδοτικότητας και Παραγωγικότητας ανά έτος ……126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

σελ.

Σχήμα 2.1: Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου DEA.……26
Σχήμα 2.2: Διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου DEA.……..28
Σχήμα 2.3: Γραφική διάκριση μεταξύ των μοντέλων CCR (CRS) και BCC (VRS) της μεθόδου DEA (Azadeh et al., 2007)…….……33
Σχήμα 2.4: Περιοχές οικονομίας κλίμακος για τα μοντέλα DEA……...…35
Σχήμα 4.1: Ετήσια Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας ……....75
Σχήμα 4.2: Εξέλιξη στο μείγμα καυσίμου……...76
Σχήμα 4.3: Εταιρείες του ομίλου ΔΕΗ Α.Ε……....79
Σχήμα 4.4: Λειτουργικό διάγραμμα Αποθείωσης καυσαερίων …….....80
Σχήμα 4.5: Αρχή λειτουργίας Ηλεκτροστατικών Φίλτρων ……80
Σχήμα 4.6: SWOT Ανάλυση στην Εταιρία ΔΕΗ……....83
Σχήμα 5.1: Διαδικασίες μετατροπής διαφόρων μορφών ενέργειας ……....85
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Ατμοηλεκτρικής Μονάδας …….……88
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα Αεριοστροβιλικής Μονάδας ……..89
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα Μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου …….....90
Σχήμα 5.5: Σχέση παραγωγής ΔΕΗ, σταθμών δείγματος και Δείκτη Βιομηχανικής Παραγωγής ……...92
Σχήμα 5.6: Σχέση εργαζομένων και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας …….....93
Σχήμα 5.7: Σχέση εργαζομένων και αδιάθετης ηλεκτρικής ενέργειας ……...…94
Σχήμα 5.8: Σχέση θερμικής ενέργειας και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ….....….94
Σχήμα 5.9: Σχέση παραγόμενης και αδιάθετης ηλεκτρικής ενέργειας ……..94
Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση της έννοιας «Διαθεσιμότητας» σε έναν σταθμό Παραγωγής ……...96
Σχήμα 6.1: Αθροίσματα μεταβλητών και μέση τεχνική αποδοτικότητα σταθμών ……...102
Σχήμα 6.2: 1^{ο} Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 – 2013 ……107
Σχήμα 6.3: 2^{ο} Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 – 2013 ……108
Σχήμα 6.4: 3^{ο} Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 – 2013 ……108
Σχήμα 6.5: Τεχνική Αποδοτικότητα Σταθμών με χρήση Περιορισμών (Δοκιμή 8) …….112
Σχήμα 6.6: «Καθαρά» Τεχνική Αποδοτικότητα Σταθμών (VRS) ……115
Σχήμα 6.7: Μεταβολή Dust ως προς την Παραγωγή (2006 – 2013) ……....122
Σχήμα 6.8: Μεταβολή SO_2 ως προς την Παραγωγή (2006 – 2013) ……123
Σχήμα 7.1: Διάγραμμα σχέσης Αποδοτικότητας - Κερδοφορίας σταθμών παραγωγής ...130

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι έννοιες Απόδοση (Performance), Παραγωγικότητα (Productivity) και Αποδοτικότητα (Efficiency) αποτελούν κύρια αντικείμενα ευρείας προσοχής και ενασχόλησης των στελεχών των οργανισμών. Κύριο μέλημά τους είναι η εύρεση και υιοθέτηση διαδικασιών που θα βελτιώνουν την αποδοτικότητα και θα αυξάνουν την παραγωγικότητα τόσο του κάθε εργαζομένου όσο και ολόκληρου του οργανισμού (Athanassopoulos, Lambroukos, & Seiford, 1999).

Ωστόσο, για να βελτιώσει κανείς κάτι, θα πρέπει πρώτα να είναι σε θέση να το μετρήσει. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν συμβάλει η λογιστική, τα οικονομικά και η οργανωσιακή επιστήμη, ενώ σχετικά πρόσφατα και η διοικητική επιστήμη της Επιχειρησιακής Έρευνας (Operational Research).

Παραδοσιακά, η μέτρηση αποδοτικότητας στις επιχειρήσεις βασίζεται στη χρήση συντελεστών βαρύτητας, μεταβλητών, δεικτών και συναρτήσεων παραγωγής και κόστους. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει η σχέση μεταξύ εισόδων (χρησιμοποιούμενων πόρων) και εξόδων (παραγόμενων προϊόντων ή υπηρεσιών) να είναι απόλυτα καθορισμένη και να μπορεί να περιγραφεί μέσω κάποιας εξίσωσης (Tai et.al., 2010), πράγμα δύσκολο έως αδύνατο, όταν εμπλέκονται μεταβλητές πρωτοεμφανιζόμενες ή ερευνητικά άθικτες.

Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχή μείωση των παγκόσμιων αποθεμάτων καυσίμων και της συνεχόμενης ανόδου των διεθνών τιμών αυτών, είναι σημαντικό να βελτιωθεί η λειτουργική αποδοτικότητα μέσω της βέλτιστης χρήσης πόρων (Sueyoshi et.al., 2010). Το ζητούμενο για κάθε τέτοια εγκατάσταση είναι το πώς θα παράγει την ηλεκτρική ενέργεια που της ζητείται χρησιμοποιώντας τους ελάχιστους δυνατούς πόρους και εκπέμποντας λιγότερους ρύπους. Το χαμηλότερο κόστος παραγωγής μεταφράζεται άμεσα σε χαμηλότερο κόστος για τον τελικό καταναλωτή ενώ οι λιγότεροι ρύποι συνεπάγονται ποιοτικότερο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κύριο μέλημα των θερμικών σταθμών θα πρέπει να είναι η εξοικονόμηση πόρων και η φιλικότερη προς το περιβάλλον συμπεριφορά. Για κάθε χώρα, αλλά και εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η ΔΕΗ, είναι πολύ σημαντική τόσο η μείωση κατανάλωσης ενέργειας όσο και η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Παραδοσιακά, η συνολική αποδοτικότητα ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής ορίζεται ως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια. Ο λόγος αυτός σύμφωνα με τους Xi-ping & Tian (2012), λαμβάνει υπόψη του μόνο το θερμικό

περιεχόμενο του καυσίμου, παραβλέποντας άλλους παράγοντες - μεταβλητές, όπως είναι η Μη Διατεθειμένη Ενέργεια (για λόγους επάρκειας φορτίου), το πλήθος των εργαζομένων, το κόστος συντήρησης, αλλά και τους εκπεμπόμενους ρύπους όπως είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (DUST), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και τα νιτρώδη (NO_x).

Σύμφωνα με τον Tsolas (2010) η αειφόρος ανάπτυξη θέτει σημαντικές προκλήσεις στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι πλέον θα πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογούν την πορεία τους προς την κατεύθυνση αυτή. Κατά συνέπεια, οι παραδοσιακοί δείκτες αποδοτικότητας θα πρέπει να διευρυνθούν και να αναθεωρηθούν ώστε να είναι σε θέση να αποτυπώνουν την κατάσταση του κάθε σταθμού σε συνάρτηση με διάφορους παράγοντες ενδιαφέροντος (π.χ. ποιότητα περιβάλλοντος, κοινωνική ευημερία κα).

Η μέθοδος DEA προτείνει έναν εναλλακτικό τρόπο - μέθοδο υπολογισμού της συνολικής αποδοτικότητας ενός θερμικού σταθμού. Αρχικά προτάθηκε από τους Charnes, Cooper, Rhodes το 1978 για την αξιολόγηση - μέτρηση της αποδοτικότητας παρόμοιων μονάδων - οντοτήτων λήψης αποφάσεων (Decision Making Units, DMUs).

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας είναι να εφαρμόσει την μέθοδο DEA για την αξιολόγηση αποδοτικότητας (τεχνική και περιβαλλοντική) θερμοηλεκτρικών σταθμών, να παρουσιάσει τα αποτελέσματα αξιολόγησης, να εντοπίσει δυνατά και αδύνατα σημεία των σταθμών παραγωγής και να διερευνήσει πιθανές δυνατότητες βελτίωσης.

Για τον σκοπό αυτό, αρχικά γίνεται επισκόπηση των διάφορων μεθόδων μέτρησης αποδοτικότητας (Κεφάλαιο 1), παρουσιάζεται η μέθοδος DEA (Κεφάλαιο 2), ακολουθεί μια εκτενής παρουσίαση της εφαρμογής της μεθόδου σε διεθνές επίπεδο στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας (Κεφάλαιο 3) και αναφέρονται ενδιαφέροντα στοιχεία για τον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας, όπως επίσης και για τον όμιλο της ΔΕΗ Α.Ε. (Κεφάλαιο 4). Ακολουθούν η λεπτομερής περιγραφή εφαρμογής της μεθόδου στο δείγμα των σταθμών (Κεφάλαιο 5) και η ανάλυση των αποτελεσμάτων μέσω των σεναρίων αξιολόγησης (Κεφάλαιο 6). Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα, οι προτάσεις και σημεία που χρήζουν περεταίρω έρευνας (Κεφάλαιο 7).

Η μεθοδολογία που αξιοποιήθηκε περιελάμβανε: Άντληση στοιχείων από δευτερογενείς πηγές (Βιβλία, Δημοσιευμένα άρθρα, Διπλωματικές εργασίες, Σημειώσεις Μαθήματος, Οικονομικούς Απολογισμούς της ΔΕΗ καθώς επίσης και το διαδίκτυο), Πρωτογενή έρευνα για την άντληση δεδομένων και σχετικών πληροφοριών από την Διεύθυνση Εκμετάλλευσης

Θερμοηλεκτρικών Σταθμών (ΔΕΘ) της Γενικής Διεύθυνσης Παραγωγής (ΓΔ/Π) της ΔΕΗ και τέλος Προσωπική παρατήρηση.

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

1.1 Κατηγορίες μεθόδων μέτρησης

Η εφαρμογή μεθόδων μέτρησης απόδοσης – αποδοτικότητας (efficiency) δεν αποτελεί τάση της εποχής, αλλά διαχρονική και αέναη προσπάθεια του ανθρώπου προκειμένου να αξιολογεί ή να αξιολογείται και να βελτιώνει ή να βελτιώνεται. Ο σκοπός εφαρμογής μεθόδων μέτρησης απόδοσης – αποδοτικότητας έχουν ως αφετηρία την οικονομικότερη, αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία των οντοτήτων ή μονάδων παραγωγής και στον προσδιορισμό και τη διόρθωση πιθανών δυσλειτουργιών. Η επίτευξη οικονομικότερης και αποδοτικότερης λειτουργίας, ιδιαίτερα σε περιόδους οικονομικής ύφεσης, έχει άμεση ευεργετική επίδραση τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον της οντότητας. Οι Grosskopf & Färe (1998) παρουσιάζουν έναν ολοκληρωμένο οδηγό αναφοράς (Reference Guide) για τη μέτρηση αποδοτικότητας και παραγωγικότητας, ο οποίος μπορεί να αποτελέσει βασικό ή ολοκληρωμένο εργαλείο αναφοράς των δυο αυτών εννοιών.

Οι μέθοδοι μέτρησης απόδοσης – αποδοτικότητας που εφαρμόζονται διεθνώς διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: στις μετρήσεις χρηματοοικονομικής απόδοσης, στις παραμετρικές και μη παραμετρικές μεθόδους και στις μετρήσεις στρατηγικής (Zervopoulos & Palaskas, 2010).

Οι μέθοδοι μέτρησης Χρηματοοικονομικής Απόδοσης διακρίνονται σε:

- Μέθοδο Απόδοσης επί της Επένδυσης (Return on Investment – ROI).
- Μέθοδο Σχεδιασμού, Προγραμματισμού και Προϋπολογισμού (Planning, Programming and Budgeting System – PPBS).
- Μέθοδο Προϋπολογισμού Μηδενικής Βάσης (Zero-Based Budgeting System – ZBB).

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι Παραμετρικές και μη Παραμετρικές μέθοδοι:

- Στατιστικές Μέθοδοι (Παραμετρικές): Stochastic Frontier Analysis (SFA), Distribution-Free Approach (DFA), Thick Frontier Approach (TFA), Corrected Ordinary Least Square (COLS)
- Γραμμικές Μέθοδοι (Μη Παραμετρικές): Περιβάλλουσας Καμπύλης (Data

Envelopment Analysis - DEA) και η Free Disposal Hull (FDH) .

και τέλος, στην τρίτη κατηγορία κατατάσσονται οι μετρήσεις Στρατηγικής:

- Μέθοδος Καλών Πρακτικών ή Προτύπων Αναφοράς (Best Practices / Benchmarking) .
- Μέθοδος Ισορροπημένης Κάρτας Επιδόσεων (Balanced Scorecard – BSC) .

1.2 Παραμετρικές και μη παραμετρικές μέθοδοι

Στην κατηγορία αυτή γίνεται διάκριση σε παραμετρικές (parametric) και μη παραμετρικές (nonparametric), ενώ και οι δυο υποκατηγορίες βασίζονται στον γραμμικό προγραμματισμό.

Η μέτρηση της αποδοτικότητας, με αυτές τις μεθόδους, θεωρείται απλούστερη, καθώς εστιάζει στη διαδικασία μετασχηματισμού εισροών – εισόδων (inputs) σε εκροές – εξόδους (outputs) που εκφράζονται από μετρήσιμες παραμέτρους.

Στις μη παραμετρικές μεθόδους το όριο (frontier) καθορίζεται από τις πιο αποδοτικές οντότητες του δείγματος και αποτελούν εργαλεία ανάλυσης υψηλής αξιοπιστίας εφαρμοσμένα σε πολλές έρευνες στον χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας. Από τις δυο, η DEA είναι καταλληλότερη για μοντελοποίηση λειτουργικών διαδικασιών και αξιολόγησης αποδοτικότητας, κυρίως γιατί λαμβάνει υπόψη πολλές παραμέτρους ταυτόχρονα (Azadeh et.al. (2007); Çelen (2013); Cao & Yang (2009); Jamasb & Pollitt, (2001).

Ουσιαστικά, οι τεχνικές μέτρησης αποδοτικότητας αποτελούν ποσοτικές προσεγγίσεις προσδιορισμού καλών πρακτικών (Best Practices' Methods). Μέσω των συγκεκριμένων μεθόδων προσδιορίζονται «πρότυπα» βέλτιστης λειτουργίας για τις υπό εξέταση οντότητες ή επιχειρησιακές μονάδες. Ειδικότερα οι μονάδες – «πρότυπο» απαρτίζουν το ανώτατο ή βέλτιστο όριο που αποτελεί στόχο μετάβασης για τις υπόλοιπες υπό εξέταση μονάδες. Λόγω του προσδιορισμού ενός βέλτιστου ορίου από τις δύο προαναφερθείσες μεθόδους μέτρησης αποδοτικότητας αποκαλούνται βιβλιογραφικά «οριακές» μέθοδοι (frontier methods).

1.3 Η μέθοδος DEA

Έπειτα από ευρεία βιβλιογραφική επισκόπηση προκύπτει πως η μέθοδος της Περιβάλλουσας Καμπύλης (DEA) χρησιμοποιείται κατά κόρον στη μέτρηση αποδοτικότητας τόσο στο δημόσιο, όσο και στον ιδιωτικό τομέα. Ειδικότερα,

καταγράφονται εκατοντάδες περιπτώσεις εφαρμογών της DEA στην τοπική αυτοδιοίκηση, σε δημόσιες επιχειρήσεις ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών, μέσων μαζικής μεταφοράς, αεροδρόμια, στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση, σε νοσοκομεία, βιβλιοθήκες, τράπεζες, στρατιωτικές βάσεις κ.ά

Η DEA χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της σχετικής ή συγκριτικής αποδοτικότητας ενός συνόλου ομοειδών μονάδων, οι οποίες στη βιβλιογραφία της παρούσας μεθόδου καλούνται «Μονάδες Λήψης Αποφάσεων» (Decision Making Units – DMUs). Ο όρος «Μονάδα Λήψης Αποφάσεων» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τους Charnes και Cooper (1985), δύο εκ των δημιουργών της DEA (Charnes, Cooper και Rhodes το 1978) . Ως Μονάδα Λήψης Αποφάσεων νοείται η επιχείρηση, ο οργανισμός, η εκάστοτε νομική οντότητα που έχει τον έλεγχο της διαδικασίας μετατροπής των διατιθέμενων πόρων - εισροών - εισόδων (inputs) σε προϊόντα – υπηρεσίες – εκροές (outputs). Η συγκεκριμένη μονάδα θεωρείται ανεξάρτητη, ακόμη κι αν εντάσσεται σε ευρύτερη επιχειρηματική ή επιχειρησιακή δομή, και είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση των πόρων της καθώς και του παραγόμενου αποτελέσματος (Thanassoulis, 2001).

Η DEA βασίζεται στη θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού και χρησιμοποιεί ως δεδομένα είτε ποσότητες απασχολούμενων εισροών και παραγόμενων εκροών, είτε το κόστος των παραγωγικών συντελεστών και τα έσοδα από τη διάθεση των εκροών. Σε αντίθεση όμως με τον γραμμικό προγραμματισμό που αξιολογεί μια μόνο επιχειρησιακή μονάδα επιδιώκοντας τον προσδιορισμό του βέλτιστου επιπέδου απασχόλησης παραγωγικών συντελεστών και παραγωγής, η DEA αξιολογεί την αποδοτικότητα ενός συνόλου μονάδων (DMUs). Δηλαδή, συγκρίνει τη διαδικασία μετατροπής των εισροών σε εκροές της κάθε μονάδας με το σύνολο των μονάδων του δείγματος. Γι’ αυτό το λόγο, η εκτιμώμενη αποδοτικότητα που προκύπτει μέσω της DEA χαρακτηρίζεται σχετική ή συγκριτική (Zervopoulos & Palaskas, 2010).

Δεδομένων των εισροών που χρησιμοποιεί η κάθε μονάδα για την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας εκροών, η DEA προσδιορίζει ένα σύνολο μέγιστης παραγωγικής δυνατότητας (Production Possibility Set – PPS) το οποίο διαγραμματικά απεικονίζεται με τη μορφή καμπύλης. Πάνω στην καμπύλη αυτή βρίσκονται οι αποδοτικές επιχειρησιακές μονάδες ή μονάδες που εφαρμόζουν τη βέλτιστη μέθοδο μετατροπής των εισροών σε εκροές. Η καμπύλη, που δημιουργείται από την μέγιστη παραγωγική δυνατότητα, περιβάλλει όλες τις υπόλοιπες μονάδες του δείγματος οι οποίες είναι μη αποδοτικές συγκριτικά με εκείνες που εφαρμόζουν τις βέλτιστες πρακτικές.

Στόχος της DEA, σε πρώτο στάδιο, είναι ο προσδιορισμός των κύριων παραγωγικών

συντελεστών, καθώς και των δυνατοτήτων ενίσχυσης του επιπέδου παραγωγής της κάθε μονάδας λήψης αποφάσεων, και σε δεύτερο στάδιο, η ποσοτική προσέγγιση – μέτρηση της μείωσης του επιπέδου των εισροών και ενίσχυσης των εκροών ώστε οι μη αποδοτικές μονάδες να μεταβούν στην καμπύλη παραγωγικών δυνατοτήτων.

Για κάθε μη αποδοτική DMU υπάρχει τουλάχιστον μία αποδοτική που αποτελεί πρότυπο μετασχηματισμού – ομότιμη (peer) εισροών σε εκροές. Συνεπώς, η μέθοδος DEA παρέχει πληροφόρηση για κάθε DMU σχετικά με τους στόχους που χρειάζεται να επιτευχθούν ώστε η επιχειρησιακή μονάδα αναφοράς είτε να παραμείνει αποδοτική, είτε να εκπληρώσει το κριτήριο αποδοτικότητας.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA

Τη λύση στα προβλήματα που προκύπτουν κατά την μέτρηση αποδοτικότητας με βάση ετερόκλητα κριτήρια (μεταβλητές) έδωσε πρώτος ο Farrell το 1957 (Cook & Seiford, 2009) αναπτύσσοντας μια μη παραμετρική μέθοδο, η οποία ουσιαστικά δημιουργεί ένα κυρτό άνω όριο (convex frontier) ή περιβάλλουσα (envelopment). Το άνω όριο βασίζεται σε μερικές από τις προς εξέταση οντότητες ή μονάδες λήψης απόφασης (DMUs). Οι οντότητες, οι οποίες δημιουργούν το άνω αυτό όριο, θεωρούνται πιο αποδοτικές σε σύγκριση με τις υπόλοιπες και αποτελούν πλέον σημείο αναφοράς για την μέτρηση της σχετικής αποδοτικότητας των υπόλοιπων οντοτήτων. Η σχετική αποδοτικότητα των οντοτήτων αυτών προκύπτει μετρώντας την απόσταση από το σχηματιζόμενο άνω όριο. Η μέθοδος αυτή, που αργότερα αναπτύχθηκε περαιτέρω ως μέθοδος DEA (Cooper, 2006) έχει το πλεονέκτημα της μη απαίτησης εκ των προτέρων υποθέσεων μεταξύ των συντελεστών βαρύτητας και σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου και εξόδου, ενώ ουσιαστικά βασίζεται μόνο στα αρχικά δεδομένα (data driven) που συλλέγει ο ενδιαφερόμενος (Liu et al., 2010).

Οι Charnes, Cooper και Rhodes το 1978, χρησιμοποίησαν τον γραμμικό προγραμματισμό για να απλοποιήσουν τον υπολογισμό των σχετικών αποδόσεων και έτσι η μέθοδος άρχισε να γίνεται δημοφιλής. Τα μοντέλα στη μέθοδο DEA μπορούν να είναι προσανατολισμένα στην είσοδο ή την έξοδο (input ή output oriented) των DMUs. Πιο απλά στην ελαχιστοποίηση κόστους ή στη μεγιστοποίηση κέρδους. Τα αρχικά μοντέλα της DEA θεωρούσαν όλες τις DMU στο βέλτιστο μέγεθος ή αλλιώς σε σταθερές οικονομίες κλίμακας (Constant Returns to Scale, CRS). Στη συνέχεια οι Banker et al. (1984) επέκτειναν τη μέθοδο ώστε να συμπεριλάβουν DMUs μεταβλητής απόδοσης ως προς το μέγεθος (Variable Returns to Scale - VRS) επιτρέποντας έτσι τον διαχωρισμό της καθαρά τεχνικής αποδοτικότητας (Pure Technical Efficiency) από την αποδοτικότητα κλίμακας (Scale Efficiency).

2.1 Ανάλυση Μεθόδου

Η μέθοδος DEA είναι μια τεχνική για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας συγκρίσιμων μονάδων με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής τους. Βασική αρχική υπόθεση της μεθόδου είναι ότι πάντοτε υπάρχουν διαφορές στην αποδοτικότητα παρόμοιων μονάδων

και ότι αυτές πάντοτε είναι μετρήσιμες. Ακόμη και υπό σχεδόν ίδιες συνθήκες, μπορούν να εντοπιστούν διαφορές στον τρόπο διοίκησης των μονάδων γιατί πολύ απλά διαφέρει κάθε φορά αυτός που παίρνει τις αποφάσεις. Συνεπώς, κατά τους Golani, Roll, & Rybak (1994) εντοπίζουμε τις ομοειδείς μονάδες για τις οποίες έχει κάποιο νόημα η σύγκριση και στη συνέχεια προσπαθούμε να εντοπίσουμε τις διαφορές μεταξύ τους.

Ως μέθοδος, αποτελεί βασικό διαγνωστικό εργαλείο, το οποίο όμως δεν προτείνει στρατηγικές αλλαγών, ώστε μια DMU από μη αποδοτική να γίνει πλήρως αποδοτική (Barros & Peypoch , 2008). Η μέθοδος εντοπίζει ομότιμες – προς μίμηση (peers) DMUs για κάθε μη αποδοτική DMU. Συνήθως στις ομότιμες DMUs ανήκουν εκείνες οι DMUs που είναι πλήρως αποδοτικές και ομοιάζουν κατά κάποιο τρόπο με τη μη αποδοτική DMU. Οι μη αποδοτικές DMUs θα πρέπει να ακολουθήσουν τις πρακτικές διαχείρισης των ομότιμών τους αποδοτικών DMUs και να τις εκλαμβάνουν ως σημείο αναφοράς (benchmark), ώστε να βελτιώσουν την απόδοσή τους.

Μέσω της μεθόδου αναγνωρίζονται οι είσοδοι και οι έξοδοι που συμβάλλουν στη μη αποδοτικότητα της DMU. Ωστόσο, υπάρχει και η αντίθετη άποψη, σύμφωνα με την οποία η μέθοδος υπολογίζει μόνο τη σχετική αποδοτικότητα, οπότε δεν μπορεί να εντοπίσει όλες τις μη αποδοτικές DMUs, μιας και υπάρχει πιθανότητα όλες οι DMUs του δείγματος να είναι μη αποδοτικές. Η απάντηση στην άποψη αυτή έρχεται από τη φύση της μεθόδου, η οποία στηρίζεται στη συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) των DMUs. Δηλαδή, ακόμη και σε πλήρως μη αποδοτικό δείγμα, κάποιες DMUs θα είναι πιο αποδοτικές από τις υπόλοιπες, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την απόδοσή τους με βάση τις πρώτες.

Στην πιο απλή περίπτωση, όπου έχουμε μια μεταβλητή εισόδου (input) και μια μεταβλητή εξόδου (output), σε μια διαδικασία ή οργανισμό, η αποδοτικότητα (efficiency) ορίζεται απλά, όπως αναφέρουν και οι (Boussofiane et al. , 1991) ως εξής:

$$efficiency = \frac{output}{input} \qquad (2.1)$$

Στις περισσότερες περιπτώσεις ωστόσο υπάρχουν πολλές μεταβλητές εισόδου και εξόδου, οπότε η αποδοτικότητα δίνεται από πιο πολύπλοκο τύπο :

$$efficiency = \frac{\Sigma(συντελεστής_βαρύτητας * output)}{\Sigma(συντελεστής_βαρύτητας * input)} \qquad (2.2)$$

Οι σχετικές αποδοτικότητες στη μέθοδο DEA προκύπτουν από το πηλίκο του αθροίσματος των συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών εξόδου προς το άθροισμα των

συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών εισόδου. Ένα πηλίκο που γενικά χαρακτηρίζει την αποδοτικότητα μιας οντότητας ή ενός συστήματος.

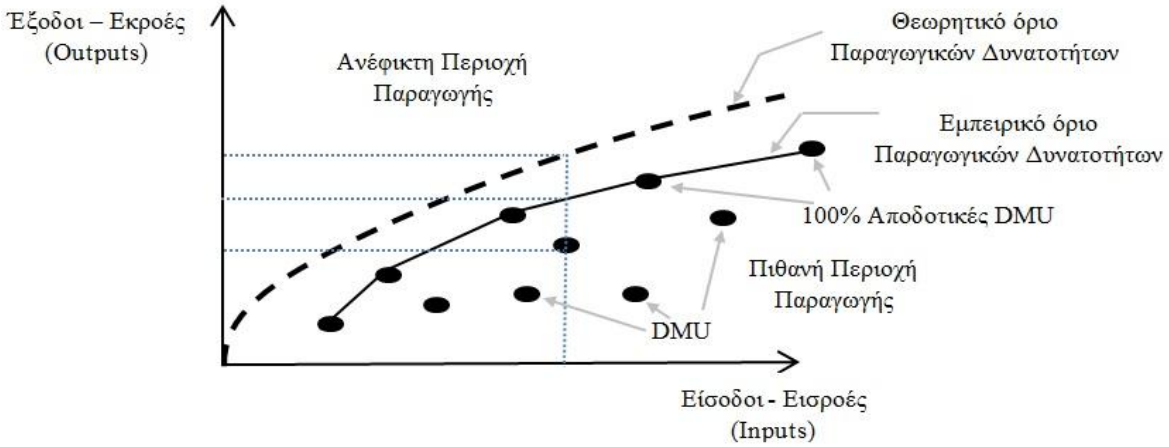
Σύμφωνα με τους Boussofiane et al. (1991) το αποτέλεσμα σχετικής αποδοτικότητας μιας DMU που προκύπτει από τη μέθοδο DEA αντιπροσωπεύει τη μέγιστη αναλογία των εισόδων (inputs) που θα έπρεπε η DMU να χρησιμοποιήσει αν ήταν αποδοτική (100%) ώστε να εξασφαλίσει τα συγκεκριμένα επίπεδα εξόδων (outputs). Η ερμηνεία αυτή αντιστοιχεί σε input oriented μοντέλα. Αντίστοιχα, στα output oriented μοντέλα είναι ο ελάχιστος παράγοντας με τον οποίο μπορούν να πολλαπλασιαστούν οι έξοδοί τους ώστε η DMU να είναι αποδοτική 100%, διατηρώντας τις εισόδους της σταθερές.

Σύμφωνα με τους δημιουργούς της μεθόδου DEA μια DMU θεωρείται πλήρως αποδοτική αν πλέον δεν είναι δυνατόν να αυξηθεί (μειωθεί) το επίπεδο μιας εξόδου (εισόδου) χωρίς την προηγούμενη αύξηση του επιπέδου μιας εισόδου ή μείωση παραγωγής τουλάχιστον μιας άλλης εξόδου. Αυτή είναι και η έννοια του ορίου παραγωγικών δυνατοτήτων (Hosseini & Hasanpour, 2011).

Το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων είναι στην ουσία το «φράγμα» που δεν μπορούμε να ξεπεράσουμε κατά τον υπολογισμό της τεχνικής αποδοτικότητας. Στην βραχυχρόνια περίοδο το όριο αυτό θεωρείται σταθερό. Γενικά το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων καθορίζεται από την εξέλιξη της επιστήμης, την εφαρμογή νέων τεχνολογιών στην παραγωγή, από το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο που ρυθμίζει την παραγωγή (π.χ. κανονισμοί ασφάλειας, περιβαλλοντικοί κανονισμοί, επέμβαση της πολιτείας στην λειτουργία των αγορών, ύπαρξη εργατικών σωματείων), καθώς και την συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού και την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων διοίκησης και οργάνωσης των επιχειρήσεων. Συνεπώς, είναι δύσκολο να οριστεί αντικειμενικά το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων αφού καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, ορισμένοι από αυτούς μετρήσιμοι, ενώ άλλοι ούτε καν παρατηρήσιμοι. Εξάλλου η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, ή μορφών διοίκησης ή η αλλαγή θεσμικού και νομοθετικού πλαισίου είναι διαδικασίες αρκετά χρονοβόρες γεγονός που δικαιολογεί την υπόθεση ότι το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων είναι μία άγνωστη, αλλά βραχυχρόνια σταθερή, συνάρτηση.

Σκοπός της μεθόδου DEA είναι να προσδιορίσει για κάθε DMU τους συντελεστές βαρύτητας που μεγιστοποιούν την αποδοτικότητά της, διατηρώντας τις αποδοτικότητες όλων των DMUs κάτω του 1 (για τα input oriented μοντέλα). Οι ζητούμενες μεταβλητές του προβλήματος είναι οι αποδόσεις των DMUs και οι συντελεστές βαρύτητας των εισόδων και εξόδων, ενώ τα δεδομένα του προβλήματος είναι οι μεταβλητές παρατήρησης (οι είσοδοι και έξοδοι των DMUs) για τις οποίες έχουν καταγραφεί στοιχεία.

Γενικά, η μέθοδος DEA δημιουργεί - γεννάει μια καμπύλη (ή επιφάνεια, ανάλογα με το πλήθος των μεταβλητών εισόδου-εξόδου που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα στο μοντέλο), η οποία ονομάζεται όριο (frontier), επάνω της βρίσκονται οι πλήρως αποδοτικές οντότητες του δείγματος και περιβάλλει –envelops (από όπου προκύπτει και το όνομα της μεθόδου) τις υπόλοιπες οντότητες, δηλαδή τις μη αποδοτικές.



Σχήμα 2.1: Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου DEA (Azadeh et al., 2007)

Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει με πολύ παραστατικό τρόπο, στην περίπτωση των δυο διαστάσεων, τι ακριβώς υπολογίζει η μέθοδος DEA.

Το θεωρητικό όριο αντιπροσωπεύει τη μέγιστη πιθανή παραγωγή (όριο παραγωγικών δυνατοτήτων), την οποία μπορεί να πετύχει μια DMU με οποιοδήποτε επίπεδο εισόδων (πόρων). Ωστόσο, η θεωρητική σχέση μεταξύ μεταβλητών εισόδου και εξόδου σε ένα σύστημα, είναι πολλές φορές δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να εκφραστεί μαθηματικά.

Συνεπώς, το θεωρητικό όριο δεν είναι συνήθως γνωστό. Γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιείται το εμπειρικό όριο, το οποίο υπολογίζεται βάσει των πραγματικών μεταβλητών (δεδομένων) των DMUs. Το εμπειρικό όριο περιλαμβάνει και συνδέει τις σχετικά αποδοτικότερες DMUs του δείγματος.

Αν η αποδοτικότητα όλων των DMUs του δείγματος είναι χαμηλή, τότε και το εμπειρικό όριο θα είναι χαμηλό σε σχέση με το θεωρητικό, το οποίο όμως είναι μη προσδιορίσιμο, γι’ αυτό και δεν είναι δυνατόν να αξιολογηθεί το δείγμα απόλυτα, παρά μόνο σχετικά.

Οι DMUs που βρίσκονται πάνω στο εμπειρικό όριο έχουν σχετική αποδοτικότητα ίση με 1 (100%), ενώ οι υπόλοιπες που είναι κάτω από το όριο είναι μη αποδοτικές και έχουν σχετική αποδοτικότητα μικρότερη του 1. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο τρόπος με τον οποίο ορίστηκε η αποδοτικότητα επιτρέπει την ανεξαρτητοποίησή της από τις μονάδες μέτρησης των εισροών και εκροών. Σύμφωνα και με τους Sarıca & Or (2007), οι λόγοι που προκαλούν δείκτες χαμηλής σχετικής αποδοτικότητας σε μια DMU (π.χ. σταθμό παραγωγής) μπορεί να είναι διαφορετικής προέλευσης για κάθε DMU ή συνδυασμός αιτιών.

Οι Barros & Peypoch (2008) θεωρώντας ότι όλες οι DMUs έχουν πρόσβαση στην ίδια τεχνολογία μετατροπής, παρατηρούν ότι δεν βρίσκονται όλες στο άνω όριο που καθορίζει η μέθοδος DEA, δηλαδή δεν είναι πλήρως αποδοτικές. Οι λόγοι μπορούν να είναι ενδογενείς, όπως εσωτερικά οικονομικά κίνητρα, που καθορίζονται από το ιδιοκτησιακό καθεστώς, ποιότητα διοίκησης κτλ ή / και εξωγενείς, όπως διαφορετικές μακροοικονομικές και δημογραφικές συνθήκες, κυβερνητικές ρυθμιστικές πολιτικές κλπ.

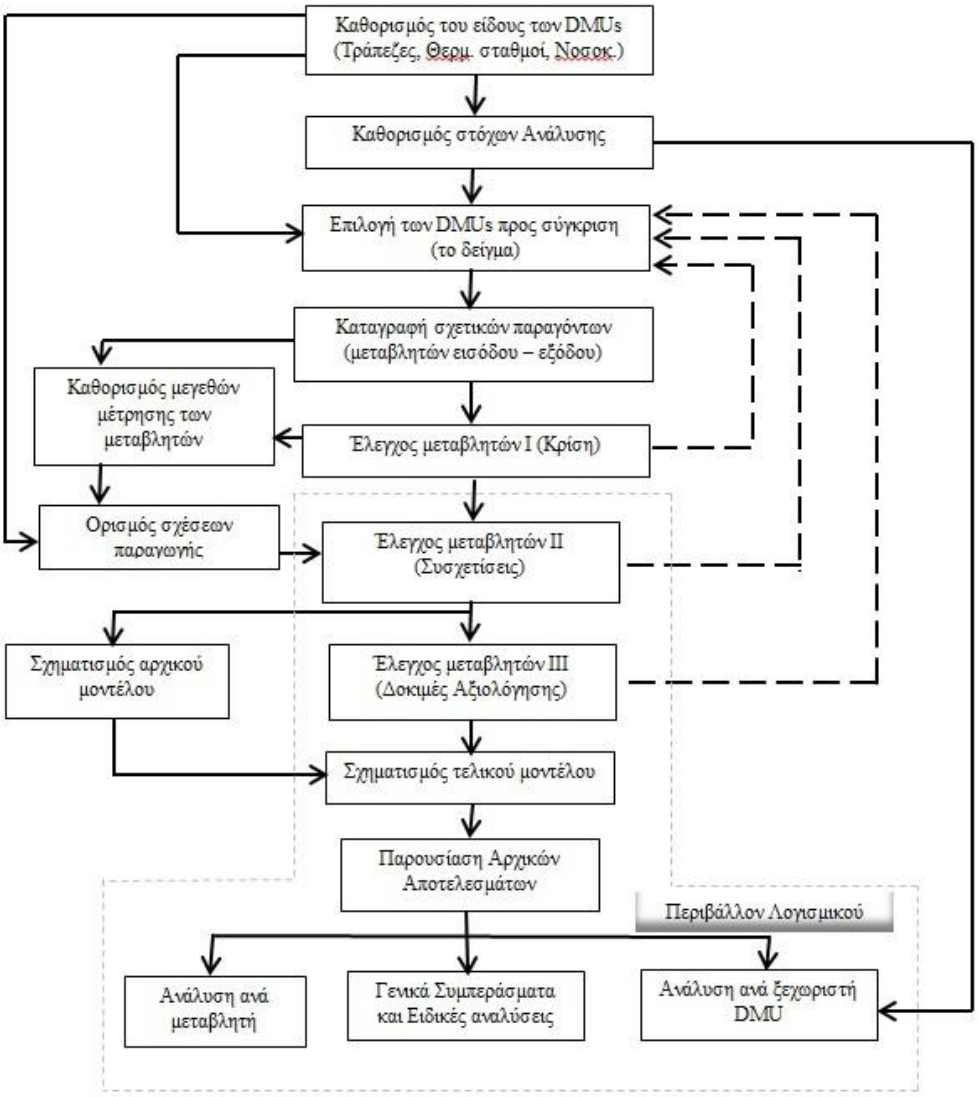
Έχοντας, μέσω της μεθόδου, τις σχετικές αποδοτικότητες των DMUs μπορεί κανείς να ορίσει μέσω του benchmarking (συγκριτικής αξιολόγησης) στόχους αποδοτικότητας, αλλά και ομότιμες (peers) DMUs, πλήρως αποδοτικές DMUs, τις οποίες θα μιμηθούν και οι υπόλοιπες.

2.2 Στάδια Εφαρμογής Μεθόδου

Τρία είναι τα βασικά στάδια για την εφαρμογή της μεθόδου DEA (Golani et al., 1994):

1. Η επιλογή των DMUs προς ανάλυση - αξιολόγηση.
2. Ο καθορισμός των μεταβλητών εισόδου και εξόδου που είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας των DMUs.
3. Η εφαρμογή των επιλεγμένων μοντέλων DEA και η ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια περιλαμβάνει αρκετά βήματα, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου DEA (Golani et al., 1994)

2.3 Μεθοδολογία επιλογής μεταβλητών εισόδων – εξόδων

Θα πρέπει να επισημανθεί, η σημαντικότητα επιλογής των κατάλληλων μεταβλητών εισόδου – εξόδου. Το αποτέλεσμα αξιολόγησης που θα προκύψει εξαρτάται κατά πολύ από τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο DEA (Chen et al., 2013).

Η χρήση των κατάλληλων μεταβλητών εισόδου - εξόδου αποτελεί ένα από τα κρισιμότερα σημεία της μεθόδου, προκειμένου να καταλήξουμε σε μια επιτυχημένη εφαρμογή. Με βάση τις μεταβλητές αυτές θα προκύψει η σχετική αποδοτικότητα της κάθε οντότητας, βάσει της οποίας θα γίνει τελικά η αξιολόγηση.

Αρχικά θα πρέπει να γίνεται μια λίστα με πιθανές μεταβλητές, ενώ καλή ιδέα είναι να δημιουργείται και ένας πίνακας συχνοτήτων των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στη

βιβλιογραφία (Hosseini & Hasanpour, 2011). Η επιλογή των μεταβλητών εισόδου - εξόδου θα πρέπει να βασίζεται στη διαθεσιμότητα στοιχείων, στην προηγούμενη χρήση αυτών βάσει βιβλιογραφικής έρευνας και, τέλος, στις προτάσεις των ειδικών επάνω σε κάθε αντικείμενο (Barros & Peypoch, (2008); Zhou et al., (2008); Jamasb & Pollitt, (2001); Barros J., (2013); Liu et al., (2010)).

Για τον έλεγχο καταλληλότητας των μεταβλητών εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, μερικές από τις οποίες είναι (Chen et al. (2013); Chien et al. (2003); Golany & Roll (1989)):

- Η ανάλυση πολυσυγραμμικότητας (multicollinearity analysis), που εξετάζει την καταλληλότητα των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών εισόδου, αλλά και μεταξύ των μεταβλητών εξόδου.
- Η διάγνωση ισοτονικότητας (isotonicity diagnosis), η οποία ελέγχει τη θετικότητα των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών (όσο μεγαλύτερη η συσχέτιση εισόδου-εξόδου τόσο το καλύτερο).
- Η ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis) μειώνοντας ή αυξάνοντας το πλήθος των μεταβλητών διαδοχικά για τον έλεγχο μεταβολής της μετρούμενης αποδοτικότητας.
- Η τεχνική bootstrap για ανάλυση ευαισθησίας στα αποτελέσματα της DEA ((Tsolas, 2010); (Zhou κ.ά., 2008)).
- Ο πρακτικός κανόνας (rule of thump) για τη σχέση πλήθους μεταβλητών και οντοτήτων (DMUs) (Golany & Roll (1989); Barros & Peypoch (2008); Liu et al. (2010)).
- Οι έλεγχοι διαστάσεων (dimensionality tests)) αυξομείωσης των εισόδων και των εξόδων (Cooper et al., 2004).

Κατά την διερεύνηση μεταβλητών, τόσο στον κλάδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και γενικά, σύμφωνα με τους Golani et al. (1994) θα πρέπει να εξετάζονται διάφοροι παράγοντες των DMUs όπως:

- Χαρακτηριστικά του πεδίου που θα αξιολογηθεί (π.χ. ηλικία εξοπλισμού, μετεωρολογικές συνθήκες).
- Παράμετροι λειτουργίας (π.χ. παραγόμενη ενέργεια, διαθεσιμότητα, κατανάλωση καυσίμου).
- Παράμετροι Διοίκησης (π.χ. οργανωσιακή δομή, προσωπικό).

Οι ίδιοι προτείνουν 3 στάδια φιλτραρίσματος πριν από την τελική επιλογή των μεταβλητών:

- Προκαταρκτική επιλογή (Preliminary Judgmental Process): Εμπλοκή ειδικών για την επιλογή των καταλληλότερων.
- Ανάλυση παλινδρόμησης (Regression Analysis): Έλεγχος - συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και αποκλεισμός των αρνητικά σχετιζόμενων.
- Προκαταρκτική Ανάλυση DEA: Δοκιμές ομάδων μεταβλητών στη μέθοδο DEA και επικράτηση των καταλληλότερων με βάση το ποιες πετυχαίνουν καλύτερη ταξινόμηση μεταξύ των DMUs.

Σύμφωνα με τους Golani et al. (1994) μέσω της ανάλυσης συσχέτισης και παλινδρόμησης των μεταβλητών προκύπτουν ισχυρές (strong) και ασθενείς (weak) μεταξύ τους σχέσεις. Οι μεν πρώτες χαρακτηρίζουν κυρίως σχέσεις μεταξύ μεταβλητών εισόδου και εξόδου, ενώ οι δεύτερες μεταξύ μεταβλητών εισόδου - εισόδου ή εξόδου - εξόδου. Αν μια μεταβλητή, που επιλεχθεί να χρησιμοποιηθεί, έχει ασθενή συσχέτιση με όλες τις υπόλοιπες, θα πρέπει να επανεξεταστεί και πιθανώς να αποκλειστεί. Ωστόσο, αν μια μεταβλητή έχει ισχυρή συσχέτιση με κάποια άλλη (μεταβλητές εισόδου μεταξύ τους ή εξόδου μεταξύ τους), θα πρέπει και πάλι να επανεξεταστεί η συμμετοχή στο μοντέλο, γιατί ουσιαστικά η πληροφορία αυτής της μεταβλητής περιέχεται και στην ισχυρά συσχετισμένη με αυτή μεταβλητή.

2.4 Σχέση πλήθους μεταβλητών και οντοτήτων (DMUs)

Οι τιμές αποδοτικότητας που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της μεθόδου DEA ισχύουν μόνο μεταξύ των συγκεκριμένων DMUs (δείγμα αξιολόγησης). Μπορεί μια DMU να είναι πλήρως αποδοτική συγκρινόμενη με κάποιο δείγμα DMUs και πολύ λίγο αποδοτική αν συγκριθεί με άλλο δείγμα. Επίσης, αν το δείγμα αποτελείται από λίγες DMUs, τότε η δυνατότητα διάκρισης μεταξύ τους μειώνεται, ενώ αντίστροφα αν οι επιλεγμένες μεταβλητές, βάσει των οποίων θα συγκριθούν οι DMUs, είναι λίγες, αυξάνεται η ικανότητα διάκρισης της μεθόδου.

Σύμφωνα με τους Golany & Roll (1989) η αρχική λίστα των πιθανών μεταβλητών θα πρέπει να είναι όσο γίνεται περισσότερο ευρύτερη και να περιλαμβάνει μεταβλητές πλήρως ή μερικώς ελεγχόμενες από εξωγενείς παράγοντες.

Ωστόσο, με βάση τη φύση της μεθόδου DEA, προσθέτοντας επιπλέον μεταβλητές όχι μόνο αυξάνονται οι δείκτες σχετικής αποδοτικότητας (scores), αλλά δυνητικά αποκρύπτονται και ορισμένες ελλείψεις αποδοτικότητας κάποιων DMUs (Liu et al., 2013).

Σύμφωνα με τους Tai et al. (2010), το αυξημένο πλήθος χρησιμοποιούμενων μεταβλητών (εισόδων - εξόδων) στην εφαρμογή της DEA ναι μεν προκαλεί μείωση στις DMUs που θα διαγνώσουμε μη αποδοτικές, ωστόσο μπορεί να γίνει καλύτερη διάγνωση των αιτιών έλλειψης αποδοτικότητας. Οπότε θα πρέπει να υπάρξει σχετική ισορροπία στο πλήθος των μεταβλητών και στο πλήθος των DMUs.

Όταν συμπεριλαμβάνονται μη επιθυμητές έξοδοι (π.χ. ρύποι), σύμφωνα με τους Yang et al. (2007), υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στα scores αποδοτικότητας με αυτά των παραδοσιακών μοντέλων (με επιθυμητές εξόδους μόνο) DEA. Το παραδοσιακό μοντέλο τείνει να έχει μικρότερα scores αποδοτικότητας όπως επίσης και λιγότερες πλήρως αποδοτικές μονάδες. Όλα αυτά έρχονται σε συμφωνία με τη φύση της μεθόδου DEA, σύμφωνα με την οποία, όσο αυξάνονται οι μεταβλητές, αυξάνονται και οι πλήρως αποδοτικές μονάδες. Συνεπώς, περιλαμβάνοντας στο μοντέλο μη επιθυμητές εξόδους δίνεται πλεονέκτημα στους σταθμούς, οι οποίοι παράγουν λιγότερες από αυτές (π.χ. ρύπους). Γενικά, αναμένεται μείωση της μη αποδοτικότητας των μονάδων, δηλαδή αύξηση των scores.

Για το πλήθος χρησιμοποιούμενων μεταβλητών και το πλήθος οντοτήτων (DMUs) προς αξιολόγηση με τη μέθοδο DEA προτείνεται, ένας πρακτικός κανόνας (rule of thump) προκειμένου το επίπεδο διάκρισης μεταξύ των DMUs να είναι ικανοποιητικό. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, το πλήθος των DMUs θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το max $\{m*s, 3*(m+s)\}$, όπου m το πλήθος των χρησιμοποιούμενων εισόδων (inputs) και s το πλήθος των εξόδων (outputs) αντίστοιχα (Cooper (2006); Tsolas (2010); Färe et al. (2004)).

Αντίστοιχα, οι Tai et al. (2010), Zhou et al. (2008), Azadeh et al. (2007), Chien et al. (2003) και Golany & Roll (1989), προτείνουν διαφορετικό ελάχιστο πλήθος DMUs, σύμφωνα με το οποίο οι DMUs θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $2*(m+s)$.

2.5 Επιλογή κατάλληλου μοντέλου

Μία DMU παρουσιάζει Σταθερές Αποδόσεις Κλίμακας (CRS), όταν πολλαπλασιάζοντας όλες τις εισόδους (εισροές) με έναν αριθμό α, πολλαπλασιάζονται παράλληλα και όλες οι έξοδοι (εκροές) με τον ίδιο αριθμό ενώ μία DMU παρουσιάζει Μεταβαλλόμενες Αποδόσεις Κλίμακας (VRS) όταν, πολλαπλασιάζοντας όλες τις εισόδους με $\alpha > 1$, πολλαπλασιάζονται παράλληλα όλες οι έξοδοι με $\beta > 1$, αλλά ισχύει $\beta \neq \alpha$. Πιο συγκεκριμένα μία Τεχνολογία Παραγωγής χαρακτηρίζεται από:

- Φθίνουσες Αποδόσεις Κλίμακας (DRS) όταν $\beta < \alpha$
- Αύξουσες Αποδόσεις Κλίμακας (IRS) όταν $\beta > \alpha$

Το αρχικό μοντέλο της μεθόδου προτάθηκε από τους Charnes, Cooper και Rhodes (1978), πήρε το όνομά του από τα αρχικά τους (CCR) και θεωρεί Σταθερές Αποδόσεις Κλίμακας (CRS). Μετέπειτα μελέτες πρότειναν εναλλακτικές τέτοιες σχέσεις με κυρίαρχη αυτή των Banker, Charnes και Cooper (1984), εξ ου και το όνομα BCC, βάσει της οποίας προσεγγίζονται οι Μεταβαλλόμενες Αποδόσεις Κλίμακας (VRS). Υπάρχουν και άλλα μοντέλα που προτάθηκαν αργότερα και αναφέρονται επιγραμματικά: Multiplicative, Additive. Για λεπτομερή αναφορά στα μοντέλα αυτά μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τους Cooper (2006), Cook (2005), Sherman & Zhu (2006), Thanassoulis (2001) και Cook & Seiford (2009).

Η επιλογή των μοντέλων, σύμφωνα και με τους Barros & Peypoch (2008), γίνεται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- να ικανοποιούν ένα σύνολο επιθυμητών μαθηματικών ιδιοτήτων.
- να είναι σχετικά εύκολα στον υπολογισμό.
- να είναι άμεσα στην ερμηνεία και
- να είναι τα πιο δημοφιλή στην πράξη.

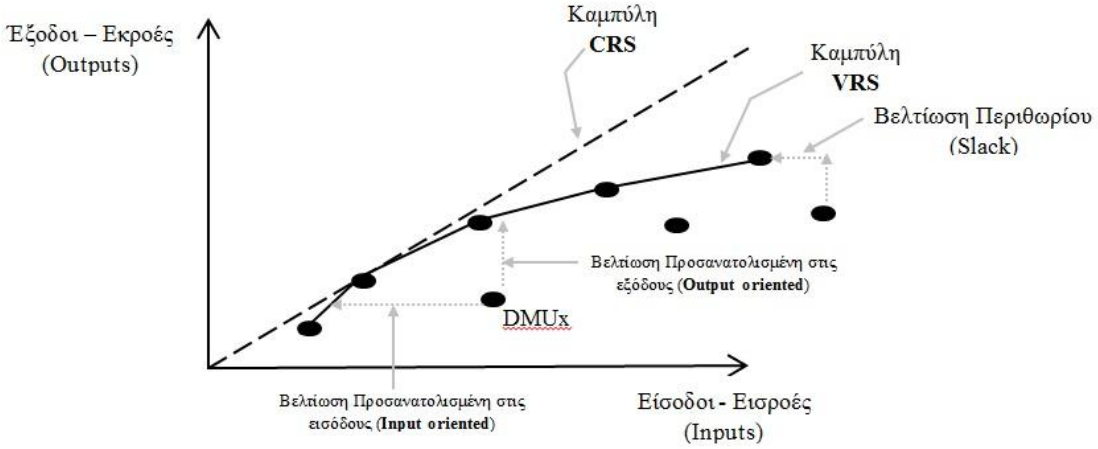
Αυτοί είναι και οι λόγοι που οδήγησαν στην παρούσα εργασία να γίνει χρήση των δυο πρώτων μοντέλων (CCR και BCC).

Το μοντέλο CCR υπολογίζει τη Συνολική Τεχνική Αποδοτικότητα (Overall Technical Efficiency - TE) των DMUs, η οποία συγκροτείται από την Καθαρά Τεχνική Αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency - PTE) και την Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency - SE).

Το μοντέλο BCC υπολογίζει μόνο την Καθαρά Τεχνική Αποδοτικότητα (PTE) της κάθε DMU, η οποία είναι μεγαλύτερη ή ίση από την Overall Technical Efficiency του μοντέλου CCR. Η Αποδοτικότητα Κλίμακας (SE) της κάθε DMU, η οποία μας δείχνει κατά πόσο το μέγεθος της κάθε DMU είναι βέλτιστο ή όχι, προκύπτει από το πηλίκο της Συνολικής Τεχνικής Αποδοτικότητας και της Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας. Δηλαδή η σχέση που συνδέει τις 3 σχετικές αποδόσεις είναι:

$$SE = \frac{TE}{PTE} \text{ και } PTE \geq TE \qquad (2.3)$$

Μπορεί κανείς να ξεχωρίσει τα δυο μοντέλα CCR και BCC (στην απλή περίπτωση των 2 διαστάσεων) από την καμπύλη που δημιουργεί την περιβάλλουσα περιοχή. Σύμφωνα με το Σχήμα 2.3 η περιβάλλουσα καμπύλη μπορεί να είναι σταθερής κλίσης (CRS) ή μεταβλητής κλίσης (VRS), πράγμα το οποίο καθορίζεται από το μοντέλο που χρησιμοποιείται, το CCR ή το BCC αντίστοιχα.



Σχήμα 2.3: Γραφική διάκριση μεταξύ των μοντέλων CCR (CRS) και BCC (VRS) της μεθόδου DEA (Azadeh et al., 2007)

Στην περίπτωση του μοντέλου CCR (CRS), το μέγεθος της DMU δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της σχετικής αποδοτικότητας. Η καμπύλη της περιβάλλουσας έχει τη μορφή ευθείας γραμμής που περνάει από την αρχή των αξόνων και διέρχεται από την πρώτη πλήρως αποδοτική DMU, καθώς αυτή πλησιάζει το σύνολο των DMUs του δείγματος. Τα μοντέλα που υποθέτουν CRS καμπύλη περιβάλλουσας (σταθερή κλίση) δέχονται ότι μια αύξηση που θα συμβεί στις εισόδους (inputs) των DMUs, θα έχει ως αποτέλεσμα ανάλογη αύξηση και στις εξόδους (outputs) των DMUs. Δηλαδή, οι μικρού μεγέθους DMUs μπορούν να παράγουν με την ίδια αναλογία (σχέση) εισόδων και εξόδων

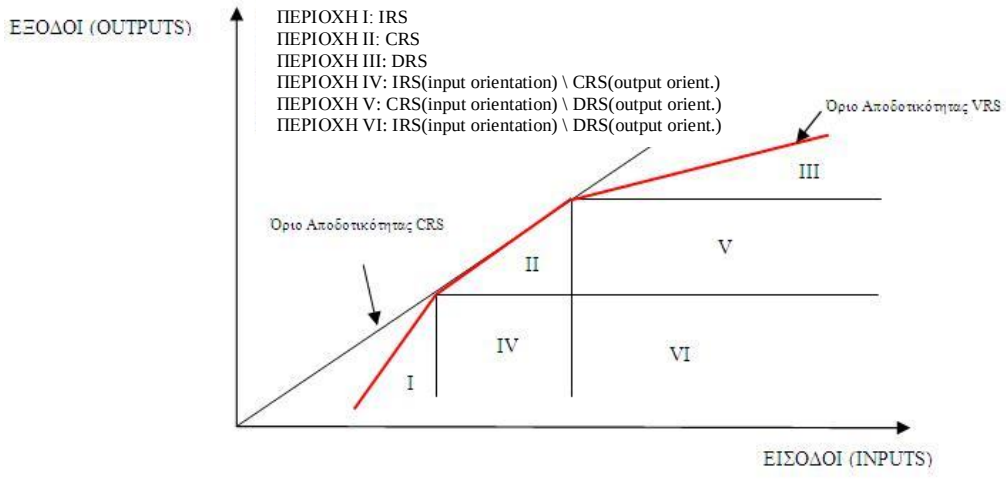
όπως και οι μεγαλύτερες DMUs και αυτό γιατί δεν υφίσταται η έννοια της οικονομίας κλίμακας εξαιτίας του μεγέθους. Συνεπώς, διπλασιασμός σε όλες τις εισόδους, οδηγεί σε διπλασιασμό όλων των εξόδων.

Ωστόσο, μια τέτοια υπόθεση δεν ισχύει όταν είναι διαπιστωμένη η έννοια της οικονομίας κλίμακας στις DMUs που θέλουμε να αξιολογήσουμε. Όταν για παράδειγμα ισχύει αύξουσα οικονομία κλίμακας (Increasing Returns to Scale) διπλασιάζοντας τις εισόδους σε μια DMU, τότε αυτή θα παράγει περισσότερα από το διπλάσιο στις εξόδους της και αυτό γιατί η διαχείριση της DMU είναι τέτοια που μπορεί να κατανέμει τους πόρους της πιο αποτελεσματικά. Στην περίπτωση όμως που μια DMU είναι πολύ μεγάλη, μπορεί να επέλθει η φθίνουσα οικονομία κλίμακας (Decreasing Returns to Scale), σύμφωνα με την οποία διπλασιάζοντας τις εισόδους θα παράγονται λιγότερα από το διπλάσιο στις εξόδους της.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε, ότι αποτελεί πλεονέκτημα για μια DMU να εξασφαλίσει ότι λειτουργεί στο βέλτιστο μέγεθος, ούτε δηλαδή πολύ μικρό αν βρίσκεται σε περιοχή αύξουσας απόδοσης, αλλά ούτε και πολύ μεγάλο αν βρίσκεται σε περιοχή φθίνουσας απόδοσης.

Συνεπώς, όταν το μέγεθος της DMU επηρεάζει την ικανότητά της να παράγει αποδοτικά (με αύξοντα ή φθίνοντα ρυθμό), τότε το μοντέλο CRS είναι ακατάλληλο για χρήση και έρχεται το μοντέλο VRS να αποδώσει καλύτερα τη σχέση μεγέθους και αποδοτικότητας.

Η καμπύλη VRS περιβάλλει τις DMUs συνδέοντας τις αποδοτικότερες από αυτές και περιλαμβάνει μια DMU από την οποία διέρχεται και η CRS. Το μοντέλο VRS επιτρέπει μη ανάλογη μεταβολή στις εξόδους από ότι συμβαίνει στις εισόδους. Αύξουσες οικονομίες κλίμακας (Increasing Returns to Scale - IRS) συμβαίνουν κάτω από το σημείο τομής των καμπυλών CRS και VRS, ενώ φθίνουσες (Decreasing Returns to Scale - DRS) πάνω από το σημείο αυτό (Σχήμα 2.4). Η καμπύλη CRS διέρχεται από το σημείο όπου οι DMUs παρουσιάζουν μέγιστο λόγο εξόδων προς εισόδους (μέγιστη κλίση) με δεδομένο το σχετικό μέγεθός τους.



Σχήμα 2.4: Περιοχές οικονομίας κλίμακος για τα μοντέλα DEA (Gregoriou & Zhu, 2005)

Σύμφωνα με τους Barros & Peypoch (2008), η σχετική αποδοτικότητα που προκύπτει από το μοντέλο BCC (PTE) συνδέεται άμεσα με την ικανότητα διαχείρισης - διοίκησης της DMU. Η ερμηνεία αυτή προκύπτει με βάση τη διαφορετικότητα των μοντέλων CCR και BCC. Ενώ το μοντέλο CCR αναδεικνύει τη Συνολική Τεχνική ανεπάρκεια (inefficiency) της κάθε DMU, το BCC μοντέλο διακρίνει μεταξύ τους την Τεχνική Αποδοτικότητα (TE) και την Αποδοτικότητα Κλίμακας (SE) (Golany & Roll, 1989). Βασιζόμενοι σε αυτή τη διάκριση και θεωρώντας ότι η αποδοτικότητα οφείλεται σε διαφορετικά προσόντα - ικανότητες και στην επίπτωση του μεγέθους της DMU και δεδομένου ότι η επίπτωση του μεγέθους κλίμακας αποδίδεται από την Αποδοτικότητα Κλίμακας, καταλήγουμε ότι ο δείκτης αποδοτικότητας PTE μπορεί να ερμηνευτεί ως ικανότητα διοίκησης της DMU.

2.6 Η έννοια προσανατολισμού στην αποδοτικότητα

Η κάθε ορθολογικά λειτουργούσα μονάδα παραγωγής θα επιθυμούσε να επιτύχει έναν στόχο, ο οποίος μπορεί να διατυπωθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους (Γιαννακόπουλος, 2009):

- Να παράγει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλήθος εξόδων (εκροών), από μία δεδομένη ποσότητα εισόδων (εισροών) ή
- Να χρησιμοποιήσει όσο το δυνατόν μικρότερο πλήθος εισόδων (εισροές) , για να παράγει μία συγκεκριμένη ποσότητα εξόδων (εκροών).

Οι δύο αυτές όψεις της αποδοτικότητας μιας οντότητας ορίζουν και την οπτική γωνία παρατήρησης της αξιολόγησής της. Στην πρώτη περίπτωση, η αποδοτικότητα ορίζεται προσανατολισμένη στις εξόδους – εκροές (outputs) δηλαδή output oriented, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ορίζεται προσανατολισμένη στις εισόδους – εισροές (inputs) δηλαδή input oriented.

Η output oriented αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας Α, είναι η σχετική αποδοτικότητα αυτής της μονάδας ως προς την ιδανική μονάδα Α*, η οποία χρησιμοποιεί την ίδια ποσότητα εισροής με την Α ($\chi_A = \chi_A^*$), λειτουργεί όμως στο ανώτατο όριο παραγωγικών δυνατοτήτων, βάση της υφιστάμενης τεχνολογίας παραγωγής.

Αντίστοιχα, η input oriented αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας Α, είναι η σχετική παραγωγικότητα αυτής της μονάδας ως προς την παραγωγικότητα της ιδανικής παραγωγικής μονάδας Α*, η οποία παράγει την ίδια ποσότητα εκροής με την Α ($y_A = y_A^*$), λειτουργεί όμως, όπως και στη προηγούμενη περίπτωση, στο ανώτατο όριο παραγωγικών δυνατοτήτων, με βάση την υφιστάμενη τεχνολογία παραγωγής.

Ο προσανατολισμός του ακολουθούμενου μοντέλου σχετίζεται με την κατεύθυνση που μια μη αποδοτική DMU προσεγγίζει το όριο παραγωγικών δυνατοτήτων (καμπύλη CRS ή VRS), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Η κατεύθυνση ορίζεται από το αν σκοπός της DMU είναι η αύξηση των εξόδων (παραγωγή) διατηρώντας σταθερές τις εισόδους (output orientation) ή η μείωση των εισόδων (πόρων) διατηρώντας σταθερές τις εξόδους (input orientation) κατά τη διαδικασία βελτιστοποίησής τους.

Η επιλογή output oriented μοντέλου ταιριάζει καλύτερα στις περιπτώσεις κρατικών φορέων, ειδικά αυτών που παρέχουν υπηρεσίες, όπου το ζητούμενο είναι η αύξηση απόδοσης παρεχόμενων υπηρεσιών, ενώ ταυτόχρονα τίθενται περιορισμοί (π.χ. προϋπολογισμού), οι οποίοι δεν επιτρέπουν την αύξηση των πόρων (εισροών).

Η αποδοτικότητα στην περίπτωση των input oriented μοντέλων κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ στην περίπτωση των output oriented μεταξύ 1 και άπειρου. Και στις δυο περιπτώσεις το 1 αντιστοιχεί στις πλήρως αποδοτικές DMUs. Επίσης, αν μια DMU είναι μη αποδοτική θεωρώντας input oriented μοντέλο, τότε θα είναι μη αποδοτική και στο output oriented μοντέλο.

Ανακεφαλαιώνοντας, ποιος προσανατολισμός είναι καταλληλότερος κάθε φορά; Στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CRS), δεν έχει σημασία αφού και οι δύο προσανατολισμοί δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Τι γίνεται όμως στην περίπτωση των μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (VRS); Στη σύγχρονη οικονομική έρευνα έχει

επικρατήσει να επιλέγεται το είδος της τεχνικής αποδοτικότητας με βάση το εάν μια παραγωγική μονάδα επηρεάζει πρωτίστως τις εισροές ή τις εκροές της.

Στον αγροτικό τομέα για παράδειγμα, οι παραγωγικές μονάδες επηρεάζουν κυρίως τις ποσότητες των εισροών τους από τις οποίες προσπαθούν να παράγουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ποσότητες εκροών. Σε αυτή την περίπτωση η τεχνική αποδοτικότητα προσανατολισμένη στις εκροές είναι πιο κατάλληλη.

Αντίθετα, σε άλλους παραγωγικούς κλάδους, για παράδειγμα στην βαριά βιομηχανία, με αγορές προϊόντων ολιγοπωλιακές ή μονοπωλιακές, οι παραγωγικές μονάδες αποφασίζουν πρωτίστως για τις ποσότητες εκροών που επιθυμούν να παράγουν και εν συνεχεία φροντίζουν αυτές οι ποσότητες να παράγονται με όσο το δυνατόν μικρότερες ποσότητες εισροών. Στην περίπτωση αυτή η τεχνική αποδοτικότητα προσανατολισμένη στις εισροές είναι καταλληλότερη.

2.7 Το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται, με την μαθηματική τους διατύπωση, τα βασικά μοντέλα CCR και BCC της μεθόδου DEA, τα οποία χρησιμοποιούνται και στην παρούσα εργασία.

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη μέθοδο DEA, μπορεί κανείς να μελετήσει τους Cooper (2006), Cook (2005), Sherman & Zhu (2006), Thanassoulis (2001) και Cook & Seiford (2009), ενώ για σύντομη και απλή αναφορά στην μέθοδο τον Anderson et al. (2011).

Σύμφωνα με τους Azadeh et al. (2007) και Cook & Seiford (2009), το αρχικό, σε μορφή κλάσματος (fractional), μοντέλο CCR αποδίδει τις σχετικές αποδόσεις n πλήθους DMUs (j=1, …, n) που η κάθε μια έχει m εισόδους (X_{1j}, X_{2j}, …, X_{mj}) και s εξόδους (y_{1j}, y_{2j}, …, y_{mj}). Ο υπολογισμός γίνεται μεγιστοποιώντας το λόγο αθροίσματος των συντελεστών βαρύτητας των εξόδων προς το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας των εισόδων:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \theta = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \le 1 \;, \quad j = 1,\ldots, n, \quad r = 1,\ldots, s \\ & u_r, v_i \ge 0, \; i = 1,\ldots, m, \quad r = 1,\ldots, s \end{aligned} \tag{2.4}$$

Στο μοντέλο 2.4 η αποδοτικότητα της DMU είναι θ, ενώ u_r και v_i οι συντελεστές βαρύτητας. Για λόγους ευκολίας υπολογισμού το μοντέλο σε μορφή κλάσματος (fractional) μετατρέπεται σε γραμμική μορφή (linear) και προκύπτει ο τύπος 2.5:

$$\begin{aligned} &Max\ \theta = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} \\ &s.t. \quad \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0\ , \quad j = 1,...n, \\ &\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1 \\ &u_r, v_i \ge \varepsilon,\ i = 1,...,m, r = 1,...,s \end{aligned} \tag{2.5}$$

Όπου, ε είναι ένας πολύ μικρός αριθμός (infinitesimal) ο οποίος εισάγεται για να εξασφαλίσει ότι όλοι οι συντελεστές θα έχουν θετικές τιμές ως λύση.

Το μοντέλο 2.6 υπολογίζει τις σχετικές αποδόσεις ελαχιστοποιώντας τις εισόδους και διατηρώντας τις εξόδους σταθερές. Από το δυϊκό (dual) πρόβλημα του τύπου 2.5 προκύπτει το αντίστοιχο γραμμικό πρόβλημα CCR προσανατολισμένο στις εισόδους (CRS):

$$\begin{aligned} &Min\ \theta \\ &s.t. \quad \theta x_{io} \ge \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}\ , \quad i = 1,...m, \\ &y_{ro} \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \quad r = 1,...,s \\ &\lambda_j \ge 0 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Στην περίπτωση που το CCR μοντέλο είναι προσανατολισμένο στις εξόδους, το γραμμικό μοντέλο παίρνει τη μορφή (2.7):

$$
\begin{aligned}
&Max\ \theta \\
&s.t. \quad x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}\ , \quad i = 1,...m, \\
&\theta\, y_{ro} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \quad r = 1,...,s \\
&\lambda_j \geq 0
\end{aligned}
\tag{2.7}
$$

Αν στο μοντέλο 2.6 προστεθεί ο περιορισμός Σλj=1 (j=1, …, n) προκύπτει το BCC (VRS) μοντέλο 2.8 προσανατολισμένο στις εισόδους:

$$
\begin{aligned}
&Min\ \theta \\
&s.t. \quad \theta\, x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}\ , \quad i = 1,...m, \\
&y_{ro} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \quad r = 1,..., s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \\
&\lambda_j \geq 0 \qquad , j = 1,..., n
\end{aligned}
\tag{2.8}
$$

Ενώ, το αντίστοιχο BCC (VRS) μοντέλο προσανατολισμένο στις εξόδους, προκύπτει κατά τον ίδιο τρόπο από το μοντέλο 2.7 και έχει τη μορφή:

$$
\begin{aligned}
&Max\ \theta \\
&s.t. \quad x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}\ , \quad i = 1,...m, \\
&\theta\, y_{ro} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \quad r = 1,..., s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \\
&\lambda_j \geq 0 \qquad , j = 1,..., n
\end{aligned}
\tag{2.9}
$$

2.8 Βελτιστοποίηση μεθόδου

Οι Boussofiane et al. (1991) θεωρούν απαραίτητο τον επιπλέον έλεγχο και την ταξινόμηση μεταξύ των αποδοτικών (100%) DMU, ώστε να τελειοποιηθεί η κατάταξη των DMUs και να αποκλειστεί η αδυναμία της μεθόδου να χρησιμοποιεί μόνο κάποιες εισόδους και εξόδους. Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί διάκριση μεταξύ των σχετικά αποδοτικών DMUs, αλλά και εμπλοκή όσο το δυνατό περισσότερων μεταβλητών στο τελικό αποτέλεσμα, είναι οι εξής:

- Ο Πίνακας Διασταυρούμενων Αποδόσεων (Cross Efficiency Matrix)
- Η Κατανομή Εικονικών εισόδων και εξόδων (Distribution of virtual inputs and outputs)
- Οι Περιορισμοί στους Συντελεστές Βαρύτητας (Weight Restrictions)

2.8.1 Πίνακας Διασταυρούμενων Αποδόσεων (Cross Efficiency Matrix)

Πρόκειται για Πίνακα N x N (όπου N το πλήθος των DMUs), ο οποίος περιέχει πληροφορία για το πώς η σχετική αποδοτικότητα μιας DMU σχετίζεται με τις υπόλοιπες DMUs. Υπολογίζοντας τη μέση τιμή αποδοτικότητας κάθε στήλης του Πίνακα, διαθέτουμε ένα μέτρο για το πώς αξιολογείται η DMU της στήλης από τις υπόλοιπες DMUs. Αν μια DMU είναι πλήρως αποδοτική, αλλά παρουσιάζει μικρή μέση τιμή στήλης, τότε η DMU αυτή θα είναι λίγες φορές ομότιμη (peer) άλλων μη αποδοτικών DMUs και πιθανόν έχει χρησιμοποιήσει κάποια ιδιαιτερότητα των συντελεστών βαρύτητας ώστε να εμφανίζεται πλήρως αποδοτική. Ενώ, αν μια DMU είναι πλήρως αποδοτική και παρουσιάζει μεγάλο μέσο όρο στην αντίστοιχη στήλη, θα εμφανίζεται συχνά ως ομότιμη (peer) στις μη αποδοτικές DMUs και θα χρησιμοποιεί πολλές καλές πρακτικές.

Αυτό το τελευταίο είναι η βάση σημαντικότητας της συχνότητας που εμφανίζεται ως ομότιμη (peer) μια πλήρως αποδοτική DMU στις υπόλοιπες μη αποδοτικές DMUs. Ερμηνεύεται ως δείκτης καλών πρακτικών, αλλά και ένδειξη ότι η DMU αυτή είναι πλήρως αποδοτική συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες και όχι με τον εαυτό της. Παράδειγμα χρήσης του Cross efficiency Πίνακα παρατίθεται στο $1^{ο}$ Σενάριο αξιολόγησης.

2.8.2 Κατανομή Εικονικών εισόδων και εξόδων (Distribution of virtual inputs and outputs)

Η εικονική έξοδος (virtual output) της J_0 DMU ισούται με το γινόμενο της τιμής εξόδου και τον αντίστοιχο βέλτιστο συντελεστή βαρύτητας (optimal weight). Δηλαδή η εικονική έξοδος r για την DMU_{J0} ισούται με $u^*_r * y_{rjo}$, όπου u^*_r είναι η βέλτιστη τιμή του u_r από τη μέθοδο DEA. Κατά ανάλογο τρόπο ορίζεται και η εικονική είσοδος της DMU_{J0}. Οι τιμές των εικονικών εισόδων και εξόδων μεταφέρουν πληροφορία για τη σημαντικότητα που αποδίδει μια DMU σε συγκεκριμένες εισόδους και εξόδους προκειμένου να επιτύχει το αποτέλεσμα της μέγιστης αποδοτικότητάς της. Επίσης, μπορούν να εκληφθούν ως κανονικοποιημένοι συντελεστές βαρύτητας.

Οι είσοδοι και έξοδοι στις οποίες μια πλήρως αποδοτική DMU αποδίδει υψηλές εικονικές τιμές είναι αυτές οι οποίες θα προτιμούσε η συγκεκριμένη DMU να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα κατά τη σύγκρισή τους με τις υπόλοιπες DMUs. Συνεπώς, οι υψηλές εικονικές τιμές δίνουν ενδείξεις ύπαρξης επιμέρους καλής πρακτικής στη συγκεκριμένη μεταβλητή (περιοχή) αυτής της DMU, αλλά και συνολικής καλής πρακτικής.

Όταν δυο διαφορετικές, πλήρως αποδοτικές DMUs, έχουν υψηλές εικονικές τιμές σε διαφορετικές εισόδους και εξόδους σημαίνει ότι οι DMUs αυτές έχουν καλές πρακτικές σε διαφορετικό σημείο της λειτουργίας τους. Καλό λοιπόν θα ήταν σε αυτή την περίπτωση να ανταλλάξουν τις καλές τους πρακτικές, ώστε να γίνουν ακόμη πιο αποδοτικές. Στο $1^ο$ Σενάριο αξιολόγησης επισημαίνεται ανάλογη περίπτωση.

2.8.3 Περιορισμοί στους Συντελεστές Βαρύτητας (Weight Restrictions)

Ένας εναλλακτικός τρόπος προκειμένου να αυξηθεί η διακριτότητα μεταξύ των αποδοτικών DMUs και να μειωθεί η αλόγιστη μονοσήμαντη δημιουργία συντελεστών βαρύτητας από τη μέθοδο DEA, είναι η υιοθέτηση περιορισμών στους συντελεστές βαρύτητας. Με αυτόν τον τρόπο η μέθοδος αποκαλύπτει ποιες DMUs είναι πραγματικά πλήρως αποδοτικές. Σημαντικότατο σημείο είναι η εύρεση των κατάλληλων περιορισμών, που τελικά θα ενσωματωθούν στο μοντέλο DEA προς επίλυση.

Ένας άλλος, επίσης, σημαντικός λόγος που χρησιμοποιούμε τους περιορισμούς αυτούς είναι ώστε τα αποτελέσματα αποδοτικότητας να είναι πιο συμβατά με τα δεδομένα των μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

Σύμφωνα με τους Golany & Roll (1989) και Boussofiane et al. (1991) προκειμένου να επιτευχθεί επιπλέον διακριτότητα (ικανότητα ταξινόμησης) στα αποτελέσματα σχετικής αποδοτικότητας των DMUs με την μέθοδο DEA, προτείνεται η χρήση πρόσθετων περιορισμών στα βασικά μοντέλα της μεθόδου. Οι περιορισμοί αυτοί σχετίζονται με πρόσθετη πληροφορία που μπορεί να είναι διαθέσιμη ή με υποθέσεις μεταξύ των μεταβλητών που θέλουμε να ελέγξουμε. Συχνές περιπτώσεις χρήσης περιορισμών έχουμε, όταν :

- Υπάρχει μια γνωστή σχέση μεταξύ των συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών εισόδου. Κάτι τέτοιο ισχύει όταν έχουμε τιμές αγοράς, οπότε θα πρέπει και οι αντίστοιχοι πολλαπλασιαστές (συντελεστές) να σχετίζονται μεταξύ τους με τις τιμές αυτές. Ο επιπλέον περιορισμός μπορεί να πάρει τη μορφή: $C_2V_1 - C_1V_2 = 0$ όπου C_1/C_2 ο γνωστός λόγος της αγοράς για τις μεταβλητές εισόδου 1 και 2 (π.χ. το κόστος μιας μονάδας της εισόδου 2 είναι $C_2/C_1 = 10$ φορές υψηλότερο από τη μία μονάδα της εισόδου 1), ενώ V_1, V_2 οι εικονικοί πολλαπλασιαστές των εισόδων 1 και 2 στο μοντέλο της DEA.

- Υφίσταται κατευθυντική σχέση μεταξύ των μεταβλητών εξόδου. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει καθαρή προτίμηση μιας εξόδου έναντι κάποιας άλλης. Τότε, ο αντίστοιχος περιορισμός παίρνει τη μορφή: $\mu_1 - \mu_2 \geq 0$, όπου μ_1, μ_2 οι εικονικοί πολλαπλασιαστές των εξόδων 1 και 2 αντίστοιχα στο μοντέλο της DEA. Κάτι τέτοιο υφίσταται και στην περίπτωση των σταθμών παραγωγής όπου υπάρχει προτίμηση στην παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από την Αδιάθετη Ενέργεια ως εξόδου (output) σε ένα μοντέλο DEA αφού η σχέση τιμής στην εγχώρια ηλεκτρική αγορά των δυο αυτών μεταβλητών είναι περίπου 65 / 5.

- Περιορίζεται το εύρος χρήσης των συντελεστών βαρύτητας σε μερικές μόνο μεταβλητές. Στην πραγματικότητα, όταν δεν τίθενται όρια στους συντελεστές βαρύτητας, κάποιες DMUs μπορεί να αξιολογηθούν μόνο από ένα υποσύνολο των συνολικών μεταβλητών εισόδων και εξόδων καλύπτοντας τις πιο σοβαρές ελλείψεις αποδοτικότητας. Η δυσκολία ορισμού ορίων ξεπερνιέται με 2 τρόπους. Πρώτον, θέτοντας όρια στους συντελεστές βαρύτητας (Weights Restrictions) με βάση τη διακύμανσή τους όταν δοκιμάζουμε το μοντέλο της DEA χωρίς περιορισμούς και δεύτερον, ορίζοντας κάποιο λόγο μεταξύ των συντελεστών βαρύτητας, που θα αντιπροσωπεύει τη σημαντικότητα των συντελεστών εισόδου και εξόδου.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι εισάγοντας περιορισμούς στο μοντέλο DEA θα έχει ως συνέπεια τη μείωση των αποτελεσμάτων σχετικής αποδοτικότητας σε σύγκριση με το αν δεν είχαν χρησιμοποιηθεί περιορισμοί, ωστόσο το αποτέλεσμα θεωρείται δικαιότερο γιατί λαμβάνονται υπόψη περισσότερες μεταβλητές εισόδου – εξόδου στη διαμόρφωση της τελικής αξιολόγησης. Θα πρέπει ωστόσο να αναφερθεί ότι με τη χρήση υπερβολικών περιορισμών μπορεί το γραμμικό σύστημα του μοντέλου DEA να οδηγηθεί σε μη εφικτή λύση.

2.9 Διαχρονική μέτρηση μεταβολής αποδοτικότητας

Οι μεθοδολογίες που υιοθετούνται για τη μέτρηση της μεταβολής της σχετικής αποδοτικότητας των DMUs όταν υπάρχουν διαχρονικά δεδομένα (longitudinal data) για τις μεταβλητές ελέγχου είναι δυο. Η Ανάλυση Παραθύρου (χρονικού) (Window Analysis) και ο Δείκτης Malmquist (Malmquist Index - MI) (Cao & Yang, (2009); (Cook & Seiford, 2009)).

2.9.1 Ανάλυση Χρονικού Παραθύρου (Window Analysis)

Η μεθοδολογία βασίζεται στην αρχή των κινητών μέσων όρων (Cao & Yang (2009); Boussofiane et al. (1991); (Cook & Seiford, 2009)) και εφαρμόζεται για την ανίχνευση τάσεων αποδοτικότητας μιας DMU στο χρόνο. Επιλύει το πρόβλημα μικρού πλήθους DMUs σε σχέση με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο. Κάθε DMU ανά χρονική περίοδο εκλαμβάνεται ως διαφορετική DMU. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η κάθε DMU συγκρίνεται τόσο με τον εαυτό της στις άλλες χρονικές περιόδους, όσο και με τις άλλες DMUs. Το γεγονός αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο όταν το πλήθος των DMUs είναι μικρό, γιατί με την τεχνική αυτή αυξάνεται η διακριτική ικανότητα στα αποτελέσματα.

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται διαιρώντας τις συνολικές χρονικές περιόδους (π.χ. έτη) T σε μια σειρά παραθύρων (χρονικών) με πλάτος w, προκύπτοντας έτσι n ∗ w DMUs. Το πρώτο παράθυρο περιλαμβάνει n ∗ w DMUs για τις περιόδους (1, …, w), το δεύτερο n ∗ w DMUs για τις περιόδους (2, …, w+1) κ.ο.κ., ενώ το τελευταίο παράθυρο αποτελείται από n ∗ w DMUs για την περίοδο (T-w+1, …, T). Σημειώνεται, πως η μέθοδος θεωρεί ότι μέσα στην ίδια χρονική περίοδο δεν συμβαίνουν τεχνικές αλλαγές.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος είναι πολύ σημαντική η επιλογή του μεγέθους του παραθύρου. Αν είναι πολύ στενό, τότε η διάστασή του μειώνεται, αλλά μειώνεται ταυτόχρονα και το πλήθος των DMUs προς ανάλυση. Αντίθετα, αν το παράθυρο είναι ευρύ, τότε τα αποτελέσματα δεν θα είναι αξιόπιστα, γιατί εντός της περιόδου θα συμβαίνουν τεχνολογικές αλλαγές οι οποίες δεν θα αποτυπώνονται. Συνεπώς, είναι σημαντικό στο εύρος του παραθύρου που θα επιλέξουμε να μην συμβαίνουν τεχνολογικές αλλαγές εντός αυτού.

2.9.2 Δείκτης Malmquist (Malmquist Index)

Οι τεχνολογικές βελτιώσεις και οι βελτιώσεις αποδοτικότητας είναι παράγοντες που μπορούν κατά κάποιον τρόπο να ερμηνεύσουν την αύξηση παραγωγικότητας μιας DMU διαχρονικά, ωστόσο είναι μη απτές έννοιες και δύσκολα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν (Tai et al., 2010). Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει ο Δείκτης Malmquist (MI) ή Συνολικός Δείκτης Παραγωγικότητας (Total Factor Productivity - TFP), όπως αλλιώς αναφέρεται, ο οποίος υπολογίζεται με τη βοήθεια συναρτήσεων απόστασης (distance functions). Οι συναρτήσεις αυτές συγκρίνουν δεδομένα μεταξύ δυο χρονικών περιόδων (Tai et al. (2010); Hosseini & Hasanpour (2011); Zhou et al. (2008)).

Το ενδιαφέρον του δείκτη Malmquist πηγάζει από την ανάγκη υπολογισμού μεταβολών στην αποδοτικότητα ανά χρονική περίοδο. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των σημαντικών αλλαγών που συμβαίνουν τα τελευταία χρόνια από άποψη ιδιοκτησιακού καθεστώτος και νέων κανόνων που επιβάλλονται από τις Ρυθμιστικές Αρχές της κάθε χώρας (Zhou et al., 2008).

Γενικά, στη μέτρηση παραγωγικότητας, ένας δείκτης εξόδου διαιρείται από έναν δείκτη εισόδου. Το βασικό ερώτημα κάθε φορά σε αυτή τη μέτρηση είναι ο καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας του κάθε δείκτη. Το πλεονέκτημα του δείκτη Malmquist είναι ότι δεν απαιτούνται πληροφορίες κόστους για τη δημιουργία των συντελεστών βαρύτητας, κάτι το οποίο είναι ανεκτίμητης αξίας στην περίπτωση του δημόσιου τομέα, όπου συχνά τίθεται θέμα αξιοπιστίας των οικονομικών στοιχείων (Hosseini & Hasanpour, 2011).

Όταν ο δείκτης Malmquist είναι μεγαλύτερος του 1 (MI>1), ερμηνεύεται ως ανάπτυξη στην αποδοτικότητα, ενώ όταν είναι μικρότερος του 1 (MI<1) προέρχεται από επιβράδυνση. Τέλος, όταν ισούται με 1, ουσιαστικά δεν υπάρχει κάποια μεταβολή.

Παρακάτω περιγράφεται πρώτα ο Δείκτης Malmquist (output oriented) με όρους συναρτήσεων αποστάσεων (distance functions) και στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος

υπολογισμού του, μέσω της μεθόδου DEA, με τη βοήθεια γραμμικού προγραμματισμού, όπως προτάθηκε από τον Färe ((Tai et al., 2010).

Θεωρώντας ως t την περίοδο βάσης, t+1 την περίοδο που θα συγκρίνουμε και πλήθος I DMUi (i= 1, …, I), τότε ο Δείκτης Malmquist από t στο t+1 ή από t+1 στο t δίνεται από τους τύπους:

$$m_i^{t+1}(q_t, x_t, q_{t+1}, x_{t+1}) = \left[\frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t+1}(q_t, x_t)} \right] \qquad (2.9)$$

και

$$m_i^{t}(q_t, x_t, q_{t+1}, x_{t+1}) = \left[\frac{d_i^{t}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t}(q_t, x_t)} \right] \qquad (2.10)$$

Για να αποφευχθεί η αυθαίρετη επιλογή του έτους βάσης (το t ή το t+1) χρησιμοποιείται ο γεωμετρικός μέσος των δυο παραπάνω εξισώσεων για να υπολογιστεί ο MI ή αλλιώς Συνολικός Συντελεστής Παραγωγικότητας (TFP):

$$MI = TFP = m_i(q_t, x_t, q_{t+1}, x_{t+1}) = \left[\frac{d_i^{t}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t}(q_t, x_t)} * \frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t+1}(q_t, x_t)} \right]^{1/2} \qquad (2.11)$$

Ο Δείκτης TFP ποσοτικοποιεί την επίδραση παραγόντων που βελτιώνουν την παραγωγή, οι οποίοι δεν σχετίζονται με τις εισόδους (inputs). Σύμφωνα με τον Färe (Tai et al., 2010) η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χωριστεί σε 2 τμήματα: την Μεταβολή Τεχνικής Αποδοτικότητας (Technical Efficiency Change - TEC) και την Τεχνολογική Μεταβολή (Technological Change - TC):

$$MI = TFP = m_i(q_t, x_t, q_{t+1}, x_{t+1}) = \frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t}(q_t, x_t)} * \left[\frac{d_i^{t}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})} * \frac{d_i^{t}(q_t, x_t)}{d_i^{t+1}(q_t, x_t)} \right]^{1/2} \qquad (2.12)$$

όπου:
$$TEC = \frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t}(q_t, x_t)} \qquad (2.13)$$

και $$TC = \left[\frac{d_i^t(q_{t+1}, x_{t+1})}{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})} * \frac{d_i^t(q_t, x_t)}{d_i^{t+1}(q_t, x_t)} \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

Συνεπώς ισχύει: MI= TFP = TEC * TC (2.15)

Η Μεταβολή Τεχνικής Αποδοτικότητας (TEC) περιγράφεται ως αποτέλεσμα γεφύρωσης χάσματος (catch-up effect) ή πιο απλά πόσο βελτιώθηκε μια μη αποδοτική DMU "μαθαίνοντας" από τις αποδοτικές ομότιμές της (peers) κατά την προηγούμενη περίοδο. Ορίζεται ως η Μεταβολή της Τεχνικής Αποδοτικότητας από την περίοδο t στην t+1.

Η Τεχνολογική Μεταβολή (TC) περιγράφεται ως αποτέλεσμα τεχνολογικής βελτίωσης ή καινοτομίας (π.χ. εγκατάσταση πιο αποδοτικών λεβήτων η καλύτερων πρακτικών διοίκησης).

Μέχρι αυτό το σημείο οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν υπέθεταν CRS μοντέλα. Κατά παρόμοιο τρόπο που το CRS μοντέλο αναλύθηκε παραπάνω, η Μεταβολή Τεχνικής Αποδοτικότητας (TEC) μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω στη Μεταβολή Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας (Pure Technical Efficiency Change - PTEC) και στη Μεταβολή Αποδοτικότητας Κλίμακας (Scale Efficiency Change - SEC), αν εισάγουμε τα αποτελέσματα του VRS μοντέλου.

Συνεπώς ισχύει: TEC = PTEC * SEC (2.16)

όπου $$PTEC = \frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})_{VRS}}{d_i^t(q_t, x_t)_{VRS}} \quad (2.17)$$

και $$SEC = \left[\frac{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})_{CRS}}{d_i^{t+1}(q_{t+1}, x_{t+1})_{VRS}} * \frac{d_i^t(q_t, x_t)_{VRS}}{d_i^t(q_t, x_t)_{CRS}} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

Η Μεταβολή Αποδοτικότητας Κλίμακας (SEC) περιγράφει τη διακύμανση της Αποδοτικότητας Κλίμακας από περίοδο σε περίοδο, ενώ η Μεταβολή Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας (PTEC) μετράει τη διακύμανση της Τεχνικής Αποδοτικότητας στο χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της οικονομίας κλίμακος.

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις απόστασης μπορούν να υπολογιστούν σχετικά εύκολα μέσω της μεθόδου DEA συμπεριλαμβάνοντας τη διάσταση του χρόνου. Για λεπτομέρειες στους υπολογισμούς αυτούς μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τους Tai et al. (2010), Hosseini & Hasanpour (2011), Zhou et al. (2008), Thanassoulis (2001) και Sofianopoulou et al. (2009).

2.10 Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Bogetoft et al. (2006); Thanassoulis (2001)) , η Συνολική Αποδοτικότητα (Overall Efficiency - OE) μιας μονάδας παραγωγής μπορεί συνήθως να αποδομηθεί στην Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency - TE) και στην Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency - AE) .

Η Συνολική Αποδοτικότητα μιας μονάδας παραγωγής εξαρτάται από τις εισόδους (inputs) x, τις εξόδους (outputs) y, την τεχνολογία T και τις τιμές κόστους των εισόδων w. Η Συνολική Αποδοτικότητα ορίζεται ως τα ελάχιστα κόστη παραγωγής των y, που αντιστοιχούν στο πραγματικό κόστος $w * x$:

$$\text{Overall Efficiency (OE)} = \frac{C(y,w)}{w * x} \qquad (2.19)$$

Αν OE = 0,8, σημαίνει ότι το 20% του πραγματικού κόστους θα μπορούσε να εξοικονομηθεί βελτιώνοντας την αποδοτικότητα.

Αναλύοντας τη Συνολική Αποδοτικότητα (OE) στις 2 επιμέρους αποδοτικότητες TE και AE, ισχύει:

$$OE = \frac{C(y,w)}{w*x} = TE * AE \qquad (2.20)$$

Η Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency) ορίζεται (Bogetoft et al., 2006) ως η ικανότητα μιας DMU να παράγει τα περισσότερα (outputs) από μια δέσμη πόρων (inputs) ή αντίστροφα να χρησιμοποιεί τους λιγότερους πόρους για την παραγωγή δεδομένης δέσμης εξόδων, κάτι το οποίο σχετίζεται με την έννοια του οργανωσιακού περιθωρίου (organizational slack). Το οργανωσιακό περιθώριο μεταφράζεται ως η ύπαρξη υπέρβασης στη χρήση πόρων για την παραγωγή δεδομένων εξόδων. Συνεπώς, η Τεχνική Αποδοτικότητα σχετίζεται με την ευρύτερη έννοια της αποδοτικότητας, το να κάνει κάποιος τα πράγματα με τον σωστό τρόπο.

Η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency) ή, όπως αλλιώς αναφέρεται από τον Färe et al. (1984), Αποδοτικότητα Συμπεριφοράς, ενσωματώνει την οργανωσιακή ικανότητα να επιλέγει η DMU τους πόρους (inputs) της σε σωστές αναλογίες, δεδομένων των συντελεστών βαρύτητας αυτών. Οι συντελεστές αυτοί βαρύτητας μπορεί να αντιστοιχούν σε τιμές κόστους των πόρων ή σε οργανωσιακές προτεραιότητες. Στην πιο γενική περίπτωση, όπου υπάρχουν πολλές είσοδοι και πολλές έξοδοι, σκοπός είναι να βρεθούν οι σωστές αναλογίες των εισόδων και των εξόδων με δεδομένες τις τιμές κόστους στις εισόδους και την επίτευξη στόχων προτεραιοτήτων στις εξόδους. Οι προτεραιότητες εξόδων μπορεί να προέρχονται από το όραμα ή την αποστολή των οργανισμών (DMU) ως τμήμα του στρατηγικού σχεδιασμού. Ερμηνεύοντας κατά αυτή την έννοια, η Allocative Efficiency μπορεί να σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα του οργανισμού να κάνει το σωστό. Καταλήγοντας, η Συνολική Αποδοτικότητα ερμηνεύεται ως "γίνεται το σωστό, με τον σωστό τρόπο".

Υποθέτουμε ότι μια DMU επιθυμεί να βελτιώσει την αποδοτικότητά της, δεδομένου ότι είναι τεχνικά και ως προς την κατανομή πόρων μη αποδοτική. Το ερώτημα είναι τι αλλαγές πρέπει να εφαρμόσει ώστε να επιτύχει Συνολική Αποδοτικότητα; Η Συνολική Αποδοτικότητα υφίσταται μόνο αν επιτευχθούν και οι άλλες 2 αποδοτικότητες ταυτόχρονα ή αν πρώτα επέλθει η Τεχνική Αποδοτικότητα και στη συνέχεια η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντίστροφη διαδικασία δεν είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει στη Συνολική Αποδοτικότητα (Bogetoft et al., 2006).

Η μη αποδοτική DMU κάνει χρήση υπερβολικών πόρων και δεν καταβάλλει επαρκή προσπάθεια, ώστε να εξοικονομήσει πόρους ή να επεκτείνει τις εξόδους (παραγωγή). Η ΑΕ μετράει τις βελτιώσεις που μπορούν να επιτευχθούν ανακατανέμοντας τους πόρους (inputs) ή την παραγωγή (outputs).

Είναι ενδεχομένως πιο πιθανό να παρουσιαστεί λιγότερη οργανωσιακή εσωτερική αντίσταση αν πρώτα προσαρμοστούν οι πόροι ώστε να κάνουν το σωστό και στη συνέχεια να βελτιωθεί η Τεχνική Αποδοτικότητα, ώστε το σωστό να γίνεται με τον σωστό τρόπο. Το αντίστροφο μπορεί να αποθαρρύνει τους εργαζόμενους ειδικά αν κάποιοι από τους πόρους αφορούν το ανθρώπινο δυναμικό.

Γενικά η βελτίωση της Τεχνικής Αποδοτικότητας πάντοτε συνεπάγεται μειώσεις σε όλους τους πόρους, ενώ η Ανακατανομή Πόρων προκαλεί σε άλλους μειώσεις και σε άλλους αυξήσεις. Επίσης, η Τεχνική Αποδοτικότητα μπορεί να βελτιωθεί όχι μόνο μειώνοντας τις εισόδους αλλά αυξάνοντας και τις εξόδους. Σε πολλές περιπτώσεις και οι

δύο δυνατότητες είναι πιθανές. Συνεπώς, μπορούν να αυξηθούν οι έξοδοι αν υλοποιηθεί η επίτευξη Allocative Efficiency πριν από την Τεχνική Αποδοτικότητα.

Η παραδοσιακή τεχνική πρώτα μειώνει τις εισόδους και στη συνέχεια διενεργεί υποκατάσταση των εισόδων ώστε να επιτευχθεί η Αποδοτική Κατανομή Πόρων, ακολουθουμένη από αύξηση σε εισόδους και εξόδους. Η τεχνική αυτή από άποψη κινήτρων είναι δύσκολη. Η αντίστροφη διαδικασία, σύμφωνα με την οποία πρώτα επιδιώκεται η DMU να γίνει Allocative Efficient, οπότε επιτυγχάνεται και αύξηση στις εξόδους, θεωρείται πιο εύκολα υλοποιήσιμη, από άποψη αντίστασης και κινήτρων.

Για την κατανόηση του όρου «Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων» (Allocative Efficiency) παρουσιάζονται στη συνέχεια διαφορετικές όψεις της συγκεκριμένης έννοιας (Bogetoft et al., 2006).

«Από εννοιολογικής άποψης, είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ Τεχνικής Αποδοτικότητας και Αποδοτικότητας Κατανομής Πόρων. Στην περίπτωση ιεραρχικής δομής του οργανισμού, ο οποίος αποτελείται από πολλές παραγωγικές μονάδες, η Τεχνική Αποδοτικότητα ερμηνεύεται ως το τι θα μπορούσε να κερδίσει ο οργανισμός από εσωτερικές αλλαγές, εντός των παραγωγικών μονάδων (intra-unit), ενώ η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων ερμηνεύεται ως τι μπορεί να κερδηθεί από αλλαγές μεταξύ των μονάδων παραγωγής (inter-unit).

Από άποψη ανάλυσης παραγωγικότητας (μικροοικονομίας), θα πρέπει να εστιάσει κανείς στην Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων, θεωρώντας τις παραγωγικές μονάδες ως "μαύρα κουτιά". Η μικροοικονομία εστιάζει κυρίως στις συναλλαγές μεταξύ των εταιρειών μέσω της αγοράς και λιγότερο στις διαδικασίες που συμβαίνουν εντός των εταιρειών. Για τον λόγο αυτό είναι καταλληλότερο να μετρήσει κανείς τι μπορεί να επιτύχει με ανακατανομή των πόρων μεταξύ του "μαύρου κουτιού" και των αγορών παρά τι να επιτύχει με αλλαγές εντός του "μαύρου κουτιού" της παραγωγικής μονάδας. Το τελευταίο είναι αντικείμενο των μηχανικών παραγωγής και των οργανωσιακών ειδικών, ενώ το πρώτο αφορά τους οικονομολόγους.

Από στελεχιακής και οργανωσιακής πλευράς είναι σύνηθες να αναζητούνται εναλλακτικοί τρόποι βελτίωσης της αποδοτικότητας. Η Τεχνική Αποδοτικότητα σχετίζεται με το "να κάνει κάποιος τα πράγματα σωστά", ενώ η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων με το "να κάνει κάποιος τα σωστά πράγματα". Αξίζει κανείς να βελτιώνει τη δεύτερη ακόμη και σε τεχνικά μη - αποδοτικές μονάδες. Σε πολλές περιπτώσεις η ευθύνη βελτίωσης των δύο αποδόσεων ανατίθεται σε διαφορετικές ομάδες σε μια επιχείρηση και είναι σημαντικό

να μπορεί κανείς να αξιολογήσει την επίδοση της μιας ομάδας χωρίς απαραίτητα να υποθέτει ότι η άλλη ομάδα έχει βέλτιστη αποδοτικότητα».

Σύμφωνα με τους Bogetoft et al. (2006) δυο είναι οι πιθανές αιτίες χαμηλής Τεχνικής Αποδοτικότητας (ΤΕ). Πρώτον, η μη ορθή λήψη αποφάσεων, σύμφωνα με την οποία η μη αποδοτική παραγωγική μονάδα (DMU) χρησιμοποιεί μη βέλτιστες διαδικασίες και πρακτικές παραγωγής. Αυτή είναι και η τυπική ερμηνεία που συναντάται στη βιβλιογραφία. Κατά συνέπεια, η αποδοτικότητα μπορεί να βελτιωθεί ακολουθώντας βέλτιστες διαδικασίες και πρακτικές των αποδοτικότερων μονάδων. Η δεύτερη πιθανή αιτία σχετίζεται με ενδοεπιχειρησιακές «συγκρούσεις» εντός των οργανισμών.

Ο Thanassoulis (2001) διακρίνει την Αποδοτική Κατανομή Πόρων ως εισόδου (input Allocative Efficiency) ή εξόδου (output Allocative Efficiency) ανάλογα αν διαθέτουμε ή μας ενδιαφέρουν οι τιμές κόστους των εισόδων ή εξόδων αντίστοιχα.

Αν είναι δεδομένες οι τιμές κόστους για τις εισόδους μπορεί να υπολογιστεί η input Allocative Efficiency (ή Price Efficiency) των DMUs. Πρόκειται για μέτρηση των συστατικών οποιασδήποτε μη αποδοτικότητας κόστους, των DMUs, η οποία σχετίζεται με χρήση αντιοικονομικού μείγματος εισόδου, δεδομένων των τιμών κόστους. Στόχος είναι η αποδοτική ελαχιστοποίηση κόστους (Cost minimizing).

Κατά παρόμοιο τρόπο αν είναι διαθέσιμες οι τιμές πώλησης των εξόδων, μπορεί να υπολογιστεί η output Allocative Efficiency, η οποία μετράει τα συστατικά οποιασδήποτε υστέρησης εισόδων των DMUs που οφείλονται σε ακατάλληλο μείγμα των εξόδων (παραγωγή) με βάση τις τιμές πώλησης των εξόδων. Στόχος είναι η αποδοτική μεγιστοποίηση κέρδους.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται μόνο η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων εισόδου (Cost minimizing efficiencies) των σταθμών παραγωγής, μια και διατίθενται ως δεδομένα οι τιμές κόστους των εισόδων. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζεται μόνο το συγκεκριμένο θεωρητικό πεδίο. Για το αντίστοιχο, αποδοτικότητας μεγιστοποίησης εισόδων (Revenue Maximizing Efficiencies) μπορεί κανείς να ανατρέξει στο Thanassoulis (2001).

Σύμφωνα με τον Thanassoulis (2001) θεωρούμε ότι υπάρχουν N DMUs (j = 1, …, N) και ότι η j DMU χρησιμοποιεί ως εισόδους X_{ij} (i = 1, …, m) για να παράγει s εξόδους y_{rj} (r = 1, …, s). Αν οι τιμές κόστους για τις εισόδους x_{ij} της j_0 DMU είναι w_{ij} (i =1, …, m), τότε θα πρέπει να υπολογιστεί το C_{j0}, το οποίο είναι το ελάχιστο κόστος στο οποίο η j_0

DMU θα μπορούσε να παράγει τις εξόδους της y_{rjo} (r = 1, …, s). Το C_{jo} , κατά αναλογία της μεθόδου DEA (μοντέλο CCR input oriented), προκύπτει από την επίλυση του μοντέλου :

$$C_{j_0} = \min_{x_i} \sum_{i=1}^{m} w_{ij_0} x_i \qquad (2.21)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j x_{ij} \le x_i \qquad i = 1...m$$

$$\sum_{j=1}^{N} \lambda_j y_{rj} \ge y_{rj_0} \qquad r = 1...s$$

$$\lambda_j \ge 0, j=1...N \ge 0\ ,\ x_i \ge 0\ ,\ \forall i.$$

Η βέλτιστη λύση στο παραπάνω μοντέλο αποδίδει τις τιμές εισόδων x_i^*, τις οποίες η j_0 DMU θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει βάσει των τιμών κόστους, με σκοπό να εξασφαλίσει τα επίπεδα των εξόδων στο ελάχιστο κόστος. Οπότε, η Συνολική Αποδοτικότητα Εισόδου της j_0 DMU είναι:

$$\text{(Input Overall Efficiency)}\ IOE_{jo} = \frac{C_{jo}}{OC_{jo}} \qquad (2.22)$$

όπου $OC_{jo} = \Sigma w_{ijo*} x_{ijo}$ είναι το συνολικό κόστος (Overall Cost) που η j_0 DMU παράγει τις συγκεκριμένες εξόδους.

Η IOE_{jo} αποτελεί μέτρο του κατά πόσο το OC_{jo} (τρέχον κόστος παραγωγής) μπορεί να μειωθεί, δεδομένων των τιμών κόστους και τα επίπεδα εξόδων.

Όταν $IOE_{jo}<1$, το κόστος παραγωγής ξεπερνάει το ελάχιστο απαιτούμενο. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται είτε στις επιπλέον ποσότητες εισόδων ή / και στη χρήση εσφαλμένου μείγματος εισόδων βάσει των τιμών κόστους.

Η πρώτη αιτία μη αποδοτικότητας αντιστοιχεί στην Τεχνική Αποδοτικότητα εισόδων (Technical input Efficiency), ενώ η δεύτερη στην Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative or Price Efficiency), όπως αυτή ορίζεται στη συνέχεια.

Αν ITE_{jo} η Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency) εισόδου της j_0 DMU που προκύπτει από την επίλυση του CCR μοντέλου και IOE_{jo} η input Overall Efficiency, τότε η input Allocative Efficiency της j_0 DMU είναι:

$$IAE_{jo} = \frac{IOE_{jo}}{ITE_{jo}} \qquad (2.23)$$

Αν $IAE_{jo} = 1$, τότε η j_0 DMU έχει ίσες τις δύο αποδοτικότητες, πράγμα που σημαίνει ότι χρησιμοποιήθηκε το πιο οικονομικό μείγμα εισόδων βάσει των τιμών κόστους.

Όταν $IAE_{jo} < 1$, τότε δεν χρησιμοποιείται το πιο οικονομικό μείγμα εισόδων της j_0 DMU. Ακόμη και αν η Τεχνική Αποδοτικότητα εισόδων ισούται με 1, οπότε η DMU χρησιμοποιεί τα ελάχιστα επίπεδα εισόδων για τα συγκεκριμένα επίπεδα εξόδων, το μείγμα των εισόδων είναι τέτοιο που το συνολικό κόστος για την παραγωγή αυτών των εξόδων είναι υψηλότερο από ό,τι θα μπορούσε να είναι.

Οι Golani et al. (1994) αναλύοντας τη δυνατότητα της μεθόδου DEA για ανακατανομή πόρων (resource allocation) μεταξύ των DMUs τονίζουν ότι στην πράξη η διαδικασία αυτή είναι αρκετά πιο πολύπλοκη απ' ότι αρχικά φαίνεται. Δύο είναι τα σημαντικά σημεία που θα πρέπει να σταθεί κανείς αν θελήσει να εφαρμόσει κάποιο σχετικό σχέδιο. Πρώτον, ότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι δεν εισάγονται αρχικά στο μοντέλο της DEA. Όπως για παράδειγμα, το ότι για κάποιους πόρους δεν υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς ή το ότι αν μεταφέρουμε πόρους σε μια μη αποδοτική DMU μπορεί να την μετατρέψουμε σε ακόμη λιγότερο αποδοτική μια και δεν έχει την ικανότητα να εκμεταλλευτεί τους ήδη υπάρχοντες. Δεύτερον, ότι η μεταφορά πόρων από μια DMU σε άλλη οδηγεί σε μεταβολή των αρχικών εισόδων και εξόδων σε αυτές τις DMUs. Συνεπώς, δεδομένου ότι η μέθοδος DEA υπολογίζει τη σχετική αποδοτικότητα των DMUs, ουσιαστικά θα αλλάξει τις αποδοτικότητες αυτές σε όλες τις DMUs και όχι μόνο σε αυτές που θα ανταλλάξουν πόρους. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να επιλυθεί ξανά το μοντέλο από την αρχή.

2.11 Μεθοδολογία διαχείρισης μη επιθυμητών εξόδων (ρύπανση)

Στο σημείο αυτό διερευνάται η μεθοδολογία αντιμετώπισης των μεταβλητών ρύπανσης στη μέθοδο DEA από διάφορους ερευνητές. Οι μεταβλητές ρύπανσης εκλαμβάνονται ως μη επιθυμητές έξοδοι (εκροές) και εισάγονται στα μοντέλα της DEA με διάφορους τρόπους. Ο πιο απλός και κατανοητός από όλους είναι η αντιμετώπισή τους ως είσοδοι (εισροές) οι οποίες θα πρέπει να μειωθούν.

Πρώτος, ο Pittman (1983) συνυπολόγισε επιθυμητές και μη επιθυμητές εξόδους για τη μέτρηση αποδοτικότητας σε χαρτοβιομηχανία, ενώ στη συνέχεια ο Färe πρώτος εισήγαγε τα δεδομένα του Pittman σε μη παραμετρική ανάλυση αποδοτικότητας (DEA) (Barros J., 2013).

Σύμφωνα με τους Korhonen & Luptacik (2004) γίνεται χρήση του όρου eco - efficiency προκειμένου να χαρακτηρίσουν τον δείκτη αποδοτικότητας DEA όταν υφίσταται η παρουσία μη επιθυμητών εξόδων. Προσεγγίζουν τις μη επιθυμητές εξόδους με δυο μεθόδους. Στην πρώτη μέθοδο διαιρούν το πρόβλημα σε δυο μέρη υπολογίζοντας ξεχωριστά την τεχνική αποδοτικότητα, κάνοντας χρήση ενός παραδοσιακού DEA μοντέλου και την οικολογική αποδοτικότητα (ως πηλίκο αθροισμάτων επιθυμητών εξόδων προς αθροίσματα μη επιθυμητών εξόδων). Στη συνέχεια οι δύο αποδόσεις θέτονται ως μεταβλητές εξόδου σε ένα νέο μοντέλο DEA, το οποίο έχει μοναδιαία είσοδο. Στη δεύτερη μέθοδο εκλαμβάνουν τις μη επιθυμητές εξόδους ως μεταβλητές εισόδου με βάση το γεγονός ότι αποτελούν μεταβλητές που πρέπει να μειωθούν (όπως ακριβώς και οι μεταβλητές εισόδου) μια και αποτελούν κοστοβόρους παράγοντες της διαδικασίας παραγωγής (Tsolas (2010); Tai et al. (2010); Jamasb & Pollitt (2001); Boussofiane et al. (1991)).

Για τη διαχείριση μη επιθυμητών εξόδων γίνεται χρήση του όρου: «ασθενής αναλωσιμότητα» (weak disposability) από πολλούς ερευνητές (Yang et al. (2007); Tai et al. (2010); Zhou et al. (2008); Tsolas (2010)). Σύμφωνα με την έννοια αυτή, είναι δυνατή η μείωση των μη επιθυμητών εξόδων μειώνοντας τα επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι Korhonen & Luptacik (2004) και Cooper et al. (2004) υπολογίζουν τον δείκτη αποδοτικότητας eco-efficiency με τρεις διαφορετικούς τρόπους, όπως αυτοί περιγράφονται στους παρακάτω τύπους, σε 24 σταθμούς ευρωπαϊκής χώρας και παίρνουν και με τους τρεις τρόπους παρόμοια αποτελέσματα:

$$TE = \frac{Desirable\ Outputs - Undesirable\ Outputs}{Inputs}$$

$$TE = \frac{Desirable\ Outputs}{Inputs + Undesirable\ Outputs} \qquad (2.24)$$

$$TE = \frac{Desirable\ Outputs - Inputs}{Undesirable\ Outputs}$$

Οι Färe & Grosskopf (2004) υιοθετούν τον συνολικό δείκτη ρύπανσης των Jaggi και Freedman και τον προσαρμόζουν στους ρύπους προς έρευνα (Διοξείδιο του θείου - SO_2, Οξείδια του Αζώτου - NO_x, Διοξείδιο του Άνθρακα - CO_2) υπολογίζοντας για κάθε σταθμό k τους εξής επιμέρους δείκτες:

$$J(SO_2)_k = (SO_2)_k / (\text{Παραγόμενες KWh})_k$$
$$J(NO_x)_k = (NO_x)_k / (\text{Παραγόμενες KWh})_k \quad (2.25)$$
$$J(CO_2)_k = (CO_2)_k / (\text{Παραγόμενες KWh})_k$$

Ενώ ο συνολικός Δείκτης Ρύπανσης για κάθε σταθμό δίνεται από τον τύπο:

$$I_{(\text{OVERALL})k} = \frac{1}{3}\left[\left(\left(1-\frac{J(SO_x)_k}{\max_i \; J(SO_x)_i}\right)+\left(1-\frac{J(NO_x)_k}{\max_i \; J(NO_x)_i}\right)+\left(1-\frac{J(CO_2)_k}{\max_i \; J(CO_2)_i}\right)\right)\right] \quad (2.26)$$

και παίρνει τιμές από το 0 (υψηλή ρύπανση) ως το 1 (χαμηλή ρύπανση).

Στη συνέχεια συγκρίνουν τα αποτελέσματα του δείκτη αυτού με τα αποτελέσματα της παραδοσιακής μεθόδου DEA και προκύπτουν εντελώς διαφορετικές κατατάξεις των σταθμών κυρίως γιατί η μέθοδος των Jaggi και Freedman δεν λαμβάνει υπόψη τις μεταβλητές εισόδου του κάθε σταθμού.

Οι Sarıca & Or (2007) μετατρέπουν τους εκπεμπόμενους ρύπους σε κόστος, όπως προτείνει και οι Jamasb & Pollitt (2001), με το αιτιολογικό ότι προκαλούν επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και του οικοσυστήματος και θα απαιτηθούν στη συνέχεια κάποια κεφάλαια για την εξάλειψη των επιπτώσεων αυτών. Χρησιμοποιούν τιμές ανά ποσότητα εκπεμπόμενου ρύπου που προκύπτουν από το "εργαλείο" EcosenceLE του ExternE Project της E.E.(http://ecoweb.ier.uni-stuttgart.de/ecosense_web/ecosensele_web/frame.php) (το οποίο χρησιμοποιείται και στην παρούσα έρευνα, Σενάριο 11) [Τιμές Φινλανδίας για το 1995: SO_2 = 1250 $/tn, NO_x = 1.100 $/tn, Σωματίδια = 2000 $/tn].

Οι Golani et al. (1994) χρησιμοποιούν ειδική φόρμουλα για τη συμμετοχή της μεταβλητής SO_2 η οποία βασίζεται σε 2 δυαδικούς ψευδο-δείκτες ({1,1} = Good, {1,0} = Medium, {0,0} = Bad).

Σύμφωνα με τους Boussofiane et al. (1991) όταν ο περιβαλλοντικός παράγοντας (ρύπος) απαιτεί την προσθήκη κάποιου πόρου, τότε εκλαμβάνεται ως μεταβλητή εισόδου (input), ενώ όταν απαιτείται να ξεπεραστεί κάποια "χαμηλή" περιβαλλοντική συμπεριφορά, μπορεί να θεωρηθεί ως μεταβλητή εξόδου (output). Οι ίδιοι αναφέρουν ότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να μετρηθούν άμεσα (εκπεμπόμενη ποσότητα) ή έμμεσα μέσω των επιπτώσεων.

Αναλυτική αναφορά σε δείκτες περιβαλλοντικής επίδοσης που επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ παραγωγικών μονάδων ή τη σύγκριση βάσει προκαθορισμένων περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών κάνει ο Tyteca (1996). Περιγράφει διαφορετικές προσεγγίσεις μέτρησης και αξιολόγησης με βάση τη μέθοδο DEA, καθώς και τις

απαιτούμενες πληροφορίες που θα πρέπει να συλλεχθούν. Τέλος, συσχετίζει την περιβαλλοντική επίδοση με τις πραγματικές επιπτώσεις στην υγεία και στο περιβάλλον.

2.12 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου DEA

Στη συνέχεια αναφέρονται επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα εφαρμογής της DEA , καθώς και τα κυριότερα αδύνατα σημεία της. Σύμφωνα με τον Harrison (2010):

- Δεν απαιτούνται περιορισμοί και κανενός είδους συνάρτηση μεταξύ εισόδων ή εξόδων.
- Χειρίζονται πολλές είσοδοι και έξοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικές μονάδες μεταξύ τους (π.χ. χρηματικές μονάδες, χρόνος, πλήθος εργαζομένων, ενέργεια κ.λπ.).
- Αναγνωρίζονται οι αποδοτικές DMUs που καθορίζουν το άνω όριο αποδοτικότητας.
- Ποσοτικοποιείται η έλλειψη αποδοτικότητας των υπόλοιπων DMUs, αναγνωρίζοντας τις ομότιμες αποδοτικές (peers), δίνοντας έτσι πληροφορίες για το τι πρέπει να αλλάξει στις εισόδους και εξόδους ώστε να γίνουν αποδοτικές.
- Κάθε DMU επιλέγει τους δικούς της συντελεστές βαρύτητας για τις εισόδους ή εξόδους ώστε να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητά της, ωστόσο οι μη αποδοτικές περιορίζονται από τις ομότιμές τους.
- Είναι δυνατή η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και δημογραφικών μετρήσεων ως είσοδοι, οι οποίες επηρεάζουν την αποδοτικότητα. Ωστόσο, δεν είναι πάντα εύκολη η εισαγωγή τους στο μοντέλο.
- Υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου των περιθωρίων των inputs και outputs ή διαφορετικά μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την κατανάλωση εισόδων ή παραγωγή εξόδων.
- Λαμβάνονται υπόψη τα διαφορετικά μεγέθη των DMUs.

Σύμφωνα με τους Golani et al. (1994) και Boussofiane et al. (1991) υπάρχει ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων του τι μπορεί κανείς να πετύχει με τη μέθοδο DEA. Μερικά από τα οποία είναι τα εξής:

- Αναγνώριση των αιτιών και ποσοτικοποίηση της μη αποδοτικότητας των DMUs εστιάζοντας στις εισόδους και εξόδους.
- Κατάταξη των DMUs βάσει της αποδοτικότητάς τους από τις ομότιμές τους.
- Αξιολόγηση της διοίκησης - διαχείρισης των DMUs.
- Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας προγραμμάτων και πολιτικών πέραν του ελέγχου των DMUs.

- Ανακατανομή πόρων (resource allocation) με βάση τα αποτελέσματα των περιθωρίων (slacks) και στόχων (targets) που προκύπτουν για τις DMUs.
- Αναγνώριση αποτελεσματικών DMUs, όχι απαραίτητα για σύγκριση, αλλά για έλεγχο νέων προϊόντων.
- Έλεγχος και ανάλυση σχέσης μεταβολών των μεταβλητών εισόδου ή / και εξόδου με την τελική αποδοτικότητα των DMUs .
- Σύγκριση και αντιπαράθεση αποτελεσμάτων παλαιότερων ερευνών.

Τα αδύνατα σημεία της μεθόδου σύμφωνα με τους Boussofiane et al. (1991) είναι :

- η μέθοδος προσπαθώντας να θέσει μια DMU πλήρως αποδοτική, υπάρχει περίπτωση να κατανείμει σχεδόν όλους τους συντελεστές βαρύτητας σε μια είσοδο ή / και σε μια έξοδο. Δηλαδή, η DMU για την οποία ένας επιμέρους λόγος εξόδου προς μια είσοδο είναι ο υψηλότερος, η μέθοδος DEA μπορεί να κατανείμει όλους τους συντελεστές βαρύτητας στον λόγο αυτό (οι υπόλοιποι συντελεστές βαρύτητας θα είναι μηδενικοί) και η DMU να είναι τελικά αποδοτική (100%), χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι υπόλοιπες μεταβλητές.
- η μέθοδος δεν μπορεί να δώσει απάντηση στο πώς θα πρέπει να ανακατανεμηθούν οι συνολικοί πόροι μιας επιχείρησης μεταξύ των DMUs της επιχείρησης ώστε η συνολική αποδοτικότητα της επιχείρησης να είναι μέγιστη.

Ενώ οι Sherman & Zhu (2006) τονίζουν ότι η DEA δεν είναι σε θέση να εντοπίσει όλες τις ελλείψεις αποδοτικότητας στις DMUs παρά μόνο αυτές που σχετίζονται με τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές.

2.13 Μεθοδολογία παρουσίασης αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τους Golani et al. (1994), ένα από τα σημαντικότερα θέματα και ίσως αρκετά παραμελημένο είναι ο τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων, ώστε να εξυπηρετούν καλύτερα τους αρχικούς λόγους μέτρησης της αποδοτικότητας. Το γεγονός ύπαρξης πολλών πινάκων και επιμέρους παραμέτρων προς παρουσίαση, πολλές φορές των ίδιων σημείων, αλλά από διαφορετική οπτική γωνία, δημιουργεί την ανάγκη εύρεσης ελκυστικού τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων προς τα στελέχη της επιχείρησης.

Στα βασικά στοιχεία κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης μέσω του μοντέλου CCR (CRS) θα πρέπει να περιλαμβάνονται τουλάχιστον τα εξής (Golany & Roll (1989); Boussofiane et al. (1991)):

- Τα αποτελέσματα (score) της Τεχνικής αποδοτικότητας (Technical Efficiency) της κάθε DMU ως προς τις υπόλοιπες προς αξιολόγηση.
- Τα περιθώρια (slacks) όσον αφορά τις ελλιπείς εξόδους (παραγωγή) ή τις περίσσειες (surplus) εισόδων (πόρων). Επίσης, τις ποσοστιαίες αυξήσεις των εξόδων ή μειώσεις των εισόδων ώστε η μη αποδοτική DMU να γίνει αποδοτική σε σύγκριση με τις ομότιμές τους.
- Τις πλήρως αποδοτικές ομότιμες DMUs (peers) για τις μη αποδοτικές DMUs.
- Τους συντελεστές βαρύτητας (weights) των μεταβλητών του γραμμικού μοντέλου της μεθόδου DEA, οι οποίοι προκύπτουν από την επίλυση των γραμμικών εξισώσεων και καταδεικνύουν τις σημαντικές μεταβλητές για κάθε DMU.
- Τις μεταβολές αποδοτικότητας στο χρόνο (Malmquist Index).

Στην περίπτωση του BCC (VRS) μοντέλου, το οποίο λαμβάνει υπόψη του το μέγεθος της DMU στα αποτελέσματα θα πρέπει να περιέχονται:

- Το Βέλτιστο Μέγεθος Παραγωγής ανά DMU (Most Productive Scale Size - MPSS)
- Η Καθαρή Τεχνική Αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency) της κάθε DMU (η οποία διαφέρει ανάλογα αν θεωρήσουμε μοντέλο προσανατολισμένο στις εισόδους ή στις εξόδους).
- Την Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency) της κάθε DMU (με τη βοήθεια του CCR μοντέλου).

Σε κάθε μοντέλο θα πρέπει να παρουσιάζεται η κατάταξη των DMUs με βάση το αποτέλεσμα αποδοτικότητας και επιπλέον, η συχνότητα εμφάνισης των πρωτευσάντων DMUs σε όλα τα μοντέλα, ώστε να βεβαιώνεται ποιες DMUs είναι πλήρως αποδοτικές ανεξάρτητα από το μοντέλο που χρησιμοποιείται.

Για τον ίδιο λόγο, θα πρέπει να παρουσιάζεται και η συχνότητα της κάθε DMU που αποτελεί ομότιμη (peer) για τις μη αποδοτικές DMUs (Golany & Roll, 1989).

Μια άλλη τάση στα αποτελέσματα της μεθόδου DEA είναι η κατηγοριοποίηση των DMUs σε ομάδες, ώστε να μελετηθεί και η σχετική αποδοτικότητα της κάθε ομάδας (π.χ. Λιγνιτικοί σταθμοί, Φυσικού Αερίου και Diesel).

Όταν πολλές από τις DMUs παρουσιάζουν αποδοτικότητα 100%, το αποτέλεσμα θεωρείται μη αποδεκτό. Θα πρέπει να υπάρχουν πολλές DMUs που να μην είναι πλήρως αποδοτικές, ώστε να υπάρχει υψηλό επίπεδο ταξινόμησης (διακριτότητα) (Sueyoshi & Goto, 2011).

Τέλος, κάτι το οποίο τονίζεται μόνο από τους Boussofiane et al. (1991) είναι ότι η αναγνώριση και υιοθέτηση καλών πρακτικών μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση αποδοτικότητας, όχι μόνο τις σχετικά μη αποδοτικές DMUs, αλλά και στις πλήρως αποδοτικές. Παρόλο που οι τελευταίες είναι οι φανερές "πηγές" καλών λειτουργικών πρακτικών μεταξύ αυτών κάποιες αποτελούν καλύτερο παράδειγμα από τις υπόλοιπες.

2.14 Λογισμικά επίλυσης μοντέλων DEA

Για την επίλυση των μοντέλων DEA χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα λογισμικά, χωρίς τα οποία η διαδικασία επίλυσης του γραμμικού μοντέλου εξισώσεων θα ήταν πολύ χρονοβόρα και δεν θα υπήρχε η ευχέρεια για αυξημένο πλήθος δοκιμών και ευρύτητας αποτελεσμάτων. Στο σημείο αυτό αναφέρονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές (όπου υπάρχει αναφορά) των επιστημονικών άρθρων της παρούσας βιβλιογραφίας (Πίνακας 2.1) ενώ γίνεται αναλυτική περιγραφή του PIM-DEA v3.0, με το οποίο «έτρεξαν» όλα τα σενάρια αξιολόγησης της εργασίας αυτής. Για εκτενή αναφορά σε πλήθος άλλων λογισμικών της μεθόδου μπορεί κανείς να ανατρέξει στον Ramanathan (2003, σ.113), αν και πρόκειται για αναφορά της περασμένης δεκαετίας.

2.14.1 Το Λογισμικό PIM – DEA v3.0

Πρόκειται για το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, προκειμένου να επιλυθούν όλα τα μοντέλα DEA που αναπτύχθηκαν καθώς και για τη διερεύνηση των σεναρίων αξιολόγησης των σταθμών παραγωγής.

Πίνακας 2.1: Λογισμικά για την μέθοδο DEA

Επιστημονικό Άρθρο	Software
(Sarıca & Or, 2007)	Package developed by Saitech Inc. (L.P. Optimization)
(Barros & Peypoch, 2008)	GAMS
(Çelen, 2013) ; (Zhou et al., 2008) ; (Chien et al., 2003)	DEAP (Coelli, 1996)
(Zhou et al., 2008)	EMS (Efficiency Measurement System) (Scheel 2000)
(Zhou et al., 2008)	Self-coded Programs (Excel, Matlab)
(Hosseini & Hasanpour, 2011)	EMS
(Dedoussis et al., 2010)	In-house code developed runs in MS Excel
(Boussofiane et al., 1991)	Warwick DEA Software (Thanassoulis, 1989)
(Sofianopoulou et al., 2009)	Self-coded Programs in Excel

Το PIM (Performance Improvement Management) – DEA soft v3.0 είναι ένα σχετικά εύχρηστο λογισμικό, το οποίο διαθέτει επιπλέον πολλές δυνατότητες. Περιλαμβάνει μεγάλο εύρος όλων των σύγχρονων μοντέλων DEA και μπορεί να διαχειριστεί μεγάλο πλήθος δεδομένων ενώ μπορεί με ευκολία να ανταπεξέλθει στα εξής:

- Αξιολόγηση DMUs υπό CRS ή VRS θεώρηση.
- Αξιολόγηση DMUs υπό DRS ή IRS θεώρηση.
- Αξιολόγηση DMUs με περιορισμούς στις εισόδους ή και στις εξόδους του μοντέλου.
- Καθορισμός Στόχων Αποδοτικότητας, ορίζοντας προτεραιότητες στη βελτίωση των εισόδων και εξόδων.
- Αξιολόγηση DMUs με μερικές εξωγενείς μεταβλητές και θεώρηση VRS.
- Υπολογισμός της Υπερ-αποδοτικότητας (Super-Efficiency) των DMUs και αυτόματη απόρριψη των DMUs που ξεπερνούν κάποιο όριο αποδοτικότητας και επαναξιολόγησης των υπόλοιπων DMUs εισάγοντας τιμές κόστους πόρων ή τιμές πώλησης των εξόδων (προϊόντων).
- Υπολογισμός της Αποδοτικότητας Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency).
- Αναγνώριση των τοπικών σημείων στις αποδοτικές υπό VRS DMUs με συμπεριφορά IRS, DRS ή CRS.
- Υπολογισμός των Δεικτών Malmquist και των επιμέρους τμημάτων τους, υπό CRS ή VRS.

- Υπολογισμός των Πινάκων Διασταυρούμενων Αποδόσεων (Cross-Efficiency).

Επίσης, μέσω του PIM-DEA μπορεί κανείς να παράγει αποτελέσματα σε διάφορες μορφές, όπως:

- Πίνακες Αποδοτικότητας.
- Πίνακες Αποδοτικότητας - Pareto (input - output levels) για τις DMUs.
- Πίνακες με τις ομότιμες (peers) DMUs για κάθε μη αποδοτική DMU.
- Πίνακες με τους συντελεστές βαρύτητας (Weights) εισόδων-εξόδων.
- Συνοπτικά Στατιστικά των αρχικών δεδομένων και των αποδόσεων.
- Διαγράμματα με τις Πιθανές Περιοχές Παραγωγής (Production Possibility Set) για οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων (όταν το πλήθος των εισόδων και εξόδων το επιτρέπει).
- Αναφορές απευθείας σε μορφή EXCEL, WORD, PDF ή HTML.
- Διαγράμματα – Γραφήματα με δυνατότητα αποθήκευσης ως εικόνα.

Τέλος, υπάρχουν δυνατότητες για εισαγωγή δεδομένων μέσω του EXCEL, χρήση κατηγοριοποιημένων μεταβλητών για επιλογή υποσυνόλου των αρχικών DMUs και "τρέξιμο" πολλαπλών μοντέλων DEA με διαφορετικές μεταβλητές (από ένα σύνολο αρχικών) σε μορφή batch (δέσμη).

Για λεπτομέρειες σχετικά με τις δυνατότητες του προγράμματος, αλλά και οδηγίες χρήσης μπορεί κανείς να ανατρέξει στους Emrouznejad & Thanassoulis (2011)

3. ΜΕΘΟΔΟΣ DEA - ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μέθοδος DEA έχει κατά επανάληψη εφαρμοστεί στην ενεργειακή βιομηχανία σε παγκόσμιο και σε τοπικό επίπεδο ώστε να αξιολογηθούν με την βοήθειά της σταθμοί παραγωγής μετά από αλλαγές στο ιδιοκτησιακό τους καθεστώς, ανάλογα με το καύσιμό τους, το μέγεθός τους, αλλά και την περιβαλλοντική τους επίπτωση (Tai et al., 2010).

Στο σημείο αυτό αναφέρονται τα κυριότερα σημεία των επιστημονικών άρθρων που συνθέτουν τη βιβλιογραφία της παρούσας μελέτης και συνδέονται με την εφαρμογή της μεθόδου στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας (κυρίως παραγωγή). Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται λεπτομέρειες από την εφαρμογή της μεθόδου ανά επιστημονικό άρθρο που σχετίζονται με τις εισόδους (inputs), τις εξόδους (outputs), τη χώρα, το είδος των σταθμών και τον προσανατολισμό (input – output oriented) ανά περίπτωση. Ακολουθεί περιγραφή των κυριότερων σημείων των άρθρων του Πίνακα 3.1, ενώ στη συνέχεια αναφέρονται μερικά ακόμη ενδιαφέροντα άρθρα.

Πίνακας 3.1: Εφαρμογή της DEA στον κλάδο της Ηλεκτρικής Ενέργειας – Διεθνής Εμπειρία

	Αναφορά	Είσοδοι (Inputs)	Έξοδοι (Outputs)	Παρατηρήσεις
1	(Xi-ping & Tian, 2012)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • SO_2	• Κίνα • Output oriented
2	(Yang et al., 2007)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό • SO_2, NO_X, CO_2	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Κίνα • Input & Output oriented • Λιγνιτικοί Σταθμοί
3	(Chen et al., 2013)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια Βιομηχανικής. Χρήσης • Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια Οικιακής χρήσης • CO_2	• Σχετική Αποδοτικότητα 73 χωρών
4	(Tai et al., 2010)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Παραγόμενο SO_2	• Input oriented
5	(Liu et al., 2013)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • SO_2, NO_X, CO_2	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Input oriented • Taiwan Public Company
6	(Färe et al., 1996)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό • SO_2, NO_X, CO_2	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Παραγόμενο SO_2	• Input oriented • ΗΠΑ
7	(Sarıca & Or, 2007)	• Κόστος Καυσίμου • Κόστος Λειτουργίας (Υδροηλεκτρικά) • Περιβαλλοντικό Κόστος (SO_2,	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Διαθεσιμότητα	• Τουρκία • Και Μέτρηση Απόδοσης Επένδυσης

		NO_X, DUST) • CO • Κόστος Επένδυσης • Χρονική Διάρκεια Κατασκευής		
8	(Barros & Peypoch, 2008)	• Λειτουργικό Κόστος (Μισθοδοσία και Καύσιμο) • Λογιστική Αξία Ενεργητικού • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Συντελεστής Εκμετάλλευσης	• Output oriented • Τουρκία
9	(Liu et al., 2010)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Ιδιοκατανάλωση	• Καθαρή Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Input oriented • Taiwan
10	(Barros J., 2013)	• Λογιστική Αξία Εγκαταστάσεων • Επενδυτικό Κόστος • Προσωπικό • Λειτουργικό Κόστος • Αέρια Ρύπανση • Ρύπανση νερού	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Εγκατεστημένη Ισχύς	• Πορτογαλία
11	(Hosseini & Hasanpour, 2011)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Output oriented • Ιράν
12	(Azadeh et al., 2007)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Κόστος Μισθοδοσίας • Ιδιοκατανάλωση • Ώρες αναγκαστικής Κράτησης • Ώρες αναγκαστικής Λειτουργίας)	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Input oriented • Ιράν
13	(Athanassopoulos et al., 1999)	• Καύσιμο (Θερμ. Ενέργεια) • Ελεγχόμενα Κόστη (Μισθοδοσία) • Επενδύσεις	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Διαθεσιμότητα • Αριθμός Ατυχημάτων • Ρύπανση	• Χρήση Weight Restriction • UK
14	(Chien et al., 2003)	• Γενικός Εξοπλισμός • Προσωπικό	• Πλήθος Πελατών • Δίκτυο Διανομής • Ονομαστικό Φορτίο Μ/Σ	• Κέντρα Διανομής Ηλ. Ενέργειας • Κίνα
15	(Meenakumari & Kamaraj, 2008)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Δίκτυο Διανομής • Απώλειες Μεταφοράς και Διανομής (%)	• Πλήθος Πελατών • Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Ινδία
16	(Çelen, 2013)	• Μήκος Δικτύου • Ονομαστικό Φορτίο Μ/Σ • Προσωπικό • Ποιότητα Ηλεκτρισμού (Διάρκεια blackout) • Πυκνότητα Πελατών • Ποσοστό Κατανάλωσης ανά κάτοικο ανά περιοχή • Περιβαλλοντική Μεταβλητή • Μεταβλητή Ιδιοκτησίας	• Διανεμημένη Ηλ. Ενέργεια • Πλήθος Πελατών	• Input oriented • Τουρκία • Διανομή Ηλ. Ενέργειας
17	(Golani et al., 1994)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Παραγόμενο SO_2 • Διαθεσιμότητα • Απόκλιση από τις Λειτουργικές Παραμέτρους	• Ισραήλ • Output oriented
18	(Fallahi et al., 2011)	• Καύσιμο (Θερμική Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό • Ειδικευμένοι Εργαζόμενοι • Ανειδίκευτοι Εργαζόμενοι • Ιδιοκατανάλωση • Μέσος Χρόνος Λειτουργίας	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Ιράν
19	(Sueyoshi et al., 2010)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Επενδυτικά Κόστη • Προσωπικό • Κόστος λειτουργίας και Συντήρησης	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • SO_2, NO_X, CO_2	• ΗΠΑ
20	(Sueyoshi & Goto, 2011)	• Καύσιμο (ποσότητα) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Προσωπικό	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Παραγόμενο CO_2	• Ιαπωνία

21	(Korhonen & Luptacik, 2004)	• Συνολικό Κόστος • SO_2, NO_X, Dust	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • SO_2, NO_X, Dust	• Ευρωπαϊκή Χώρα • Αποτίμηση Προγράμματος Μείωσης Ρύπων
22	(Tankersley W. & Tankersley J., 1996)	Financial DEA model • Διοικητικά Έξοδα • Έξοδα διανομής • Έξοδα Καταναλωτή • Σταθμοί Παραγωγής	• Περιθώρια Λειτουργίας • Δείκτης Απόδοσης Επενδύσεων • Ιδία Κεφάλαια	• ΗΠΑ • Διανομή Ηλ. Ενέργειας • 3 DEA μοντέλα (Financial, Quality, Environmental)
23	(Sofianopoulou et al., 2009)	• Καύσιμο (Θερμική Ενέργεια) • Εγκατεστημένη Ισχύς • Ημερομηνία έναρξης Λειτουργίας • Χρόνος Λειτουργίας • Σταθερά Κόστη • Μεταβλητά Κόστη	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Διαθεσιμότητα • Παραγόμενο CO_2	• Ελλάδα • Output Oriented • 13 Μονάδες Φυσικού Αερίου
24	(Halkos & Tzeremes, 2012)	• Δείκτης Δανειακής Επιβάρυνσης • Δείκτης Ενεργητικού • Κύκλος Εργασιών	• Μεικτά Κέρδη • Περιθώριο Κέρδους • Απόδοση Ιδίων Κεφαλαίων • Απόδοση Ενεργητικού	• Ελλάδα • 78 Εταιρείες ΑΠΕ • Οικονομική Αποδοτικότητα
25	(Dedoussis et al., 2010)	• Ημερομηνία Λειτουργίας • Εγκατεστημένη Ισχύς • Ετήσιος Χρόνος Λειτουργίας	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια • Διαθεσιμότητα • Προγραμματισμένες Κρατήσεις (%) • Μη Προγραμματισμένες Κρατήσεις (%)	• Ελλάδα • Υδροηλεκτρικά • Output oriented
26	(Tsolas, 2010)	• Ώρες Λειτουργίας • Προσωπικό • SO_2, NO_X, CO_2	• Παραγόμενη Ηλ. Ενέργεια	• Ελλάδα

1. Οι Xi-ping & Tian (2012) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο DEA αξιολογούν 13 λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής, σε μια από τις επαρχίες της Κίνας, βάσει ενεργειακών και περιβαλλοντικών μεταβλητών. Τα δεδομένα αφορούν την περίοδο 2009 - 2011, ενώ από τα συμπεράσματα προκύπτει ότι οι μη επιθυμητές μεταβλητές έχουν σημαντική επίπτωση στην ενεργειακή αποδοτικότητα των σταθμών. Επίσης, αναφέρουν ότι για την επίτευξη αειφόρου ανάπτυξης οι σταθμοί θα πρέπει να εστιάσουν στην εξοικονόμηση καυσίμου, αλλά και στη μείωση των εκπομπών ρύπων.

2. Οι Yang et al. (2007) με τη βοήθεια της DEA μετρούν την αποδοτικότητα 582 λιγνιτικών σταθμών για το 2001, ξεφεύγοντας από τις παραδοσιακές μεθόδους όσον αφορά τον χειρισμό των μη επιθυμητών εξόδων (ρύπων). Προτείνουν μοντέλα, στα οποία γίνεται διάκριση της ασθενούς (weak) και της ισχυρής (strong) αναλωσιμότητας (disposability) χαρακτηριστικών των μη επιθυμητών εξόδων ανάλογα με την τεχνική φύση και καταλήγουν ότι οι σταθμοί παραγωγής στην Κίνα είναι λιγότερο αποδοτικοί σε σύγκριση με τους ευρωπαϊκούς και των ΗΠΑ.

3. Οι Chen et al. (2013) μέσω της DEA αξιολογούν την ηλεκτροπαραγωγή 73 χωρών (Ευρώπη, Αμερική και Ασία) λαμβάνοντας υπόψη το CO_2 ως ρύπο και καταλήγουν στο

συμπέρασμα ότι οι ευρωπαϊκές χώρες είναι οι λιγότερο αποδοτικές στην ηλεκτροπαραγωγή (για τα έτη 2006 έως 2008). Επιπλέον, ελέγχουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ αποδοτικότητας στην ηλεκτροπαραγωγή και το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ), την αστικοποίηση και την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συμπεραίνουν ότι τα πρώτα δύο επηρεάζουν την αποδοτικότητα.

4. Σύμφωνα με τους Tai et al. (2010), οι οποίοι αξιολογούν την αποδοτικότητα ηλεκτροπαραγωγής λιγνιτικών σταθμών σε τριάντα κινεζικές περιοχές μεταξύ του 1999 και του 2007 λαμβάνοντας υπόψη το SO_2 ως ρύπο, υπάρχει ανάπτυξη κατά 3,96% (Δείκτης Malmquist), η οποία οφείλεται κυρίως σε τεχνολογικές αλλαγές.

5. Οι Liu et al. (2013), λαμβάνοντας υπόψη τους τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (CO_2, SO_2, NO_x), αξιολογούν με τη βοήθεια της DEA επτά θερμικούς σταθμούς (λιγνιτικοί, φυσικού αερίου, πετρελαϊκοί, μικτοί) της Ταϊβάν από το 2001 έως το 2008. Μέσω της ανάλυσης αποτελεσμάτων προσπαθούν να αναγνωρίσουν πιθανούς τρόπους βελτίωσης των μη αποδοτικών σταθμών και προτείνουν ως κύριες στρατηγικές τη μείωση κατανάλωσης καυσίμου και του εκπεμπόμενου CO_2 .

6. Οι Färe et al. (1996) αξιολογούν λειτουργικά και περιβαλλοντικά 49 θερμικούς σταθμούς που βρίσκονται στις ΗΠΑ και χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη, φυσικό αέριο ή πετρέλαιο. Εισάγουν έναν νέο περιβαλλοντικό δείκτη αποδοτικότητας βασιζόμενο στην "αποσύνθεση" του συνολικού δείκτη αποδοτικότητας στο περιβαλλοντικό και στο λειτουργικό του τμήμα. Συγκρίνουν τα αποτελέσματά τους με αυτά του πιο συμβατικού δείκτη του μοντέλου Jaggi-Freedman και καταλήγουν ότι υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις.

7. Οι Sarıca & Or (2007) μέσω της μεθόδου DEA μετρούν τη σχετική αποδοτικότητα 65 σταθμών (θερμικών, υδροηλεκτρικών και αιολικών) ιδιωτικών και δημόσιων, στην Τουρκία. Αξιολογούν τόσο την λειτουργική όσο και την επενδυτική αποδοτικότητα και συγκρίνουν τους ιδιωτικούς με τους δημόσιους σταθμούς, αλλά και τη χρήση των διαφορετικών τύπων καυσίμου. Αξιοσημείωτο είναι ότι στα CCR (CRS) και BBC (VRS) μοντέλα κάνουν χρήση περιορισμών (Weight Restrictions) τόσο στις μεταβλητές εισόδου όσο και εξόδου. Τέλος, προκύπτει ως συμπέρασμα ότι η κανονικοποίηση των δεδομένων αυξάνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

8. Οι Barros & Peypoch (2008) αναλύουν σε δύο στάδια τη σχετική αποδοτικότητα επτά θερμοηλεκτρικών σταθμών της Πορτογαλίας. Αρχικά υπολογίζουν τη σχετική τεχνική αποδοτικότητα των σταθμών μέσω της DEA για την περίοδο 1996 έως 2004, ενώ στη συνέχεια υιοθετούν την τεχνική bootstrapped ώστε να οδηγηθούν στις κύριες μεταβλητές

(παράγοντες) που επηρεάζουν και καθορίζουν τις αποδοτικότητες. Επιπλέον, θεωρούν ότι κάθε DMU διαθέτει ίδια τεχνολογία μετατροπής των εισόδων της σε εξόδους.

9. Οι Liu et al. (2010) μελετούν την αποδοτικότητα των κυριότερων θερμικών σταθμών της Ταϊβάν, μεταξύ 2004 και 2006, εφαρμόζοντας παράλληλα ελέγχους σταθερότητας (stability test) προκειμένου να πιστοποιήσουν το μοντέλο τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, όλοι οι θερμικοί σταθμοί παρουσιάζουν αποδεκτή αποδοτικότητα, ενώ οι σταθμοί συνδυασμένου κύκλου (combined cycle) είναι οι πιο αποδοτικοί. Επίσης, συμπεραίνουν ότι η σημαντικότερη μεταβλητή είναι αυτή της θερμικής ενέργειας των συνολικών καυσίμων (η οποία χρησιμοποιείται και στην παρούσα έρευνα).

10. Ο Barros (2013) αξιολογεί επτά θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Πορτογαλίας για την περίοδο 1995 - 2010 ως προς τη συνολική τους παραγωγικότητα λαμβάνοντας υπόψη του μη επιθυμητές εξόδους (ρύπανση) και καταλήγει ότι η κατάταξη των σταθμών διαφέρει σημαντικά όταν συνυπολογίζεται και η ρύπανσή τους.

11. Οι Hosseini & Hasanpour (2011) μετρούν τη σχετική αποδοτικότητα 44 θερμικών σταθμών (steam turbine, gas turbine, combined cycle και diesel) του Ιράν, μέσω της μεθόδου DEA, για την περίοδο 2002 έως 2008. Χρησιμοποιούν τον δείκτη Malmquist προκειμένου να υπολογίσουν τυχόν αλλαγές αποδοτικότητας σε αυτό το χρονικό διάστημα, ενώ αξιοποιούν τους επιμέρους συντελεστές του δείκτη για να προσδιορίσουν την προέλευση της αλλαγής. Η χρονική αυτή περίοδος συμπίπτει με μια μερική απελευθέρωση του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ιράν και μέσω της έρευνας μελετούνται αλλαγές που έχουν συμβεί στην αποδοτικότητα των θερμικών σταθμών προτείνοντας συγκεκριμένα μέτρα βελτίωσης.

12. Οι Azadeh et al. (2007) αξιολογούν την αποδοτικότητα 40 θερμικών σταθμών (steam turbine, gas turbine, combined cycle) του Ιράν μεταξύ 1997 και του 2000 μέσω της DEA θεωρώντας VRS (Variable returns to Seale) μοντέλο. Αφού πρώτα επικυρώνουν τα αποτελέσματά τους μέσω της μεθόδου PCA (Principle Component Analysis) και NT (Numerical Taxonomy) με συντελεστή συσχέτισης Spearman στη συνέχεια αξιολογούν και ταξινομούν όλους τους σταθμούς.

13. Οι Athanassopoulos et al. (1999) παρουσιάζουν πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος DEA ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη σεναρίων άσκησης πολιτικής και να μπορούν οι managers να διαβλέπουν την αντίδραση των παραγωγικών μονάδων, όπως είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, θέτοντας διαφορετικές κάθε φορά προτεραιότητες ως προς τη ζήτηση υπηρεσιών, το κόστος και τις εκπομπές ρύπων.

14. Οι Chien et al. (2003) αξιολογούν 17 κέντρα κατανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ταϊβάν πριν και μετά από προτεινόμενη αναδιοργάνωση (2000) και καταλήγουν ότι μετά την αναδιοργάνωση η αποδοτικότητα ήταν υψηλότερη. Επίσης, δίνονται κατευθύνσεις ώστε τα μη αποδοτικά κέντρα να βελτιώσουν την αποδοτικότητά τους διατηρώντας το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ώστε να αντιμετωπιστεί η απελευθέρωση στον χώρο της ενέργειας.

15. Οι Meenakumari & Kamaraj (2008) υπολογίζουν τη σχετική αποδοτικότητα 29 κρατικών σταθμών στην Ινδία και προτείνουν βελτιώσεις όσον αφορά την τεχνική αποδοτικότητα, αλλά και το βέλτιστο μέγεθος.

16. Ο Çelen (2013) εξετάζει την αποδοτικότητα 21 τουρκικών εταιρειών διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Τουρκία, μεταξύ 2002 και 2009. Χρησιμοποιούν τεχνική δύο σταδίων ώστε να εντοπίσουν ποιες μεταβλητές είναι αυτές που ελέγχουν την αποδοτικότητα. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζουν την DEA, ενώ στο δεύτερο το μοντέλο Tobit, όπου λαμβάνουν σαν ανεξάρτητη μεταβλητή την αποδοτικότητα (της DEA) και καθορίζουν ποιες μεταβλητές μπορούν να ερμηνεύσουν την αποδοτικότητα αυτή.

17. Οι Golani et al. (1994), αφού φιλτράρουν ένα πλήθος πιθανών χρησιμοποιούμενων μεταβλητών και καταλήξουν στις πιο σχετικές, μετρούν την αποδοτικότητα τεσσάρων σταθμών στο Ισραήλ, λαμβάνοντας υπόψη τους τις εκπομπές ρύπων (ως κατηγοριοποιημένη μεταβλητή). Η έρευνα αφορά την περίοδο Σεπτεμβρίου 1981 ως το Νοέμβριο του 1987 χωρισμένη σε τρίμηνες περιόδους.

18. Οι Fallahi et al. (2011) ερευνούν 32 θερμικούς σταθμούς στο Ιράν και τους αξιολογούν μέσω της DEA. Υπολογίζουν τη σχετική αποδοτικότητα και τη μεταβολή παραγωγικότητας για την περίοδο 2005 έως 2009.

19. Οι Sueyoshi et al. (2010) αξιολογούν 136 λιγνιτικούς σταθμούς των ΗΠΑ (1995-2007) τόσο λειτουργικά όσο και περιβαλλοντικά μέσω ενός μοντέλου DEA, το οποίο ενσωματώνει τις θεμιτές και τις μη επιθυμητές εξόδους (ρύπανση) των σταθμών κατά μοναδικό τρόπο. Εφαρμόζουν δύο διαφορετικά μοντέλα DEA για τον υπολογισμό της λειτουργικής και της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας και στο τέλος συνθέτουν τα δύο αποτελέσματα σε μια τελική αποδοτικότητα.

20. Οι Sueyoshi & Goto (2011) χρησιμοποιούν μια νέα προσέγγιση της μεθόδου DEA για τη μέτρηση της αποδοτικότητας (λειτουργικής και περιβαλλοντικής) εννέα θερμικών σταθμών της Ιαπωνίας μεταξύ 2004 και 2008. Διακρίνουν τις μεταβλητές εξόδου σε

επιθυμητές και μη επιθυμητές και τις μεταβλητές εισόδου σε ενεργειακές και μη ενεργειακές. Τέλος, ερευνούν το αν το Πρωτόκολλο του Κιότο (2005) επηρέασε τη συνολική αποδοτικότητα των σταθμών και καταλήγουν σε αρνητική απάντηση. Τονίζουν ότι η Ιαπωνία διαθέτει σε παγκόσμιο επίπεδο την πιο προηγμένη τεχνολογία μείωσης του εκπεμπόμενου CO_2 (σειρά κατάταξης: Ιαπωνία, Αγγλία, Γερμανία, Ιταλία και ΗΠΑ), ενώ οι λιγνιτικοί της σταθμοί έχουν μεγαλύτερη από τη διπλάσια τεχνολογική αποδοτικότητα από την Κίνα και την Ινδία.

21. Οι Korhonen & Luptacik (2004) λόγω απουσίας τιμών κόστους στις μη επιθυμητές εξόδους (εκπεμπόμενους ρύπους) αξιοποιούν τη μέθοδο DEA για τη μέτρηση αποδοτικότητας επτά θερμικών σταθμών της Πορτογαλίας, λειτουργικά και περιβαλλοντικά. Χρησιμοποιούν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στην πρώτη, υπολογίζουν ξεχωριστά την τεχνική και την περιβαλλοντική (οικολογική) αποδοτικότητα και συνθέτουν στο τέλος τους δύο δείκτες. Στην δεύτερη, εκλαμβάνουν τις μη επιθυμητές εξόδους ως εισόδους, με το σκεπτικό ότι θα πρέπει να μειωθούν όπως και οι υπόλοιπες είσοδοι. Η έρευνά τους έχει ως σκοπό την αξιολόγηση του προγράμματος μείωσης ρύπων που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη χώρα.

22. Οι Tankersley W. & Tankersley J. (1996) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της έρευνάς τους, που αφορά τη μέτρηση της λειτουργικής αποδοτικότητας εταιρειών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Καρολίνα των ΗΠΑ, μέσω της μεθόδου DEA.

23. Οι Sofianopoulou et al. (2009) αξιολογούν τους πέντε σταθμούς (13 μονάδες) φυσικού αερίου που υπάρχουν στην Ελλάδα για το έτος 2006 με χρήση της ίδιας μεθόδου. "Τρέχουν" τρία σενάρια αξιολόγησης (τεχνικό, περιβαλλοντικό, οικονομικό) κάνοντας χρήση διαφορετικών μεταβλητών σε κάθε σενάριο. Πέρα από την αξιολόγηση, προτείνουν επίσης πολιτικές βελτίωσης στους διαχειριστές των σταθμών, προκειμένου να αυξήσουν τη λειτουργική αποδοτικότητά τους.

24. Οι Dedoussis et al. (2010) υπολογίζουν την σχετική αποδοτικότητα 20 υδροηλεκτρικών σταθμών της Ελλάδας (ΔΕΗ), βάσει πραγματικών δεδομένων και προτείνουν διάφορα σενάρια βελτίωσης αυτής. Τα δεδομένα αφορούν το έτος 2006 και σύμφωνα με τους ερευνητές αποτελεί την πρώτη μεγάλη έρευνα του είδους της στην Ελλάδα. Προτείνει δε στην ΔΕΗ χρήσιμες πληροφορίες για λειτουργικές διορθώσεις, μετατροπές και βελτιώσεις.

25. Οι Halkos & Tzeremes (2012) αξιολογούν την οικονομική αποδοτικότητα 78 εταιρειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές (αιολικά,

υδροηλεκτρικά, φωτοβολταϊκά): οι εταιρείες βρίσκονται στην Ελλάδα και τα δεδομένα αφορούν τα έτη 2006 έως 2008.

26. Ο Tsolas (2010), σύμφωνα με τη βιβλιογραφική έρευνα της παρούσας εργασίας, είναι ο πρώτος που αξιολογεί με την DEA ελληνικούς θερμικούς σταθμούς και λαμβάνει υπόψη του μη επιθυμητές εξόδους. Εξετάζει τη στατιστική σημαντικότητα των δεικτών αποδοτικότητας μέσω της προσέγγισης boot strapping και καταλήγει ότι οι μη λιγνιτικοί σταθμοί είναι περισσότερο αποδοτικοί από τους λιγνιτικούς.

Σύμφωνα με τους Färe & Grosskopf (2004) προτείνεται μια εναλλακτική προσέγγιση σύνδεσης της περιβαλλοντικής τεχνολογίας και της μέτρησης αποδοτικότητας με σκοπό την αύξηση των επιθυμητών εξόδων και την μείωση των μη επιθυμητών. Αποσαφηνίζουν την έννοια της «ασθενούς αναλωσιμότητας» (weak disposability) στις εξόδους μιας DMU, σύμφωνα με την οποία υπάρχει η πιθανότητα μία από τις εξόδους να είναι "κακή". Για παράδειγμα, αν η έξοδος 1 είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και η έξοδος 2 είναι το SO_2, τότε η έννοια της «ασθενούς αναλωσιμότητας» συνεπάγεται ότι για να έχουμε μείωση κατά 10% του SO_2, θα πρέπει να προηγηθεί μείωση 10% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διατηρώντας τα δεδομένα εισόδου σταθερά. Αναφέρουν τα παραπάνω λέγοντας ότι αν υπάρχουν κανονισμοί του επιβάλλουν άνω όριο στις εκπομπές του SO_2, (όπως ισχύει σους ελληνικούς θερμικούς σταθμούς), ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί μετατρέποντας κάποιες από τις υπάρχουσες εισόδους σε παράγοντες μείωσης των εκπομπών. Αυτό συνεπάγεται ότι λιγότερες είσοδοι θα είναι πλέον διαθέσιμες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα ταυτόχρονη μείωση στις "καλές" και στις "κακές" εξόδους. Ωστόσο, μια weak disposable "κακή" έξοδος μετατρέπεται σε strong disposable αν βρεθεί νέα τεχνολογία δέσμευσης αυτής της "κακής" εξόδου. Τέλος, με την έννοια null - jointness περιγράφουν το βασικό πρόβλημα της ρύπανσης, σύμφωνα με το οποίο όταν παράγεται κάτι "καλό" (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια), οι "κακές" έξοδοι αποτελούν παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας. Αν ήταν δυνατή η παραγωγή "καλών" εξόδων χωρίς τα παραπροϊόντα, δεν θα υπήρχε το πρόβλημα της ρύπανσης.

Οι Zhou et al. (2008) κάνουν μια εκτενή βιβλιογραφική έρευνα σε εφαρμογές της μεθόδου DEA επάνω σε θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος ταξινομώντας 100 επιστημονικά δημοσιευμένα άρθρα και αναφέροντας τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές. Στη συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζεται σχεδόν το σύνολο των τεχνικών λεπτομερειών της μεθόδου DEA που δοκιμάστηκαν σε εφαρμογές ενέργειας και περιβάλλοντος με αναφορά σε στατιστικά στοιχεία ανά μοντέλο, χώρα και μεθοδολογία.

Οι Jamasb & Pollitt (2001) κάνουν εκτενή αναφορά (σε πάνω από 24 χώρες κυρίως ευρωπαϊκές, αλλά και άλλες) για το ρυθμιστικό πλαίσιο κινήτρων που υιοθέτησαν, προκειμένου να προωθήσουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας (μεταφορά, διανομή). Κατά κανόνα, κάθε ρυθμιστικό πλαίσιο θα πρέπει να περιλαμβάνει συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) ή απλή σύγκριση της πραγματικής αποδοτικότητας με κάποια standard αποδοτικότητα. Η συγκεκριμένη έρευνα περιγράφει τα διαφορετικά ρυθμιστικά πλαίσια που υιοθέτησε κάθε χώρα, καθώς και τις διαφορετικές μεθόδους συγκριτικής αξιολόγησης που χρησιμοποίησαν. Τέλος, επισημαίνονται βέλτιστες πρακτικές υλοποίησης συγκριτικής ρυθμιστικών ενεργειών στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι Golani et al. (1994) παρουσιάζουν τη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου DEA σε όλα τα επιμέρους στάδιά της εστιάζοντας στην επιλογή των DMUs και των μεταβλητών.

Οι Graus et al. (2007) συγκρίνουν (όχι με τη μέθοδο DEA) θερμικούς σταθμούς συνολικά 10 χωρών ορίζοντας διαφορετικούς δείκτες συγκριτικής αξιολόγησης ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο (λιγνίτης, φυσικό αέριο, πετρέλαιο). Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους οι σκανδιναβικές χώρες, η Ιαπωνία, η Αγγλία και η Ιρλανδία παρουσιάζουν υψηλότερες αποδόσεις (περίπου 8% πάνω από το μέσο όρο) για το 2003, ακολουθούν η N. Κορέα και η Γερμανία με 6% και 4% πάνω από το μέσο όρο, οι ΗΠΑ και Γαλλία με 2% και 4% κάτω του μέσου όρου και τέλος η Αυστραλία, Κίνα και Ινδία με 7%, 9% και 13% αντίστοιχα κάτω του μέσου όρου.

4. Ο ΚΛΑΔΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Σύμφωνα με τον Σαρρή (2010, σ. 11) «η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα ιδιότυπο εμπορικό αγαθό που δεν αποθηκεύεται και επομένως θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να παράγεται ακριβώς όση καταναλώνεται».

«Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από το ρυθμό εγχώριας οικονομικής μεγέθυνσης, τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και των άλλων ενεργειακών αγαθών, τις καιρικές συνθήκες και τα διάφορα μέτρα πολιτικής (ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική) που μπορεί να μεταβάλλουν τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας».

«Η οργάνωση της αγοράς προβλέπεται στον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας. Κάθε μέρα δίνονται προσφορές ζευγών τιμής – ποσότητας ενέργειας από τους παραγωγούς για τις 24 ώρες της επόμενης ημέρας. Οι προμηθευτές υποβάλλουν μόνο προσφορές ποσοτήτων. Η συμμετοχή είναι υποχρεωτική και το σύνολο της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ελλάδα περνάει από την Ημερήσια Αγορά».

«Η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ενέργειας του Ημερήσιου Ενεργειακού Προϋπολογισμού, αποτελεί την ενιαία τιμή στην οποία οι προμηθευτές αγοράζουν την ενέργεια που αναμένουν ότι θα απορροφήσουν από το Σύστημα οι πελάτες τους και με την οποία αμείβονται αντίστοιχα οι παραγωγοί».

«Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα δεν συνοδεύθηκε από την ανάπτυξη ανταγωνισμού στους τομείς της παραγωγής και προμήθειας, καθώς η είσοδος νέων επιχειρήσεων στον κλάδο - παρά το έντονο ενδιαφέρον - καθυστέρησε αρκετά. Αιτία, η ύπαρξη εμποδίων εισόδου που συνδέονται με τις υψηλές κεφαλαιακές απαιτήσεις, τη διατήρηση της κάθετης διάρθρωσης, τη δεσπόζουσα θέση της ΔΕΗ στον κλάδο, τα απόλυτα κοστολογικά πλεονεκτήματα της ΔΕΗ και τη χαμηλή δυναμικότητα των διεθνών διασυνδέσεων».

«Η γεωγραφικά απομονωμένη θέση της χώρας μας και η υφιστάμενη χωρητικότητα των διασυνδέσεων με τα γειτονικά ηλεκτρικά συστήματα, περιορίζουν τις διεθνείς εμπορικές συναλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελούν ένα επιπλέον εμπόδιο στην ενεργοποίηση και ανάπτυξη του ανταγωνισμού στον τομέα της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας».

4.1 Η μορφή και η λειτουργία της αγοράς

4.1.1 Τα άμεσα ενδιαφερόμενα μέλη

Τα άμεσα ενδιαφερόμενα μέλη σύμφωνα με τον Σαρρή (2010) είναι:

- Παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας

Όσοι διαθέτουν παραγωγικές μονάδες οφείλουν να προσφέρουν την παραγόμενη ενέργεια στη χονδρεμπορική αγορά, βάσει οικονομικών προσφορών. Το σύνολο της ενέργειας «απορροφάται» από τον ΑΔΜΗΕ ο οποίος στη συνέχεια το διαθέτει στους προμηθευτές ενέργειας απ' όπου καταλήγει στους καταναλωτές.

- Προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας

Όσοι επιθυμούν να αγοράσουν ηλεκτρική ενέργεια, για ιδία χρήση ή για μεταπώληση σε τελικούς καταναλωτές υποχρεούνται να αγοράσουν τη ζητούμενη ενέργεια από τη χονδρεμπορική αγορά. Η Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ), με την οποία πληρώνονται όλοι οι παραγωγοί και πληρώνουν όλοι οι προμηθευτές καθορίζεται με βάση την τελευταία προσφορά ενέργειας που είναι απαραίτητη για την κάλυψη της ζήτησης.

- Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Όλοι οι παραγωγοί έχουν το δικαίωμα να έχουν πρόσβαση στο Σύστημα, έναντι ρυθμιζόμενου τιμήματος (ΟΤΣ). Ο Διαχειριστής του Συστήματος διασφαλίζει την πρόσβαση όλων στο σύστημα καθώς και την εξισορρόπηση του συστήματος, βάση του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού (καθορίζονται οι μονάδες που θα λειτουργήσουν ανά ώρα για να καλύψουν τη ζητούμενη ενέργεια). Παράλληλα καθορίζονται οι συμπληρωματικές υπηρεσίες (επικουρικές υπηρεσίες).

- Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Πρόκειται για την συνέχεια του δικτύου Μεταφοράς προς τους τελικούς καταναλωτές. Στα όρια του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής υπάρχουν οι μετασχηματιστές Υψηλής Μέσης Τάσης, όπου όλοι οι προμηθευτές που αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από τη χονδρεμπορική αγορά, χρησιμοποιώντας το δίκτυο έναντι ρυθμιζόμενου τιμήματος, μπορούν να τη διανέμουν στους πελάτες τους.

Τη Διαχείριση του συστήματος μεταφοράς την έχει ο ΑΔΜΗΕ. και τη διαχείριση του δικτύου διανομής την έχει ο Διαχειριστής του Δικτύου, Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

4.1.2 Το θεσμικό Πλαίσιο της αγοράς

Τα βασικά όργανα που ρυθμίζουν και λειτουργούν την αγορά αναφέρονται στον Πίνακα 4.1:

Πίνακας 4.1: Τα βασικά όργανα της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

ΡΑΕ	**ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
ΑΔΜΗΕ	**ΚΥΡΙΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**
ΛΑΓΗΕ	**ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ**
ΔΕΔΔΗΕ	**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ**

- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) (www.rae.gr)

Η ΡΑΕ είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και λειτουργεί από την 1η Ιουλίου 2000. Η ΡΑΕ έχει γνωμοδοτικό, εισηγητικό και εποπτικό ρόλο σε όλους τους τομείς της ενέργειας. Σκοπός της ΡΑΕ είναι να διευκολύνει τον ελεύθερο και υγιή ανταγωνισμό στην ενεργειακή αγορά, με σκοπό να εξυπηρετηθεί καλύτερα και οικονομικότερα ο καταναλωτής (ιδιώτης και επιχείρηση). Παρακολουθεί και εισηγείται για τις τιμές, τη λειτουργία της αγοράς και τις αδειοδοτήσεις. Στο πλαίσιο της απελευθερωμένης αγοράς εξυπηρετεί τους μακροχρόνιους στρατηγικούς στόχους της ενεργειακής πολιτικής και εξυπηρετεί το δημόσιο συμφέρον.

- Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) (www.admie.gr)

Ο ΑΔΜΗΕ αναλαμβάνει το ρόλο του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) και συγκεκριμένα τα καθήκοντα λειτουργίας, συντήρησης και ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ ενσωματώνοντας τα αντίστοιχα καθήκοντα και λειτουργίες που αποτελούσαν αρμοδιότητα του ΔΕΣΜΗΕ ως Διαχειριστή του Συστήματος και της Γενικής Διεύθυνσης Μεταφοράς της ΔΕΗ ως Κυρίου του Συστήματος. Ως εκ τούτου ο ΑΔΜΗΕ συστάθηκε κατόπιν ενσωμάτωσης των αντίστοιχων Κλάδων Μεταφοράς της ΔΕΗ και του ΔΕΣΜΗΕ σε μία διακριτή εταιρεία στην οποία μεταφέρθηκαν όλες οι σχετικές οργανωτικές λειτουργίες, το προσωπικό και τα πάγια στοιχεία του ΕΣΜΗΕ και καθίσταται, βάσει του Ν. 4001/2011 καθολικός διάδοχος όλων των δικαιωμάτων και υποχρεώσεων που σχετίζονται με τους παραπάνω Κλάδους Μεταφοράς.

- Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΛΑΓΗΕ) (www.lagie.gr)

Ο ΛΑΓΗΕ ιδρύθηκε με βάση το ν 4001/2011 για τη «Λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» (ΦΕΚ 179/22-8-2011) και ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούνταν από τον «Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ» (ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ), πλην εκείνων που κατά το άρθρο 99 του ν.4001/2011 μεταφέρονται στον «Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ» (ΑΔΜΗΕ ΑΕ). Ο ΛΑΓΗΕ εφαρμόζει τους κανόνες για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 και των κατ' εξουσιοδότηση αυτού εκδιδομένων πράξεων και ιδίως τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό.

- Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) (www.deddie.gr)

Η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ Α.Ε. σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να αναλάβει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε., ωστόσο είναι ανεξάρτητη λειτουργικά και διοικητικά, τηρώντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο παραπάνω νομικό πλαίσιο. Έργο της εταιρείας είναι η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και η διασφάλιση της διαφανούς και αμερόληπτης πρόσβασης των καταναλωτών και γενικότερα όλων των χρηστών του δικτύου.

4.1.3 Ο Ανταγωνισμός

Αν εξαιρέσουμε τους πολύ μικρούς παραγωγούς που αφορούν μικρές μονάδες ΑΠΕ (μικρά φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα και μικρά υδροηλεκτρικά), οι κύριοι παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας (Διασυνδεδεμένο και μη Σύστημα) στην χώρα μας αυτή την στιγμή αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα με την εγκατεστημένη ισχύ τους.

Πίνακας 4.2: Κύριοι Παραγωγοί Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα (ΑΔΜΗΕ, 2013)

Παραγωγοί Ηλεκτρικής Ενέργειας	**Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)**
ΔΕΗ	13080
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΝ	334
ELPEDISON POWER	817
ΗΡΩΝ	581
PROTERGIA	445
KORINTHOS POWER	437
ΣΥΝΟΛΟ	**15694**

Στον χώρο της Εμπορίας – Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας οι εταιρείες που καταλαμβάνουν μερίδιο αγοράς με δεσπόζουσα την ΔΕΗ είναι (‘Greek energy 2014’, 2014):

- ELPEDISON ENERGY
- ΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ
- GREEN
- WATT + VOLT
- ΔΕΗ Α.Ε.

4.1.4 Η Δυναμική του κλάδου

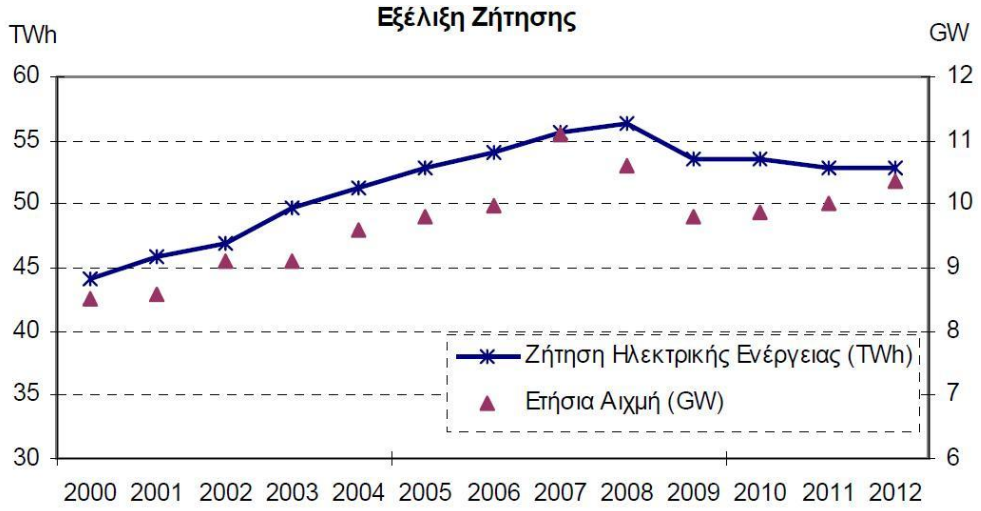
Στο εγχώριο ηλεκτρικό σύστημα δεσπόζει η Δ.Ε.Η. Α.Ε., η οποία κατέχει το μεγαλύτερο μέρος της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το 2013 παρήγαγε το 98% περίπου της συνολικής εγχώριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης είναι η μοναδική εταιρία που έχει στην ιδιοκτησία της το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (ΑΔΜΗΕ 100% θυγατρική της ΔΕΗ)(ΑΔΜΗΕ, 2013). Τα παρακάτω στοιχεία παρουσιάζουν τα δεδομένα τόσο από την πλευρά της ζήτησης (καταναλωτής), όσο και της προσφοράς (προμηθευτές – παραγωγοί):

- Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια (Διασυνδ. Δικτ. και Νησιά): 60TWh (2013)
- Αιχμή: 9700MW (2013)
- Εγκατεστημένη ισχύς: 17426MW (1/6/2013)

Πίνακας 4.3: Σύνολο Εγκατεστημένης Ισχύος ανά είδος παραγωγής (ΑΔΜΗΕ, 2013)

	Εγκατεστημένη Ισχυς (MW)	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	10238,5	58,8%
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	3017,7	17,3%
ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ	4169,81	23,9%
ΣΥΝΟΛΟ	**17426,01**	**100%**

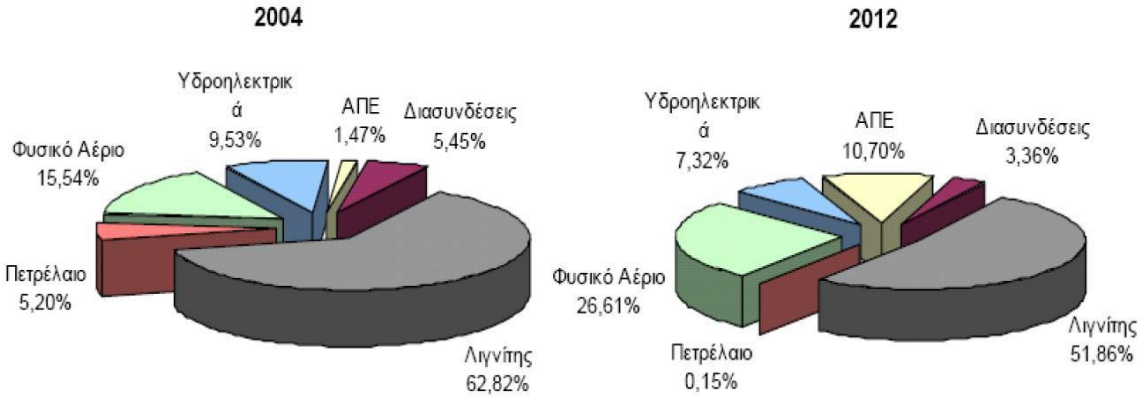
Η εγχώρια τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μετά το 2000 παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.1 .



Σχήμα 4.1: Ετήσια Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ, 2013)

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της συνολικής καθαρής ζήτησης κατά την περίοδο 2000-2008 ήταν 3.1%, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση σε σχέση με τις περασμένες δεκαετίες. Το 2008, απαρχή της οικονομικής κρίσης, η συνολική καθαρή ζήτηση (χωρίς το φορτίο άντλησης) στο Σύστημα ανήλθε στις 56.3 TWh, παρουσιάζοντας αύξηση 1.11% σε σχέση με το 2007. Το 2009 χαρακτηρίστηκε από σημαντική μείωση της συνολικής καθαρής ζήτησης στο Σύστημα, κατά 5.01% έναντι του 2008, η οποία οφείλεται στην αξιοσημείωτη μείωση των βιομηχανικών φορτίων κατά 20.19% σε σχέση με το 2008, ενώ η κατανάλωση σε επίπεδο Διανομής εμφανίστηκε επίσης μειωμένη κατά 3.63%. Το έτος 2012 η συνολική καθαρή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη σε σχέση με το 2011, ενώ τη χρονική περίοδο 2008 – 2012 η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε κατά 6% περίπου. Το 2013 παρουσιάστηκε μείωση στην κατανάλωση κατά 4% (από 52.7 σε 50.7 TWh).

Η μεταβολή στο μείγμα καυσίμου την τελευταία δεκαετία αποτυπώνεται στο Σχήμα 4.2. Τεράστια είναι η αύξηση των ΑΠΕ (~627%), αξιοσημείωτη η αύξηση του Φυσ. Αερίου (~71%) ενώ αντίστοιχα σημειώνεται μείωση στη χρήση λιγνίτη (~17%) και πετρελαίου (~97%)



Σχήμα 4.2: Εξέλιξη στο μείγμα καυσίμου (ΑΔΜΗΕ, 2013)

4.1.5 Μελλοντικές εξελίξεις

Σύμφωνα με τους (Zervos & Aggelopoulos, 2014) οι μελλοντικές, αλλά και οι πρόσφατες Εξελίξεις στον Κλάδο αφορούν τα εξής κύρια θέματα:

1. Νέο Μοντέλο Αγοράς

Σύμφωνα με το νέο μοντέλο της αγοράς (είναι σε διαβούλευση) προβλέπονται τα εξής:

- Δημοπρασίες ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας και Διμερή συμβόλαια παραγωγών – προμηθευτών η μεγάλων καταναλωτών.
- Διαμόρφωση περισσότερων καθετοποιημένων σχημάτων.

2. Συμβάσεις Διακοψιμότητας

Μείωση του κόστους Ηλεκτρικής Ενέργειας μεγάλων καταναλωτών (Βιομηχανίες) αναγνωρίζοντας τους την ιδιότητα να συνεισφέρουν καθοριστικά στην προβλεψιμότητα και την ευστάθεια του συστήματος και ότι σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλη ζήτηση και μικρή διαθεσιμότητα μονάδων, αποφεύγονται περικοπές φορτίων από άλλους πελάτες π.χ. νοικοκυριά.

3. Το μέλλον του Λιγνίτη

Ως προς το κύριο εγχώριο καύσιμο, τον λιγνίτη, σύμφωνα με την Λιάγγου Χρ. (‘Greek energy 2014’, 2014) προβλέπονται τα εξής:

Αύξηση Ποσοστού Λιγνίτη στο ενεργειακό μείγμα

Τα στοιχεία δείχνουν ότι σε όλη την Ευρώπη το μερίδιο βαίνει αυξανόμενο κυρίως λόγω ύφεσης, αλλά και ανταγωνιστικότητας με τις ΗΠΑ (δυναμική ανάπτυξη Σχιστολιθικού Αερίου – Shale Gas). Έρευνα της Wood Mckenzie διαπιστώνει ότι το πλέον ρυπογόνο καύσιμο θα επικρατήσει, όχι τόσο λόγω της αυξανόμενης χρήσης του στη Κίνα και στις άλλες αναπτυσσόμενες χώρες, όσο λόγω της διάδοσής του στις αναπτυγμένες χώρες και ιδιαίτερα στην Ευρώπη όπου λόγω κρίσης εγκαταλείπονται οι πιο δαπανηρές ΑΠΕ. Η παραγωγή γαιανθράκων θα αυξηθεί κατά 20% μέχρι το 2020.

Αύξηση Ποσοστού Λιγνίτη και στην Ελλάδα

Η κατάργηση της επιδότησης ποσοστού επί του μεταβλητού κόστους κεφαλαίου των μονάδων φυσικού αερίου θα ενισχύσει σημαντικά το μερίδιο του λιγνίτη στο μείγμα καυσίμου ηλεκτροπαραγωγής. Το ποσοστό συμμετοχής του λιγνίτη στο μελλοντικό ενεργειακό μείγμα είναι στενά συνδεδεμένο με το σύστημα εμπορίας εκπομπών και εξαρτάται από εξωγενείς παράγοντες (Shale gas, Φυσικό αέριο).

Επίσης, σύμφωνα με μελέτη της Booz&Co που διενήργησε για λογαριασμό της ΔΕΗ για τη σύγκριση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη (συγκριτική ανάλυση των στοιχείων του 2012) στην Ευρώπη (Booz&Co, 2014) προκύπτει ότι η παραγωγικότητα της ΔΕΗ στη δραστηριότητα των ορυχείων είναι πολύ υψηλή και το κόστος εξόρυξης λιγνίτη είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις λοιπές χώρες.

- Το πλήρες κόστος εξόρυξης λιγνίτη (σε ευρώ ανά τόνο) στην Ελλάδα από τη ΔΕΗ είναι το δεύτερο χαμηλότερο στο σύνολο των οχτώ χωρών που συμπεριέλαβε η μελέτη.
- Το κόστος εξόρυξης στην Ελλάδα είναι χαμηλότερο απ’ ότι σε έξι από τις άλλες επτά χώρες της μελέτης: Γερμανία, Τσεχία, Πολωνία, Ρουμανία, Σερβία, Τουρκία. Μόνο η Βουλγαρία παρουσιάζει χαμηλότερο κόστος εξόρυξης λιγνίτη (σε ευρώ ανά τόνο) και αυτό, γιατί διαθέτει πιο επιφανειακά κοιτάσματα λιγνίτη.
- Ωστόσο, το εξαιρετικά χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο του Ελληνικού λιγνίτη οδηγεί αναπόφευκτα σε υψηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη σε σύγκριση με τις λοιπές χώρες.
- Επισημαίνεται πως το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τον εγχώριο λιγνίτη παραμένει ιδιαίτερα ανταγωνιστικό σε σχέση με το κόστος ηλεκτροπαραγωγής σε σχέση με άλλα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.

Κυρίαρχο συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα γίνεται ιδιαίτερα αποδοτικά με βάση τα συγκριτικά στοιχεία των άλλων χωρών, αν

και το κόστος επιβαρύνεται αναπόφευκτα από το χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο του εγχώριου λιγνίτη.

Μετά τη Φουκουσίμα η πυρηνική ενέργεια μπήκε και πάλι στο στόχαστρο των ομάδων πίεσης. Η γερμανική κυβέρνηση ανακοίνωσε πρόγραμμα κατάργησης όλων των πυρηνικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού στη χώρα έως το 2022.

Τέλος, η διαδεδομένη και βιώσιμη εφαρμογή τεχνολογιών CCS (Carbon Capture and Storage) μετά το 2020 μπορεί να συμπεριλάβει τα στερεά καύσιμα (και τον λιγνίτη) κατά τη μετάβαση στο νέο ενεργειακό μείγμα διατηρώντας σημαντικό ρόλο στην ασφάλεια τροφοδοσίας.

4.2 Ο Όμιλος ΔΕΗ Α.Ε.

4.2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Ιδρύθηκε το 1950 ως κρατική επιχείρηση παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Στα μέσα της δεκαετίας του ‘90 απώλεσε το αποκλειστικό δικαίωμα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Το 2001 μετετράπη σε Ανώνυμη Εταιρεία με διάρκεια λειτουργίας 100 έτη. Την ίδια χρονιά (2001) οι μετοχές της εισήχθησαν προς διαπραγμάτευση στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου. Το 2002 και 2003 διατέθηκαν ακόμη περισσότερες από τις υφιστάμενες μετοχές κυριότητας του Ελληνικού Δημοσίου σε θεσμικούς επενδυτές, και στους εργαζόμενους της εταιρίας. Το 2013 διαχωρίστηκαν οι κλάδοι Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργώντας 2 θυγατρικές εταιρίες (ΑΔΜΗΕ Α.Ε. και ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.) με 100% ποσοστό συμμετοχής

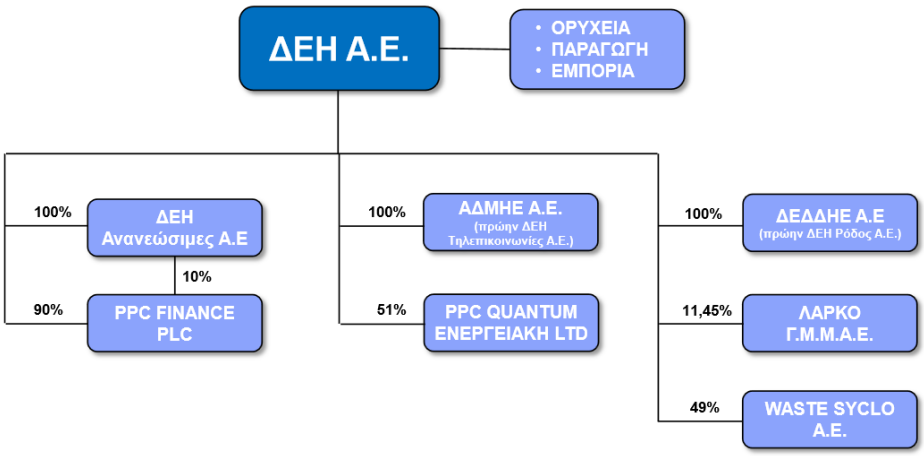
4.2.2 Δραστηριότητες του Ομίλου

Αποτελεί την μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Είναι πλήρως καθετοποιημένη και αριθμεί 7,4 εκατομμύρια πελάτες . Είναι από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές επιχειρήσεις (ως προς τα πάγια ενεργητικά της στοιχεία) ενώ η εγκατεστημένη ισχύς της είναι 13.08 GW - 75% (2013) της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα. Το Μερίδιο Αγοράς που κατέχει στις 31.12.12, είναι το 98,6 % της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (μετά την αναστολή λειτουργίας εναλλακτικών προμηθευτών). Αναπτύσσει δράσεις Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης σύμφωνα με τις οποίες προβλέπει τη μέριμνα για την κατά το δυνατόν ικανοποίηση των προσδοκιών όλων των ενδιαφερόμενων μερών (πελατών, εργαζομένων, μετόχων, προμηθευτών, τοπικών κοινωνιών κ.λπ.), με τρόπο εξισορροπητικό, προς όφελος της κοινωνίας και της Επιχείρησης. Με

έγκριση του Διοικητικού Συμβουλίου, εφαρμόζει Κώδικα Εταιρικής Διακυβέρνησης, ο οποίος ορίζει το πλαίσιο και τις κατευθυντήριες γραμμές εταιρικής διακυβέρνησης στην επιχείρηση.

- Παράγει ηλεκτρική ενέργεια στους 63 ιδιόκτητους Σταθμούς Παραγωγής
- Επιπλέον διαθέτει 46 σταθμούς που ανήκουν 100% στην θυγατρική Ανανεώσιμες Α.Ε. (22 αιολικά πάρκα, 12 μικρούς υδροηλεκτρικούς και 12 φωτοβολταϊκούς)
- Μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μέσω δικτύου Υψηλής Τάσης μήκους 12.178km
- Διανέμει ηλεκτρική ενέργεια μέσω δικτύου Μέσης και Χαμηλής Τάσης μήκους 228.901km
- Χρησιμοποιεί λιγνίτη σε σημαντικό ποσοστό από τα ιδιόκτητα λιγνιτωρυχεία της

Ο όμιλος της ΔΕΗ Α.Ε. περιλαμβάνει τις εταιρείες του Σχήματος 4.3 με τα αναγραφόμενα ποσοστά:

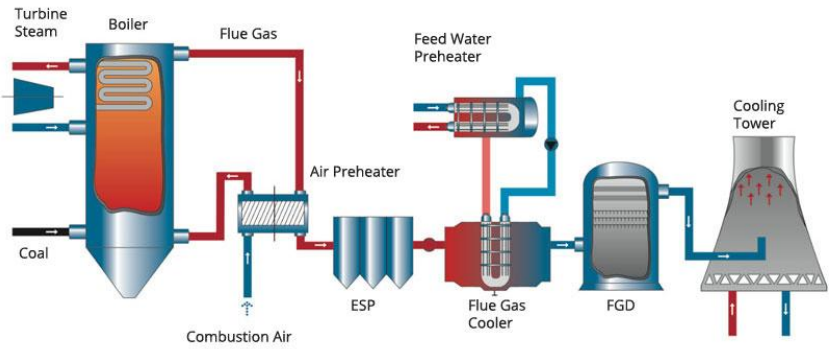


Σχήμα 4.3: Εταιρείες του ομίλου ΔΕΗ Α.Ε (www.dei.gr)

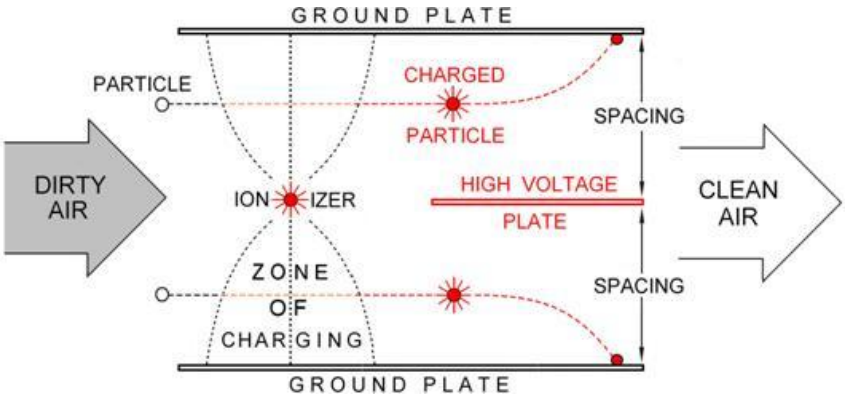
4.2.3 ΔΕΗ και περιβάλλον

Η ΔΕΗ υλοποιεί δράσεις (www.dei.gr) οι οποίες στοχεύουν στον έλεγχο και στην μείωση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου SO2, οξειδίων του αζώτου NOx και αιωρούμενων σωματιδίων (κονιορτού) από τις μεγάλες εγκαταστάσεις μονάδων καύσης που χρησιμοποιούν στερεά ή υγρά καύσιμα, συμβάλλοντας στην προσπάθεια της Χώρας για την επίτευξη των στόχων που απορρέουν από το Εθνικό Σχέδιο Μείωσης Εκπομπών, (ΕΣΜΕ) και από την περιβαλλοντική Οδηγία 2001/80/ΕΚ για τον περιορισμό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα ορισμένων ρύπων.

Οι δράσεις της ΔΕΗ για την πρόληψη και τον έλεγχο των εκπομπών στην ατμόσφαιρα των θερμικών Σταθμών αφορούν κυρίως σε δράσεις ελέγχου και βελτίωσης της ποιότητας των χρησιμοποιουμένων καυσίμων, όπως η ανάμιξη λιγνίτη τροφοδοσίας των ΑΗΣ Καρδιάς και Αγίου Δημητρίου, η τροφοδοσία με μαζούτ χαμηλού θείου, (περιεκτικότητας 1% κ.β. σε θείο), όλων των πετρελαϊκών σταθμών που χρησιμοποιούν καύσιμο μαζούτ, η λειτουργία συγκροτημάτων αποθείωσης των καυσαερίων (Σχήμα 4.4) στις Μονάδες ΙΙΙ του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α, IV του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β και στον ΑΗΣ Μελίτης, η αντικατάσταση, αναβάθμιση και προσθήκη νέων ηλεκτροστατικών φίλτρων τέφρας (Σχήμα 4.5) υπερσύγχρονης τεχνολογίας και υψηλού βαθμού απόδοσης στις λιγνιτικές Μονάδες.



Σχήμα 4.4: Λειτουργικό διάγραμμα Αποθείωσης καυσαερίων
(www.wallstein.de/en/activities/power_engineering/heat_recovery_system.htm)



Σχήμα 4.5: Αρχή λειτουργίας Ηλεκτροστατικών Φίλτρων
(http://www.aircleancompany.com/Air_Clean_ESP.htm)

Σε εφαρμογή του άρθρου 32 της νέας Οδηγίας 2010/75/ΕΕ, για τις βιομηχανικές εκπομπές, η Ελλάδα επεξεργάστηκε και υπέβαλε προς έγκριση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Μεταβατικό Εθνικό Σχέδιο Μείωσης Εκπομπών, (ΜΕΣΜΕ), που αφορούσε τις Μονάδες

I-V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, τις Μονάδες ΙΙΙ και IV του ΑΗΣ Καρδιάς, ΙΙΙ του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α, IV του ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β και Ι του ΑΗΣ Μελίτης.

Το Μεταβατικό Εθνικό Σχέδιο Μείωσης Εκπομπών εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσα στο 2013.

Το ΜΕΣΜΕ έχει διάρκεια από 01.01.2016 έως 30.06.2020 και επιβάλλει γραμμική μείωση (μεταξύ 2016 και 2019) των συνολικών ετήσιων εκπομπών των Μονάδων που εντάσσονται για το διοξείδιο του θείου SO2 και τα αιωρούμενα σωματίδια, δίνοντας δυνατότητα για σταδιακή υλοποίηση των απαραίτητων περιβαλλοντικών επενδύσεων σε αυτές.

Για την τήρηση του ΜΕΣΜΕ η ΔΕΗ αποφάσισε:

- την κατασκευή έργων ξηρής αποθείωσης καυσαερίων, με ενδεχόμενη επιλογή υγρής αποθείωσης καυσαερίων στις Μονάδες I-IV του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, αναλόγως των αποτελεσμάτων των εν εξελίξει δοκιμών στη Μονάδα ΙΙΙ και την κατασκευή έργου υγρής αποθείωσης καυσαερίων στη Μονάδα V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.
- την κατασκευή έργων μείωσης των εκπομπών NOx, με εκτενή πρωτογενή μέτρα στις Μονάδες I-IV του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και μικρότερης έκτασης επεμβάσεις με πρωτογενή μέτρα στη Μονάδα V του ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου και στον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β.

Για τον περιορισμό των εκπομπών CO2 των θερμικών Σταθμών, η Επιχείρηση υλοποιεί δράσεις και προγράμματα, που περιλαμβάνουν επενδύσεις, για την αντικατάσταση παλαιών Μονάδων Παραγωγής με νέες σύγχρονης τεχνολογίας και υψηλού βαθμού απόδοσης, για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς υφιστάμενων Μονάδων, για τη βελτίωση χαρακτηριστικών ενεργειακού μίγματος, για την ανάπτυξη υδροηλεκτρικών Μονάδων και έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, για την προώθηση δράσεων εξοικονόμησης ενέργειας και για την ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ, μέσω προγραμμάτων που αναπτύσσονται σε συνεργασία με τους τοπικούς δήμους και τις αρμόδιες δημοτικές επιχειρήσεις, αξιοποιεί τη θερμότητα που παράγεται από ατμοηλεκτρικούς λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής στη Δυτική Μακεδονία και την Αρκαδία, και παρέχει θερμική ενέργεια, με τη μορφή θερμού νερού, για κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, για αστική χρήση, στην Κοζάνη, την Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο και τη Μεγαλόπολη. Το κόστος παροχής θερμικής ενέργειας με τη μέθοδο της τηλεθέρμανσης είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με άλλους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης.

Η παροχή υπηρεσιών τηλεθέρμανσης αποτελεί πρότυπο βιώσιμης διαχείρισης, καθώς χαρακτηρίζεται από πολλαπλά οφέλη για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, με σημαντικότερα τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω αποφυγής καύσης υδρογονανθράκων και ξυλείας για θέρμανση, και τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν για τις τοπικές κοινότητες, λόγω του μειωμένου κόστους θέρμανσης. Το 2012 εντάχθηκαν στο πρόγραμμα τηλεθέρμανσης δύο ακόμα λιγνιτικές Μονάδες παραγωγής, η Καρδιά ΙΙΙ και η Καρδιά IV, οι οποίες παρέχουν θερμική ενέργεια για την πόλη της Πτολεμαΐδας. Προγραμματίζεται η τηλεθέρμανση της πόλης της Φλώρινας.

Επίσης, η ΔΕΗ συμμετέχει σε ερευνητικά προγράμματα και ενημερώνεται συνεχώς για την εφαρμογή αποδοτικών τεχνολογιών λιγνίτη, για τις εξελίξεις της τεχνολογίας δέσμευσης και αποθήκευσης CO2.

4.2.4 Εξέλιξη της Εταιρίας στα έτη μελέτης

Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται τα κυριότερα τεχνικά και λειτουργικά στοιχεία της εταιρείας για τα εξεταζόμενα έτη. Παρατηρείται σημαντική μείωση της ετήσια Καθαρής Παραγωγής κατά 28% και η βελτίωση Πωλήσεων ανά εργαζόμενο κατά 27% μεταξύ 2006 και 2013.

Πίνακας 4.6: Μεταβολή βασικότερων μεγεθών (Οικονομικοί Απολογισμοί: www.dei.gr)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)	12,65	12,76	12,84	12,8	12,8	12,8	12,5	12,9
Καθαρή Παραγωγή (TWh)	52,1	53,9	52,4	50,1	45,5	41,5	40,3	37,5
Πωληθείσα Ηλ. Ενέργεια (TWh)	54,7	56,1	56,9	53	51,6	49,3	51,95	50,8
Πελάτες στο τέλος της περιόδου (εκατ.)	7,2	7,4	7,5	7,6	7,5	7,3	7,4	7,4
Αριθμός Εργαζομένων	26208	24602	23611	22582	21845	20821	19998	19093
Πελάτες ανά εργαζόμενο	276	299	316	335	343	351	369	388
Πωλήσεις ανά Εργαζόμενο (MWh)	2088	2282	2412	2349	2362	2368	2598	2661

4.2.5 Μελλοντικές προκλήσεις της Εταιρίας

Σύμφωνα με τον (Αθανασόπουλος, 2007) οι σημαντικότερες προκλήσεις της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρισμού στη ΔΕΗ αφορούν:

- Προσθήκη νέας ισχύος συμπεριλαμβανομένης αυτής των Ανανεώσιμων στην Ελλάδα μέχρι το 2020

- Το κόστος δικαιωμάτων CO_2 αναμένεται να αυξηθεί
- Αυξημένη δραστηριοποίηση άλλων παραγωγών και προμηθευτών
- Τα όρια εκπομπών γίνονται πιο αυστηρά
- Η σχέση εκμετάλλευσης του λιγνίτη, που έχει επιδεινωθεί τα τελευταία τέσσερα χρόνια, σταθεροποιείται
- Οι παλαιές και χαμηλής απόδοσης Μονάδες της ΔΕΗ πρέπει άμεσα να αντικατασταθούν

Στο Σχήμα 4.6, μέσω ανάλυσης SWOT, παρουσιάζονται τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία, καθώς και οι ευκαιρίες και απειλές της εταιρίας, τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό της περιβάλλον.

Σχήμα 4.6: SWOT Ανάλυση στην Εταιρία ΔΕΗ (Τσαλιάνης & Λέντζας, 2014)

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.1 Μεθοδολογία Έρευνας

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την προσέγγιση του θέματος της εργασίας περιελάμβανε:

- Άντληση στοιχείων από Πρωτογενείς πηγές: Τεχνικά δεδομένα της επιχείρησης.
- Άντληση στοιχείων από Δευτερογενείς πηγές: Βιβλία, Δημοσιευμένα άρθρα και Διπλωματικές εργασίες (πρόσβαση στην βιβλιοθήκη του Παν. Μακεδονίας μέσω του διαδικτύου στην «Ψηφίδα», σε Βάσεις Δεδομένων όπως η EBSCO και στο Google Scholar), Σημειώσεις Μαθήματος, Οικονομικοί Απολογισμοί (μέσω του διαδικτύου) της ΔΕΗ .
- Λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αναζήτηση στις διάφορες ηλεκτρονικές πηγές ήταν οι εξής: “Data envelopment analysis”,”DEA”, “power station evaluation”, “Power station efficiency”, “DEA in power energy”, “Thermal efficiency”, “Efficient frontier”, «μέτρηση αποδοτικότητας», «αποδοτικότητα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς», “Ελληνικό σύστημα ενέργειας», ΔΕΗ (και διάφοροι συνδυασμοί αυτών).
- Προσωπική παρατήρηση ως εργαζόμενος στην ίδια επιχείρηση.

5.2 Επιλογή σταθμών προς αξιολόγηση (το δείγμα)

Οι προς εξέταση σταθμοί είναι δέκα και διαθέτουν μεγάλο εύρος εγκατεστημένης ισχύος (από 230 MW έως 1595 MW). Ποικίλουν επίσης όσον αφορά το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, αλλά και το γεωγραφικό σημείο εγκατάστασής τους. Οι σταθμοί περιλαμβάνουν τους έξι λιγνιτικούς σταθμούς της χώρας (που εδρεύουν στη Δυτική Μακεδονία και στην Πελοπόννησο), ένα σταθμό Φυσικού Αερίου με έδρα την Κομοτηνή, ένα σταθμό διαφόρων καυσίμων (Μαζούτ, Πετρέλαιο, Φυσικό Αέριο) με έδρα το Λαύριο Αττικής και 2 νησιωτικούς σταθμούς , εκτός διασυνδεδεμένου δικτύου, τα Λινοπεράματα (Ηράκλειο Κρήτης) και της Ρόδου, που είναι από τους μεγαλύτερους του είδους τους για τα ελληνικά δεδομένα. Οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί που επιλέχθηκαν ανήκουν στην Δημόσια επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.). Πρόκειται για θερμικούς σταθμούς που

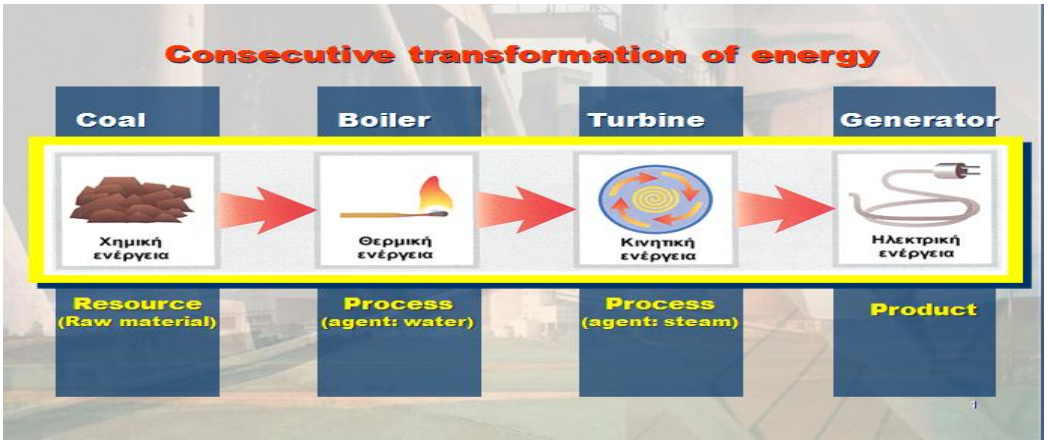
χρησιμοποιούν διαφόρων ειδών καύσιμα και διαφορετικές τεχνολογίες καύσης για την παραγωγή της θερμικής ενέργειας.

Ο λόγος επιλογής των συγκεκριμένων σταθμών σχετίζεται τόσο με τα τεχνικά ενδιαφέροντα του γράφοντα όσο και την ανάγκη σχετικής σύγκρισης διαφορετικών τεχνολογιών που έχουν όμως τον ίδιο τελικό σκοπό (την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).

Στην αξιολόγηση γίνεται χρήση δεδομένων οχτώ ετών (2006 έως και 2013) για τους σταθμούς αυτούς. Τα συγκεκριμένα έτη επιλέχθηκαν με βάση την ύπαρξη δεδομένων για αυτά, αλλά και γιατί παρουσιάζουν ενδιαφέρον τόσο από άποψη μεγίστων και ελαχίστων στη ζήτηση και παραγωγή φορτίων όσο και οικονομικής κρίσης (μειώσεις μισθών και εξορθολογισμός εξόδων). Χρησιμοποιώντας ως χρονική περίοδο το έτος, μειώνουμε την επίδραση εποχικότητας στα αποτελέσματα, όπως διαπιστώνεται και από τους Golani et al. (1994) και Hosseini & Hasanpour (2011).

5.2.1 Περιγραφή σταθμών παραγωγής

Η χημική ενέργεια που εσωκλείεται στο καύσιμο, μέσω της καύσης, μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Στη συνέχεια η θερμική ενέργεια μετατρέπεται αρχικά σε κινητική (μέσω ατμοστροβίλου, αεριοστροβίλου ή συνδυασμό των δυο) και τέλος σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Διαδικασίες μετατροπής διαφόρων μορφών ενέργειας (www.dei.gr)

Οι συγκεκριμένοι σταθμοί παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση όσον αφορά τη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (εγκατεστημένη ισχύ) και συνεπώς την ποσότητα κατανάλωσης καυσίμου και εκπεμπόμενων ρύπων. Τέλος, μια τρίτη κατηγοριοποίηση που μπορεί να γίνει στο δείγμα των σταθμών αυτών είναι ως προς το έτος κατασκευής και λειτουργία τους, που επίσης διαφέρει σημαντικά από σταθμό σε σταθμό. Θα πρέπει να επισημανθεί επίσης ότι ο κάθε σταθμός αποτελείται από ανεξάρτητες μονάδες

με διαφορετικό έτος κατασκευής, οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα, μπορεί να χρησιμοποιούν μεταξύ τους διαφορετικά καύσιμα (οι μη λιγνιτικοί) και το άθροισμα της εγκατεστημένης ισχύος τους αποτελεί την συνολική εγκατεστημένη ισχύ του εκάστοτε σταθμού.

Η διοικητική διάρθρωση του κάθε σταθμού είναι ίδια και αποτελείται από την κεντρική διεύθυνση και τέσσερις τομείς (Λειτουργίας, Συντήρησης, Χημείου και Διοικητικοοικονομικού) ενώ το προσωπικό αποτελείται από μόνιμους και έκτακτους εργαζόμενους.

Στον Πίνακα 5.1. παρουσιάζονται η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών, το πλήθος μονάδων του κάθε σταθμού με την ισχύ του, το έτος κατασκευής της κάθε μονάδας, το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, η τεχνολογία παραγωγής και η μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Πίνακα 5.2 εμφανίζει τις τεχνικές μεταβολές ανά έτος που έχουν πραγματοποιηθεί στους σταθμούς. Οι μεταβολές αυτές θα γίνει προσπάθεια να ερμηνεύσουν τυχόν σχετικά ευρήματα στα αποτελέσματα των επόμενων σεναρίων αξιολόγησης.

Το άθροισμα της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών κατά το αρχικό έτος (2006) είναι 7436 MW (59% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της ΔΕΗ), ενώ το 2013 το άθροισμα ισχύος είναι 7443 MW (58% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της ΔΕΗ). Παραμένει δηλαδή σχεδόν το ίδιο.

Πίνακας 5.1: Τεχνικά Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Σταθμών Παραγωγής

	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)**	**ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ (MW)**	**ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΑ ΕΤΟΣ**	**ΚΑΥΣΙΜΟ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ**	**ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GWh)**	**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**
1	ΚΑΡΔΙΑ (Kardia)	1212	I,II:300 III,IV:306	1974 - 1975 1980 - 1981	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	10617	ΑΤΜ
2	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (AgDimitrios)	1595	I,II:300 III,IV:310 V:367	1984 - 1984 1985 - 1986 1997	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	13972	ΑΤΜ
3	ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ (Ptolemaida)	550	I:70 - II,III:125 IV:300	1959 1962 - 1965 1973	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	4818	ΑΤΜ
4	ΑΜΥΝΤΑΙΟ (Amyntaio)	600	I,II:300	1987 - 1988	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	5256	ΑΤΜ
5	ΜΕΛΙΤΗ (Meliti)	330	I:330	2003	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	2890	ΑΤΜ

6	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ (Megalopoli)	600	III,IV:300	1975 1991	ΛΙΓΝΙΤΗΣ	5256	ΑΤΜ
7	ΚΟΜΟΤΗΝΗ (Komotini)	485	I:485	2002	Φ. ΑΕΡΙΟ	4248	Σ.Κ.
8	ΛΑΥΡΙΟ (Laurio)	1552	I:130 - II:300 III: 2X75 + 66 IV: 3X125 + 204 V:386	1972 - 1973 1998 1998 2007	I,II ΜΑΖΟΥΤ III,IV ΦΥΣ. ΑΕΡΙΟ ή DIESEL V ΦΥΣ. ΑΕΡΙΟ	13595	ΑΤΜ Σ.Κ.
9	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ (Linoperamata)	279	ΑΤΜ I-VI: (6.25,2X15,3X25) DIESEL I-IV: (4X12.8) Α/Σ I-IV: (16.25, 2X25, 43.3)	1965~2002	ΜΑΖΟΥΤ DIESEL	2444	ΑΤΜ DIESEL Α/Σ
10	ΡΟΔΟΣ (Rhodos)	240	DIESEL: (2X15, 2X12.8, 3X20) Α/Σ: (20,30,21.32)	1976~2012	ΜΑΖΟΥΤ DIESEL	2102	DIESEL Α/Σ

Πίνακας 5.2: Τεχνικές μεταβολές Σταθμών Παραγωγής

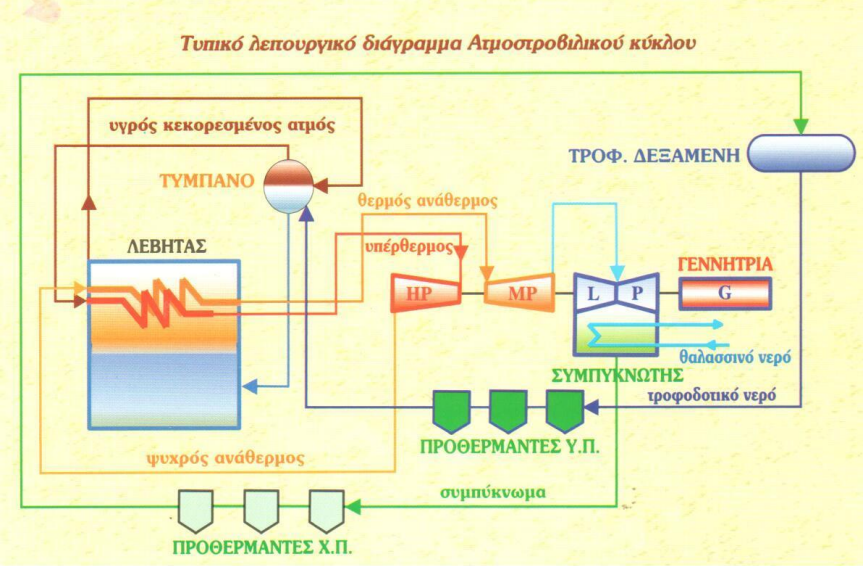
	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
1	ΚΑΡΔΙΑ				-38MW				
2	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ Η/Φ ΚΙ - ΙΙ		ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ Η/Φ ΚΙΙΙ - IV					
3	ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ						-70MW ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΔΡΙΑ		
4	ΑΜΥΝΤΑΙΟ								
5	ΜΕΛΙΤΗ								
6	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ					ΑΠΟΘΕΙΩΣΗ		-250MW ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΔΡΙΑ	
7	ΚΟΜΟΤΗΝΗ								
8	ΛΑΥΡΙΟ		+386MW	-20MW				-430MW ΨΥΧΡΗ ΕΦΕΔΡΙΑ	
9	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ								
10	ΡΟΔΟΣ		-2MW	-2MW		-1MW	-7MW	+11MW	

Στη συνέχεια περιγράφονται πολύ συνοπτικά οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιούνται στους εν λόγω σταθμούς.

5.2.2 Τεχνολογίες Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ατμοηλεκτρικές μονάδες

Οι μονάδες αυτές λειτουργούν καθ' όλο το 24ωρο (μονάδες βάσης) με ελαφρώς μειωμένο φορτίο μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη, μαζούτ ή diesel και χαρακτηρίζονται από το δυσμετάβλητο φορτίο τους και της πολύωρης διαδικασία εκκίνησης τους. Ένα τυπικό διάγραμμα ατμοηλεκτρικής μονάδας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2.



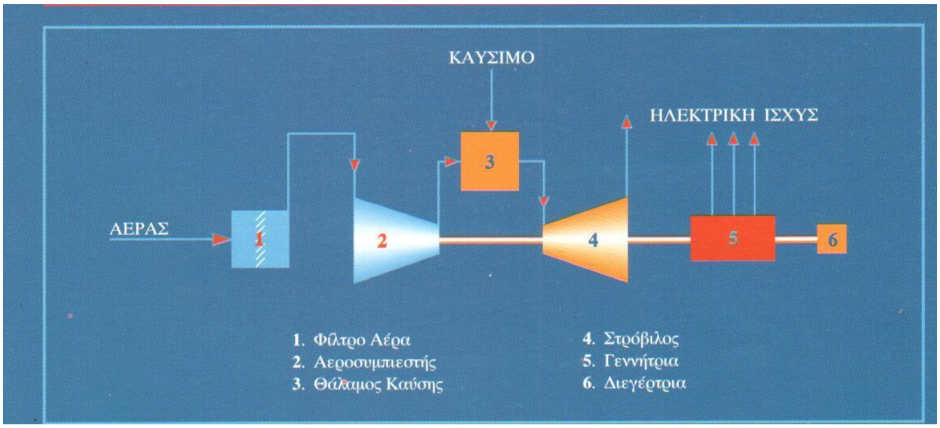
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Ατμοηλεκτρικής Μονάδας (Έντυπο ΑΗΣ Λαυρίου)

Λιγνιτικές Μονάδες

Πρόκειται για ατμοηλεκτρικές μονάδες που είναι σχετικά μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος. Η καύση πραγματοποιείται σε ατμολέβητες όπου το νερό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό (θερμική ενέργεια), ο οποίος οδηγείται στον ατμοστρόβιλο για την παραγωγή της κινητικής ενέργειας. Ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται προέρχεται από τοπικά λιγνιτωρυχεία και διαφέρει κατά πολύ όσον αφορά τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά (θερμογόνος δύναμη, περιεκτικότητα σε τέφρα, S_2, κ.α.) από σταθμό σε σταθμό. Η κατανάλωση καυσίμου εξαρτάται από το παραγόμενο φορτίο, τον βαθμό απόδοσης του λέβητα, την θερμογόνο δύναμή του και ποικίλει από 1,5 ως 2,2 t/hr ανά παραγόμενη MWh. Για τις εκκινήσεις, κρατήσεις ή υποστήριξη της καύσης διατίθενται εγκατεστημένοι καυστήρες πετρελαίου.

Αεριοστροβιλικές Μονάδες

Πρόκειται για μονάδες αιχμής (εξυπηρετούν φορτία σε ώρες αιχμής) κυρίως λόγο της ικανότητάς τους να φτάνουν σε πλήρη ισχύ εντός 20 λεπτών από την εκκίνησή τους, αλλά και του υψηλού κόστους λειτουργίας τους (ακριβό καύσιμο και μεγάλη ειδική κατανάλωση). Είναι σχετικά μικρής ισχύος και εγκαθίστανται στα νησιά. Σχηματική παράσταση ενός αεριοστρόβιλου δίνεται στο Σχήμα 5.3. Σαν καύσιμο χρησιμοποιείται πετρέλαιο diesel ή φυσικό αέριο.



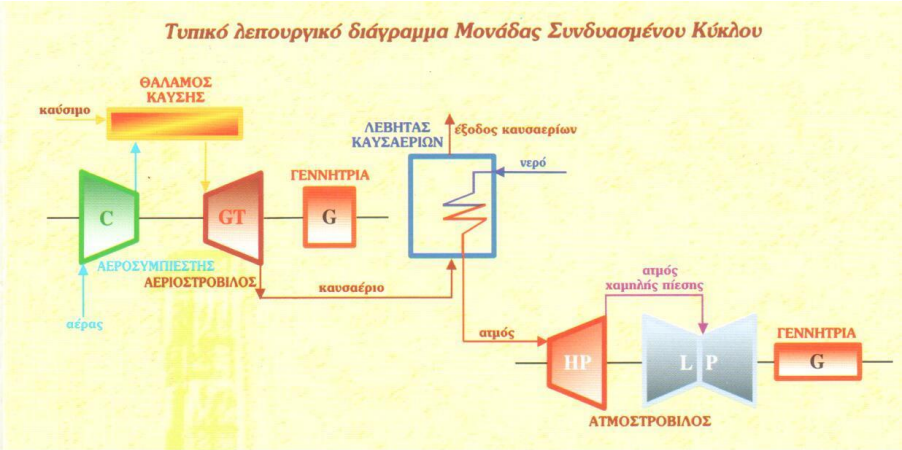
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα Αεριοστροβιλικής Μονάδας (Έντυπο ΑΗΣ Λαυρίου)

Μονάδες Diesel

Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούν ως καύσιμο μαζούτ ή πετρέλαιο diesel και λειτουργούν ως μονάδες βάσης με εξαίρεση τις νυχτερινές ώρες ορισμένων περιόδων του έτους, οπότε λόγω μικρής ζήτησης φορτίου επιβάλλεται η κράτησή τους. Χρησιμοποιούν την τεχνολογία μηχανών εσωτερικής καύσης (με σχετικά χαμηλή ειδική κατανάλωση σε σχέση με τις αεριοστροβιλικές) . Είναι μικρής ισχύος και εγκαθίστανται κυρίως στα νησιά.

Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου

Οι μονάδες αυτές συνδυάζουν (όπως τεκμαίρεται και το όνομά τους) την τεχνολογία των αεριοστροβίλων και των ατμοστροβίλων. Τυπικό λειτουργικό διάγραμμα τέτοιας μονάδας δίνεται στο Σχήμα 5.4. Στις μονάδες αυτές τα καυσαέρια του αεριοστροβίλου οδηγούνται σε λέβητες ανακτήσεως θερμότητας όπου παράγεται ατμός, ο οποίος τροφοδοτεί έναν ατμοστρόβιλο. Χρησιμοποιούνται ως μονάδες βάσης λόγω του ατμοστροβίλου, αλλά και αιχμής λόγω της ευελιξίας τους στην άνοδο φορτίου. Παρουσιάζουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης από όλους τους υπόλοιπους και εγκαθίστανται στην ηπειρωτική Ελλάδα και στα νησιά. Το καύσιμό τους είναι πετρέλαιο diesel ή φυσικό αέριο.



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα Μονάδας Συνδυασμένου Κύκλου (Έντυπο ΑΗΣ Λαυρίου)

Στον Πίνακα 4.6 περιλαμβάνονται σημαντικά στοιχεία της Λειτουργικής Δραστηριότητας της Επιχείρησης κατά τα εξεταζόμενα έτη. Τα στοιχεία αυτά περιγράφουν την πορεία της επιχείρησης τόσο όσον αφορά τη σταθερότητα της εγκατεστημένης ισχύος (αντικατάσταση μικρών παλαιών μονάδων με μεγάλη σύγχρονη μονάδα), τη σημαντική μείωση παραγωγής (κατά 30%) και την ταυτόχρονη μείωση των εργαζομένων (κατά 27%). Στον Πίνακα 5.3 αναφέρεται ο βαθμός απόδοσης των εγκαταστάσεων παραγωγής ανά τεχνολογία.

Πίνακας 5.3: Βαθμός απόδοσης θερμοηλεκτρικών μονάδων

Τεχνολογία	**Βαθμός Απόδοσης Μετατροπής Ενέργειας**
Συνδυασμένου Κύκλου	45-55%
Ατμοστροβιλικές	31-39%
Αεριοστροβιλικές	26-35%
Γεννήτριες Diesel	37-45%

5.3 Μεταβλητές σεναρίων αξιολόγησης (κριτήρια αξιολόγησης)

Η επιλογή των μεταβλητών εισόδου και εξόδου έγινε με βάση την τεχνική και οικονομική δραστηριότητα κάθε σταθμού (Xi-ping & Tian, 2012). Οι συγκεκριμένες τρεις μεταβλητές εισόδου (Θερμική Ενέργεια, Προσωπικό και Κόστος Συντήρησης) και οι δύο μεταβλητές εξόδου (Καθαρή Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Καθαρή Αδιάθετη Ηλεκτρική Ενέργεια) χαρακτηρίζουν τον κάθε σταθμό και αποτελούν αντιπροσωπευτικό ποσοτικό μέτρο χρησιμοποιούμενων πόρων και παραγόμενων προϊόντων. Τέλος, η επιλογή των συγκεκριμένων μη επιθυμητών εξόδων (εκπεμπόμενοι ρύποι: DUST, CO_2, SO_2 και NO_x) έγινε για τους λόγους που αναλύονται στην παράγραφο 5.3.1.

Οι χρησιμοποιούμενες μεταβλητές, τα ονόματα αυτών και οι μονάδες τους συνοψίζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Μεταβλητές μοντέλων DEA στα διάφορα σενάρια Αξιολόγησης

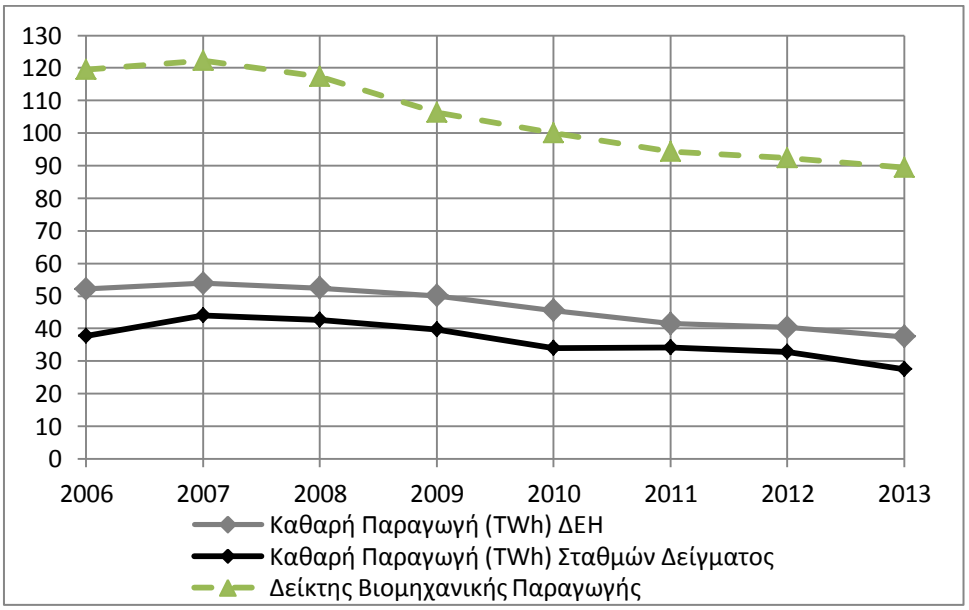
	Μεταβλητή	Όνομα Μεταβλητής στα μοντέλα DEA	Μονάδες Μέτρησης
ΕΙΣΟΔΟΙ (INPUTS)	Καταναλισκόμενη Θερμική Ενέργεια	Thermal Energy	PJ (=10^{15} Joule)
	Προσωπικό (Αριθμός Εργαζομένων)	Labor	Εργαζόμενοι*100 (Per*100)
	Κόστος Συντήρησης	Maintenance	€*10^{6}
ΕΞΟΔΟΙ (OUTPUTS)	Καθαρή Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια	Net Production	TWh (=10^{12} Wh)
	Καθαρή Αδιάθετη Ηλεκτρική Ενέργεια	Not Disposed Energy	TWh (=10^{12} Wh)
ΜΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΕΞΟΔΟΙ (ΩΣ ΕΙΣΟΔΟΙ)	Εκπομπές Σωματιδίων	Dust	kt
	Διοξείδιο του Άνθρακα	CO_2	10^{3} kt
	Διοξείδιο του Θείου	SO_2	Kt
	Διοξείδιο του Αζώτου	NO_X	kt

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται σημαντικά στατιστικά στοιχεία, για τα έτη των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στα διάφορα σενάρια αξιολόγησης της παρούσας εργασίας (για το 2006 και 2013), ενώ στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται ένα ενδιαφέρον διάγραμμα για τα έτη της έρευνας, όπου διακρίνεται η σχέση συνολικής καθαρής παραγωγής της ΔΕΗ με αυτή των εν λόγω σταθμών καθώς και ο δείκτης βιομηχανικής παραγωγής. Τα αρχικά δεδομένα είναι μη ανακοινώσιμα και γι' αυτό δεν είναι δυνατή η παρουσίαση τους. Στον Πίνακα 5.6 δίνονται οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών εισόδου – εξόδου όπου παρατηρούμε ότι δεν ισχύει η ισοτονικότητα ως προς την μεταβλητή εξόδου Non Disposed Energy (Αδιάθετη Ενέργεια), η οποία συσχετίζεται αρνητικά με τις μεταβλητές εισόδου) και επίσης η μεταβλητή Maintenance (Κόστος Συντήρησης προς τρίτους) παρουσιάζει τον μικρότερο συντελεστή συσχέτισης με την μεταβλητή εξόδου Net Production (Καθαρή Παραγωγή). Στο Σενάριο 3 γίνεται διερεύνηση της επίδρασης των μεταβλητών αυτών στις σχετικές αποδοτικότητες, εξετάζοντας μοντέλα, τα οποία δεν τις περιλαμβάνουν.

Πίνακας 5.5: Στατιστικά στοιχεία των μεταβλητών για τα έτη 2006 και 2013

2006	Mean	Sum	Std Dev	Variance	Minimum	Maximum	Range
Capacity (MW)	743,6	7436	463,16	214517,6	241	1595	1354
Net Production (TWh)	3,77	37,67	2,77	7,66	0,68	9,7	9,02
Non disposed Energy (TWh)	0,98	9,78	1,17	1,38	0,15	4,14	3,99
ThermalEnergy (PJ)	40,28	402,8	30,16	909,7	7,01	103,51	96,5
Labor(100*Per)	4,72	47,22	2,78	7,75	1,02	8,77	7,75
Maintenance (106)	5,29	52,94	2,85	8,1	1,92	11,44	9,52
Dust (kt)	2,28	22,82	3,04	9,24	0,02	7,23	7,21
So2 (kt)	26,85	268,47	58,28	3396,89	0	189,78	189,78
Co2 (103kt)	4,52	45,24	4,29	18,41	0,55	13,21	12,66
Nox (kt)	6,95	69,5	5,57	31,05	0,86	19,46	18,6

2013	Mean	Sum	Std Dev	Variance	Minimum	Maximum	Range
Capacity (MW)	744,3	7443	514,66	264879,3	240	1595	1355
Net Production (TWh)	2,75	27,53	2,53	6,42	0,66	8,57	7,91
Non disposed Energy (TWh)	2,02	20,25	2,53	6,39	0,17	8,8	8,63
ThermalEnergy (PJ)	32,09	320,92	30,74	944,76	5,24	100,46	95,22
Labor(100*Per)	3,44	34,45	1,75	3,07	0,93	5,96	5,03
Maintenance (106)	3,03	30,28	2,2	4,85	0,5	7,5	7
Dust (kt)	1,25	12,51	2,3	5,29	0,02	5,63	5,61
So2 (kt)	5,52	55,22	8,39	70,39	0	28,16	28,16
Co2 (103kt)	3,87	38,74	4,24	17,97	0,29	13,11	12,82
Nox (kt)	4,55	45,54	4,77	22,78	0	14,69	14,69



Σχήμα 5.5:Σχέση παραγωγής ΔΕΗ, σταθμών δείγματος και Δείκτη Βιομηχανικής Παραγωγής

Πίνακας 5.6 : Συντελεστές συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των μεταβλητών

Nonparametric Correlations

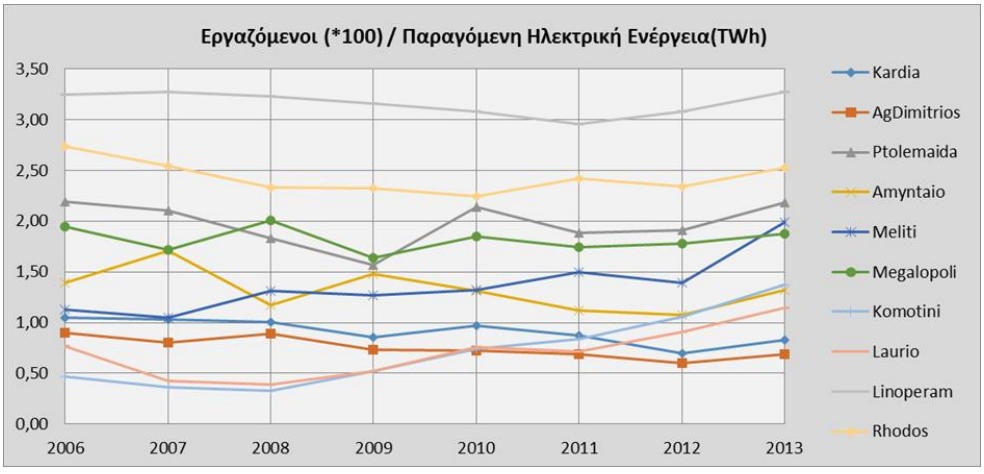
Correlations

			Net Production (TWh)	Non disposed Energy (TWh)	ThermalEnergy (PJ)	Labor (100*Per)	Maintenance (106€)	Eff. Score
Spearman's rho	Net Production (TWh)	Correlation Coefficient	1,000	-,095	,977**	,784**	,765**	-,071
		Sig. (2-tailed)	.	,401	,000	,000	,000	,531
		N	80	80	80	80	80	80
	Non disposed Energy (TWh)	Correlation Coefficient	-,095	1,000	-,224*	-,359**	-,230*	,658**
		Sig. (2-tailed)	,401	.	,046	,001	,040	,000
		N	80	80	80	80	80	80
	ThermalEnergy (PJ)	Correlation Coefficient	,977**	-,224*	1,000	,861**	,765**	-,196
		Sig. (2-tailed)	,000	,046	.	,000	,000	,081
		N	80	80	80	80	80	80
	Labor(100*Per)	Correlation Coefficient	,784**	-,359**	,861**	1,000	,751**	-,420**
		Sig. (2-tailed)	,000	,001	,000	.	,000	,000
		N	80	80	80	80	80	80
	Maintenance (106€)	Correlation Coefficient	,765**	-,230*	,765**	,751**	1,000	-,310**
		Sig. (2-tailed)	,000	,040	,000	,000	.	,005
		N	80	80	80	80	80	80
	Eff. Score	Correlation Coefficient	-,071	,658**	-,196	-,420**	-,310**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,531	,000	,081	,000	,005	.
		N	80	80	80	80	80	80

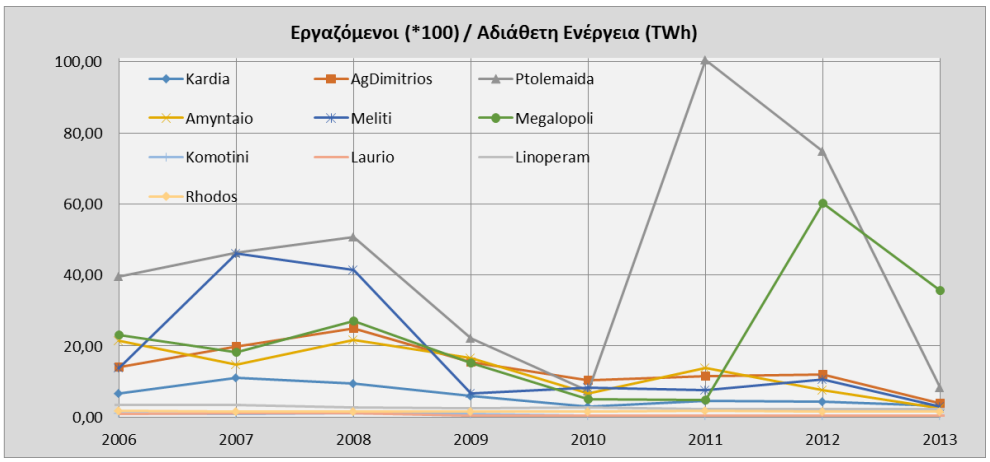
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

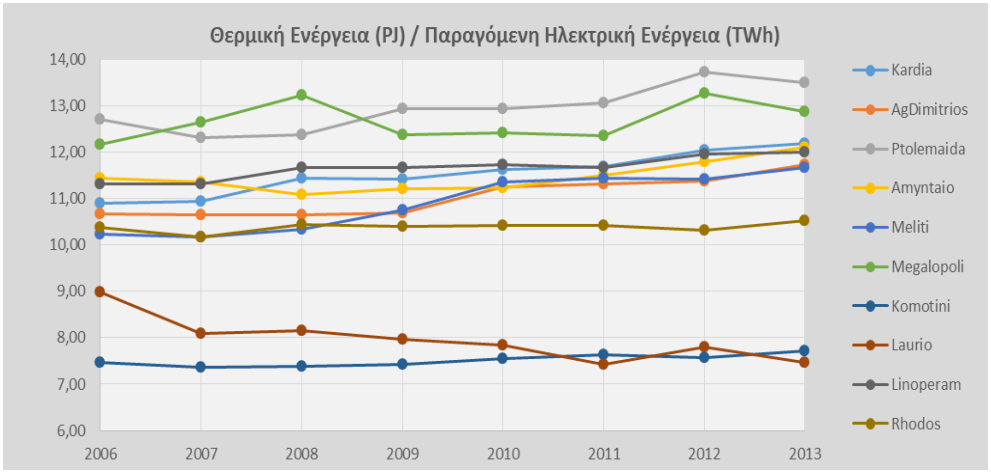
Τέλος, στα Σχήματα 5.6 ως και 5.9 παρουσιάζονται ενδιαφέροντα συγκριτικά στοιχεία των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία και αφορούν τους σταθμούς του δείγματος.



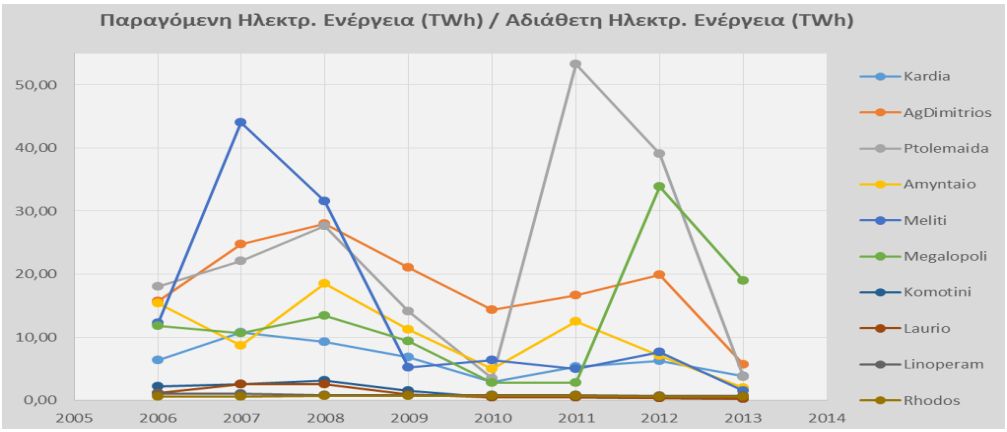
Σχήμα 5.6: Σχέση εργαζομένων και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.7: Σχέση εργαζομένων και αδιάθετης ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.8: Σχέση θερμικής ενέργειας και παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 5.9: Σχέση παραγόμενης και αδιάθετης ηλεκτρικής ενέργειας

5.3.1 Συλλογή Δεδομένων

Από τα πιο κρίσιμα σημεία της μεθόδου αποτελεί η αξιοπιστία των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των τελικών δεικτών αποδοτικότητας των DMUs. Η συλλογή των δεδομένων είναι χρονοβόρα διαδικασία και προϋποθέτει αξιοπιστία των πηγών. Σύμφωνα και με τους Sarıca & Or (2007) οι αιτίες οφείλονται κυρίως στη δυσκολία συλλογής δεδομένων, τα οποία χαρακτηρίζονται από τις επιχειρήσεις ως εμπιστευτικά ή και πολλές φορές ως απόρρητα και στην ευαισθησία που παρουσιάζει η μέθοδος DEA σε μικρά σφάλματα των πρωτογενών δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία τα δεδομένα προέρχονται από τη Διεύθυνση Εκμετάλλευσης Θερμοηλεκτρικών Σταθμών (ΔΕΘ) της Γενικής Διεύθυνσης Παραγωγής (ΓΔ/Π) της ΔΕΗ. Ορισμένες ελλείψεις συμπληρώθηκαν με τιμές μέσω γραμμικής παρεμβολής και μέσω διεθνών τιμών των καυσίμων. Για το κόστος φυσικού αερίου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές εισαγωγής (www.rae.gr), ενώ για τα μαζούτ και diesel λαμβάνονται υπόψη η περιοχή εγκατάστασης του σταθμού (κόστος μεταφοράς) με βάση παρελθόντα στοιχεία, καθώς και οι μέσες τιμές ανά έτος πώλησης στις διεθνείς αγορές. Τέλος, το κόστος μετατρέπεται σε €/tn με βάση τις μέσες τιμές ισοτιμίας συναλλάγματος. Όπου χρησιμοποιούνται τιμές κόστους ανά μονάδα έχουν αποπληθωριστεί, με βάση το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ), στο έτος 2013.

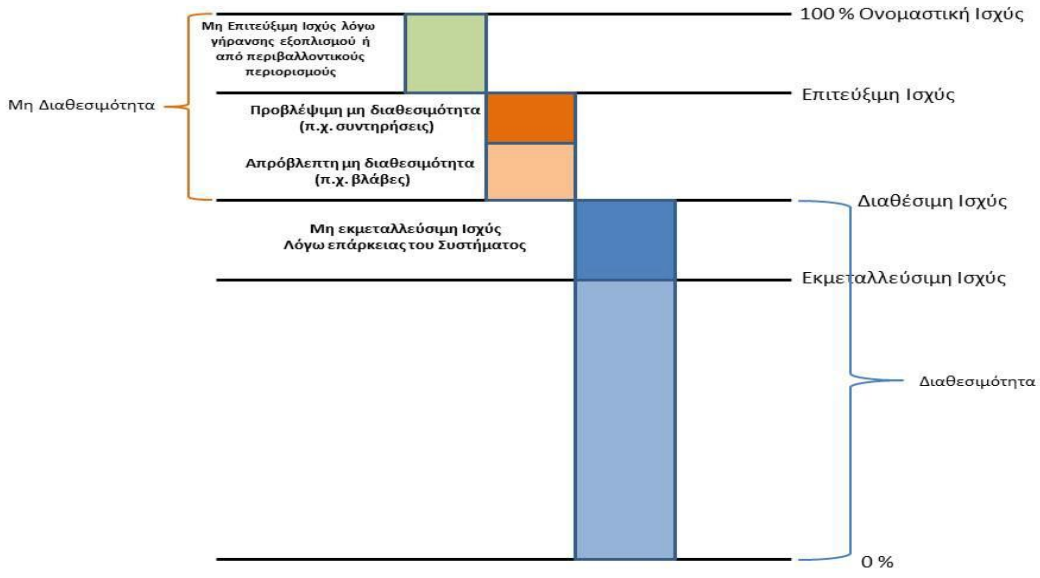
Η καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια υπολογίζεται από το σύνολο των καυσίμων (ποσότητα καυσίμου x θερμικό περιεχόμενο ανά μονάδα) του κάθε σταθμού χωρίς να αφαιρείται η ποσότητα που απαιτείται για βοηθητικές χρήσεις (μικρό ποσοστό), αλλά αφαιρώντας τη θερμότητα (μικρό ποσοστό) που διανέμεται για χρήσεις εκτός σταθμών, όπως είναι η τηλεθέρμανση πόλεων (αφορά τους ΑΗΣ Αμύνταιου, Πτολεμαΐδας, Καρδιάς, Αγίου Δημητρίου και Μεγαλόπολης). Επισημαίνεται, ότι η χρήση μόνο της ποσότητας καυσίμου ως μεταβλητή εισόδου, όπως εφαρμόζουν οι Xi-ping & Tian (2012) και οι Chen et al. (2013), οδηγεί σε επισφαλή συμπεράσματα ειδικά όταν το θερμικό περιεχόμενο του (KJ/Kgr) διαφέρει σημαντικά από σταθμό σε σταθμό (όπως ισχύει στους λιγνιτικούς σταθμούς).

Το προσωπικό περιλαμβάνει το σύνολο των εργαζομένων (μόνιμων και έκτακτων) που μισθοδοτούνται από τον ίδιο τον σταθμό και όχι εργαζόμενους που απασχολούνται για λογαριασμό εργολάβων (outsourcing).

Το κόστος συντήρησης αποτελεί ένα μέρος του συνολικού κόστους συντήρησης κάθε σταθμού και αφορά εργασίες που εκτελούνται με τη συμβολή εξωτερικών συνεργατών εργολάβων (outsourcing).

Η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που τελικά διοχετεύεται από το σταθμό στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (προς τους τελικούς καταναλωτές). Προκύπτει από τη συνολική μεικτή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αφαιρώντας την ιδιοκατανάλωση (ηλεκτρική ενέργεια για εσωτερική χρήση του σταθμού), η οποία διαφέρει από σταθμό σε σταθμό ανάλογα με το είδος καυσίμου (περίπου 10% στους λιγνιτικούς και 2% στους φυσικού αερίου) και ανάλογα με την παλαιότητα του σταθμού.

Η καθαρή αδιάθετη ηλεκτρική ενέργεια (Σχήμα 5.10) αναφέρεται στην καθαρή ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσε να παράγει ο σταθμός (βάσει κάποιας ετήσιας διαθεσιμότητας και ιδιοκατανάλωσης), αλλά για λόγους επάρκειας φορτίου ή μη οικονομικής προσφοράς ημερήσιας τιμής στον Εθνικό Ρυθμιστή (ΑΔΜΗΕ) δεν παράγεται και δεν διατίθεται στο δίκτυο από τον σταθμό. Ωστόσο, η ύπαρξη αυτού του δυναμικού για χρήση από το εθνικό δίκτυο σε περίπτωση αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ή βλάβης άλλου σταθμού, πιστώνεται (τιμολογείται) προς τον κάθε σταθμό με τιμή περίπου 5€/MWh). Η ρύθμιση αυτή δεν ισχύει στο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο όπου ανήκουν οι σταθμοί των νησιών Κρήτης (Λινοπεράματα) και Ρόδου.



Σχήμα 5.10: Γραφική απεικόνιση της έννοιας «Διαθεσιμότητας» σε έναν σταθμό Παραγωγής (Σπίνος, 2014)

Όσον αφορά τους ρύπους (μη επιθυμητές έξοδοι) πρέπει να επισημανθεί η εξάρτησή τους κυρίως από το είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται και σε δεύτερο βαθμό από την τεχνολογία παραγωγής και του συστήματος δέσμευσής τους. Όσον αφορά το CO_2 στον Πίνακα 5.7 δίνεται η ποσότητα εκπομπής ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.

Πίνακας 5.7: Εκπεμπόμενη ποσότητα CO2 ανά καύσιμο

Καύσιμο	Εκπεμπόμενη Ποσότητα CO_2 (tn/MWh)
Λιγνίτης	215,4
Πετρέλαιο	161,3
Φυσικό Αέριο	117

Ενώ οι ρύποι των DUST και SO_2 διαφέρουν κατά πολύ ακόμη και μεταξύ των λιγνιτικών σταθμών εξαιτίας της προέλευσης του κοιτάσματος λιγνίτη που αξιοποιείται σε κάθε σταθμό.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί, όπως κάνουν και οι Athanassopoulos et al. (1999) ότι η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι υπό τον απόλυτο έλεγχο του διευθυντή του κάθε σταθμού, αλλά προκύπτει από τη δηλωμένη τιμή προσφοράς ανά MWh στην ημερήσια αγορά του ελληνικού συστήματος και την ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτηση είναι αυτή που προκαλεί την παραγωγή και στο σύστημα εισέρχεται πάντοτε η φθηνότερη υπάρχουσα ενέργεια. Ο Διευθυντής μπορεί ωστόσο να επηρεάσει την προσφερόμενη τιμή.

5.3.2 Μεταβλητές Ρύπανσης (Μη επιθυμητές Έξοδοι)

Στην επιλογή ως κύριων μεταβλητών ρύπανσης των Αιωρούμενων Σωματιδίων (DUST) και του Διοξειδίου του θείου (SO_2) συνέτειναν το ότι πρόκειται για ρύπους άμεσης επίδρασης στην υγεία των κατοίκων σε τοπικό επίπεδο (Tai et al., 2010), αλλά και το ότι ήδη εφαρμόζεται τεχνολογία περιορισμού τους, στους συγκεκριμένους σταθμούς. Στην περίπτωση του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO_2) το κόστος εγκατάστασης σε μεγάλους σταθμούς είναι απαγορευτικό και προϋποθέτει πρόβλεψη για εξ αρχής εγκατάσταση.

Επιπλέον οι εκπομπές του CO_2 εξαρτώνται από τον τύπο καυσίμου και από την ποσότητα αυτού που απαιτείται για την παραγωγή 1 MWh (Ειδική Κατανάλωση καυσίμου), η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία μετατροπής

ενέργειας (Λέβητας, Στρόβιλος) και το θερμικό περιεχόμενο του καυσίμου (KJ/Kg) (στην περίπτωση λιγνίτη υπάρχει μεγάλη διακύμανση). Συνεπώς, οι εκπομπές του CO_2 δεν μπορούν να επηρεαστούν από άλλον παράγοντα σε δεδομένη εγκατάσταση παρά μόνο με τη βελτίωση του Βαθμού Αποδοτικότητας (δηλαδή μείωση της Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου).

Εστιάζοντας στους ρύπους DUST και SO_2 και με βάση τα σενάρια, μπορεί να γίνει αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας των Ηλεκτροστατικών φίλτρων (Η/Φ) των Σταθμών (κατακράτηση του DUST), αλλά και των μονάδων Αποθείωσης (κατακράτηση του SO_2) όπου αυτές υφίστανται. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι οι δύο αυτοί ρύποι είναι ως επί το πλείστον αρνητικά σχετιζόμενοι (ειδικά στους λιγνιτικούς σταθμούς) και εξαρτώνται από την ποιότητα (θερμικό περιεχόμενο) και το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται στο σταθμό. Ωστόσο, σε ένα από τα σενάρια αξιολόγησης ελέγχεται η επίδραση και των υπόλοιπων δυο ρύπων (NO_x και CO_2).

Σύμφωνα με τους Yang et al. (2007), Xi-ping & Tian (2012), Tai et al. (2010), Sueyoshi et al. (2010), οι εκπεμπόμενοι ρύποι αποτελούνται κυρίως από CO_2, SO_2, CH_4, NO_x, CO και NMVOC (Non-methane volatile organic compounds), ενώ οι επιπτώσεις των SO_2, NO_x και CO_2 στο περιβάλλον περιγράφονται από τους Sueyoshi et al. (2010).

5.4 Επιλογή προσανατολισμού στα σενάρια αξιολόγησης

Σε όλα τα σενάρια της παρούσας έρευνας η μέθοδος DEA εφαρμόζεται προσανατολισμένη στις εισόδους, δηλαδή στους χρησιμοποιούμενους πόρους (input oriented) με σκοπό την ελαχιστοποίησή τους με δεδομένες τις εξόδους (Παραγόμενη Ενέργεια, Αδιάθετη Ενέργεια). Τον προσανατολισμό αυτό χρησιμοποιούν και οι περισσότεροι ερευνητές, λόγω της φύσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε χώρα που χαρακτηρίζεται από σχετική σταθερότητα (Tai et al. (2010); Liu et al. (2013); (Zhou et al. (2008); Azadeh et al. (2007)). Σύμφωνα με τους Zhou et al. (2008) η υιοθέτηση input oriented μοντέλου οφείλεται στο ότι στον ενεργειακό τομέα υψηλότερη προτεραιότητα, ως στόχος, δίνεται στην ικανοποίηση της ζήτησης από την πλευρά των παραγωγών.

Η μέτρηση αποδοτικότητας προσανατολισμένη στις εξόδους (παραγωγή) (output oriented) θα εφαρμοζόταν στην περίπτωση που θα θέλαμε να μελετήσουμε τους σταθμούς σε μια ανταγωνιστική αγορά, όπου η ποσοστιαία παραγωγή της επιχείρησης δεν θα ήταν

τόσο υψηλή (περίπου 98%), αλλά πολύ χαμηλότερη και θα στόχευε σε αύξηση της συμμετοχής της (Liu et al., 2010).

5.5 Σενάρια – Μοντέλα αξιολόγησης των σταθμών παραγωγής

Υλοποιώντας το τελευταίο βήμα της μεθόδου DEA για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων της διαδικασίας αξιολόγησης των σταθμών παραγωγής επιλέχθηκαν 12 τελικά μοντέλα - σενάρια αξιολόγησης, καθένα από τα οποία μετράει τη σχετική αποδοτικότητα των σταθμών από διαφορετική οπτική γωνία και όλα μαζί συμβάλλουν σε μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγησή τους. Συνθέτοντας τις επιμέρους σχετικές αποδοτικότητες ή διατηρώντας αυτούσια τα αποτελέσματα του κάθε σεναρίου διακρίνουμε τα αδύνατα και δυνατά σημεία του κάθε σταθμού και της τεχνολογίας που αντιπροσωπεύει.

Τα σενάρια αξιολόγησης που ελέγχθηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8 όπου δίνονται πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο, τις μεταβλητές (αναφέρονται με την αγγλική τους ορολογία με βάση τον Πίνακα 5.4, όπως εισήχθησαν στο Λογισμικό PIM –DEA), τους σταθμούς προς αξιολόγηση και τον τελικό σκοπό σύγκρισης.

Πίνακας 5.8: Σενάρια μέτρησης αποδοτικότητας σταθμών παραγωγής

ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ		ΜΟΝΤΕΛΟ DEA	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΩΝ (INPUTS)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΞΟΔΩΝ (OUTPUTS)	ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Δείγμα 10 σταθμών για 8 έτη (μικρό πλήθος σε σχέση με το πλήθος μεταβλητών)
2		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Χρήση Περιορισμών (Weight Restrictions) για συμμετοχή όλων των μεταβλητών στο αποτέλεσμα και δικαιότερη ταξινόμηση σε σύγκριση με το Σενάριο 1
3	a	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Μείωση πλήθους μεταβλητών για καλύτερη διακριτότητα στα αποτελέσματα σε σύγκριση με το Σενάριο 1
	b	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor	• Net Production	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Επιπλέον μείωση πλήθους μεταβλητών για καλύτερη διακριτότητα στα αποτελέσματα σε σύγκριση με το Σενάριο 1
4		BCC (VRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	• "Καθαρά" Τεχνική Αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency) • Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency)	• Αποδοτικότητα (Διαχείρισης) απαλλαγμένη από την επίδραση του μεγέθους του σταθμού • Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency) σε συνδυασμό με το Σενάριο 1

5		CCR(CRS) BCC (VRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	• Τεχνική Αποδοτικότητα • "Καθαρά" Τεχνική Αποδοτικότητα • Αποδοτικότητα Κλίμακας	Συνδυασμός των Σεναρίων 1 και 4 με δείγμα τις 80 παρατηρήσεις (10 σταθμοί Χ 8 έτη) για καλύτερη διακριτότητα στα αποτελέσματα
6		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Εφαρμογή του Σεναρίου 1 μόνο στους Λιγνιτικούς Σταθμούς με παράλειψη μιας μεταβλητής
7		BCC (VRS)	• Thermal Energy • Labor	• Net Production • Not Disposed Energy	• "Καθαρά" Τεχνική Αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency) • Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency)	Εφαρμογή του Σεναρίου 4 μόνο στους Λιγνιτικούς Σταθμούς με παράλειψη μιας μεταβλητής
8	a	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance • Dust • SO_2	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Εισαγωγή 2 μεταβλητών Ρύπανσης στο Σενάριο 1
	b	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance • Dust • SO_2	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Επανάληψη του Σεναρίου 8a με χρήση Μηδενικής Προτεραιότητας στις μεταβλητές Ρύπανσης.
	c	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Dust • SO_2	• Net Production	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Επανάληψη του Σεναρίου 8a με παράλειψη 2 μεταβλητών.
	d	CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Dust • SO_2	• Net Production • Not Disposed Energy	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Εφαρμογή του Σεναρίου 6 με εισαγωγή μεταβλητών ρύπανσης μόνο στους Λιγνιτικούς Σταθμούς
9	a	CCR(CRS)	• Dust • SO_2 • CO_2 • NOx	• Net Production	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Μέτρηση Περιβαλλοντικής Συμπεριφοράς
	b	CCR(CRS)	• Dust • SO_2 • CO_2 • NOx	• Net Production	Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency)	Μέτρηση Περιβαλλοντικής Συμπεριφοράς μόνο των Λιγνιτικών σταθμών
10		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	• Συνολική Αποδοτικότητα (Overall Efficiency) • Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency)	Εισαγωγή τιμών κόστους ανά μονάδα στις μεταβλητές εισόδου και σύγκριση με το Σενάριο 1
11		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance • Dust • SO_2	• Net Production • Not Disposed Energy	• Συνολική Αποδοτικότητα (Overall Efficiency) • Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency)	Εισαγωγή τιμών κόστους ανά μονάδα στις μεταβλητές εισόδου και σύγκριση με το Σενάριο 8a
12		CCR(CRS)	• Thermal Energy • Labor • Maintenance	• Net Production • Not Disposed Energy	• Μεταβολή Παραγωγικότητας (Δείκτης Malmquist)	Μέτρηση μεταβολής αποδοτικότητας ανά έτος.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Το εύρος των πληροφοριών που λαμβάνει κανείς εφαρμόζοντας την μέθοδο DEA και ειδικά με το λογισμικό PIM-DEA είναι πραγματικά ανεξάντλητο. Για τον λόγο αυτό αναφέρονται τα κυριότερα σημεία των αποτελεσμάτων που έχουν ενδιαφέρον για ένα διοικητικό στέλεχος .

Στο Σενάριο 1 αναλύονται αρκετές πτυχές των αποτελεσμάτων ερμηνεύοντας τη χρησιμότητα καθενός από αυτά. Στα επόμενα σενάρια για λόγους οικονομίας χώρου παρουσιάζονται μόνο οι σχετικές αποδοτικότητες και η κατάταξη των σταθμών βάσει των μέσων τιμών, ενώ γίνονται και τα απαραίτητα σχόλια.

Τόσο οι σταθμοί, όσο και οι μεταβλητές εισόδου – εξόδου αναφέρονται με το αγγλικό τους όνομα, όπως δηλαδή εισήχθησαν στο λογισμικό PIM-DEA και με βάση τους Πίνακες 5.1 και 5.4, αντίστοιχα.

6.1 Σενάριο 1

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 παρατηρείται μια αρκετά καλή διάκριση στις τιμές της Αποδοτικότητας (Efficiencies scores). Οι σταθμοί που πρωταγωνιστούν ως προς την Τεχνική Αποδοτικότητα είναι της Komotinis, του Lauriou και των Linoperamaton, ενώ από τους Λιγνιτικούς, του AgDimitriou και της Kardias. Η μέση τιμή αποδοτικότητας παρουσιάζει μέγιστο στο 2009 και ελάχιστο με σημαντική διαφορά στο 2008.

Πίνακας 6.1: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 1)

	Kardia	AgDimitrios	Ptolemaida	Amyntaio	Meliti	Megalopoli	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos	Average
2006	90,32	100	62,55	78,12	84,13	67,07	100	100	78,88	100	**86,11**
2007	80,58	86,67	59,78	64,71	72,31	58,17	100	90,96	100	100	**81,32**
2008	64,51	72,91	59,52	66,62	71,19	55,83	100	100	83,41	100	**77,40**
2009	91,27	100	64,68	83,28	87,44	67,44	100	100	100	100	**89,41**
2010	77,26	100	58,44	73,79	66,62	60,94	100	100	100	72,57	**80,96**
2011	90,87	100	68,18	90,77	78,7	73,4	100	100	100	71,12	**87,30**
2012	91,05	100	56,6	75,38	67,75	58,57	100	100	100	74,98	**82,43**
2013	90,98	100	59,27	89,81	78,4	59,46	100	100	100	70,55	**84,85**
Average	**84,61**	**94,95**	**61,13**	**77,81**	**75,82**	**62,61**	**100,00**	**98,87**	**95,29**	**86,15**	**83,72**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**6**	**4**	**10**	**7**	**8**	**9**	**1**	**2**	**3**	**5**	

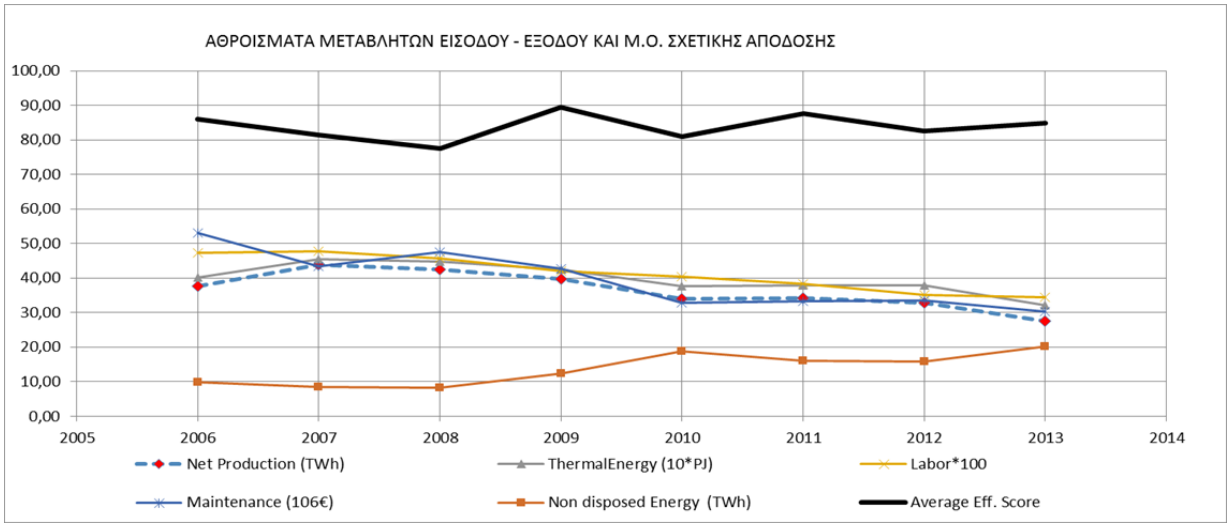
Οι καλύτερες τιμές σχετικής αποδοτικότητας των σταθμών φυσικού αερίου, μαζούτ και diesel δικαιολογούνται για καθαρά τεχνικούς λόγους. Οι λόγοι αυτοί σχετίζονται τόσο με τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (Πίνακας 5.3) μετατροπής θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική (λόγος Καθαρής Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας / Καταναλισκόμενη Θερμική Ενέργεια), ο οποίος με βάση τις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούμε (TWh /

PJ) , είναι περίπου 0,13 στους σταθμούς αυτούς, ενώ στους λιγνιτικούς περίπου 0,08, όσο και στο λιγότερο προσωπικό που διατηρούν σε σύγκριση με τους λιγνιτικούς (οι οποίοι επιβαρύνονται με συστήματα διαχείρισης λιγνίτη και τέφρας). Τέλος, σε μη λιγνιτικούς σταθμούς το κόστος συντήρησης είναι σαφώς μικρότερο λόγω της φύσης του καυσίμου που χρησιμοποιούν.

Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί η συσχέτιση παλαιότητας σταθμών και μειωμένης σχετικής αποδοτικότητας, γεγονός που γίνεται φανερό στην περίπτωση των γηραιότερων σταθμών (Ptolemaida, Megalopoli).

Τέλος, ο σταθμός της Rhodou παρουσιάζει σημαντική μείωση της σχετικής του απόδοσης από το έτος 2010 ως και το έτος 2013, γεγονός που χρήζει διερεύνησης.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 6.1 παρουσιάζονται τα αθροίσματα των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών και οι μέσες τιμές των Efficiency scores για κάθε έτος. Διακρίνεται η ανάλογη μεταβολή της Net Production ως προς την Thermal Energy, γεγονός το οποίο αναμένεται λόγω του σχεδόν σταθερού βαθμού απόδοσης των θερμικών αυτών μονάδων.



Σχήμα 6.1: Αθροίσματα μεταβλητών και μέση τεχνική αποδοτικότητα σταθμών

Στον Πίνακα 6.2. παρουσιάζονται οι συντελεστές βαρύτητας (Weights) για το έτος 2006 όπως προκύπτουν από την επίλυση του μοντέλου CRS (μέσω του PIM-DEA). Παρατηρείται ότι στο εν λόγω έτος στη διαμόρφωση των efficiency score (αποδοτικότητες) συμμετέχουν σχεδόν μόνο οι μεταβλητές Net Production, Thermal Energy και Maintenance ενώ σημειώνονται πάρα πολλά «μηδενικά» στις υπόλοιπες δυο μεταβλητές, γεγονός που δείχνει ότι δεν λαμβάνονται υπόψη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ελέγχονται τα Weights ως 5

δεκαδικά ψηφία (ενδεχομένως να υποκρύπτονται μικρότερα Weights, τα οποία μέσω του PIM-DEA μπορούν να ανιχνευτούν με την κατάλληλη παραμετροποίηση).

Πίνακας 6.2: Συντελεστές βαρύτητας (Weights) για το έτος 2006

Name	Net Production (TWh)	Non disposed Energy (TWh)	Thermal Energy (PJ)	Labor (100*Per)	Maintenance (106€)
Kardia	0,13789	0	0,00801	0	0,07618
AgDimitrios	0,10309	0	0	0,07301	0,05472
Ptolemaida	0,23873	0	0,02422	0	0,02436
Amyntaio	0,20888	0	0,02119	0	0,02131
Meliti	0,44047	0	0,04469	0	0,04494
Megalopoli	0,14838	0	0,01505	0	0,01514
Komotini	0,46296	0	0,04697	0	0,04724
Laurio	0,20964	0	0,02127	0	0,02139
Linoperam	0,57185	0,20553	0,0812	0	0,02381
Rhodos	0,92993	0,33422	0,13205	0	0,03872

Αντίστοιχα, στον Πίνακα 6.3, που αντιστοιχεί στο έτος 2013, εμφανίζονται Weights και στην μεταβλητή Labor. Γενικά από του πίνακες αυτούς των Weights μπορεί κανείς να εκμαιεύσει ποιες μεταβλητές από κάθε σταθμό «λειτουργούν» με περισσότερη βαρύτητα για το efficiency score του συγκεκριμένου σταθμού. Επιπλέον, σύμφωνα και με τους Korhonen & Luptacik (2004) ελέγχοντας το λόγο Weighted Input / Sum (Weighted Inputs), για κάθε DMU (σταθμό) που είναι 100% αποτελεσματική, αν προκύπτει αριθμός πλησίον του 100% (>70%) τότε η μεταβλητή αυτή (της αποδοτικής DMU) είναι σημαντική και αποτελεί «καλή πρακτική», την οποία θα πρέπει να μιμηθούν και οι υπόλοιποι σταθμοί. Για παράδειγμα, με βάση τον Πίνακα 6.1 η Komotini και τα Linoperamata είναι 100% αποδοτικές το 2013. Συνεπώς, από τον Πίνακα 6.3 προκύπτει, ότι οι υπόλοιποι σταθμοί θα πρέπει να μιμηθούν την Komotini ως προς το προσωπικό (Labor), γιατί: 0,90284/(0,90284+0,20045) = 0,818 και τα Linoperamata ως προς το κόστος συντήρησης (Maintenance), γιατί: 1,03715 / (1,03715+0,05263) = 0,952 .

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί η πιθανότητα ύπαρξης πολλαπλών βέλτιστων λύσεων σε ένα μοντέλο DEA, οπότε σε κάθε βέλτιστη λύση θα μεταβάλλονται και τα weights (συντελεστές βαρύτητας). Κατά συνέπεια, σε κάθε εναλλακτική λύση μπορεί κανείς να αναζητεί καλές πρακτικές βάσει των συντελεστών βαρύτητας, αλλά δεν ισχύει το αντίστροφο, δηλαδή να εντοπίσει «φτωχές» πρακτικές (όταν η DMU είναι αποδοτική).

Πίνακας 6.3: Συντελεστές βαρύτητας (Weights) για το έτος 2013

Name	Net Production (TWh)	Non disposed Energy (TWh)	Thermal Energy (PJ)	Labor (100*Per)	Maintenance (10^6€)
Kardia	0,16452	0	0,00901	0,08549	0
AgDimitrios	0,11669	0	0,00639	0,06063	0
Ptolemaida	0,28497	0	0,01831	0,05173	0,06216
Amyntaio	0,32776	0	0,02136	0	0,13867
Meliti	0,7	0	0,04562	0	0,29617
Megalopoli	0,18757	0	0,01027	0,09746	0
Komotini	0,70746	0,15398	0	0,90284	0,20045
Laurio	0,24182	0,05263	0	0,3086	0,06852
Linoperam	1,18223	0,08983	0,05285	0	1,03715
Rhodos	1,06893	0	0,14347	0	0

Στον Πίνακας 6.4 των Cross Efficiencies, σύμφωνα με τους Boussofiane et al. (1991), αθροίζοντας την κάθε στήλη, μπορεί κανείς να αυξήσει την διακριτότητα (ευκολία ταξινόμησης) μεταξύ των efficient σταθμών. Παρατηρεί κανείς ότι το Laurio έχει μεγαλύτερο άθροισμα στη στήλη του από ότι η Komotini, συνεπώς είναι αποδοτικότερο από αυτή, παρόλο που στον Πίνακα 6.1 είναι και οι δυο 100% αποδοτικοί. Επιπλέον διερεύνηση απαιτείται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη αστάθεια στην αποδοτικότητα ανάλογα με το έτος (Ptolemaida, Amyntaio, Meliti, Linoperamata, Rhodos)

Πίνακας 6.4: Διασταυρούμενες Αποδοτικότητες (Cross Efficiencies) για το έτος 2013

2013	Kardia	AgDimitrios	Ptolemaida	Amyntaio	Meliti	Megalopoli	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos
Kardia	90,98	100	53,42	74,21	59,72	59,46	88,3	100	42,52	52,83
AgDimitrios	90,98	100	53,42	74,21	59,72	59,46	88,3	100	42,52	52,83
Ptolemaida	89,95	100	59,27	84,43	72,61	59,36	100	100	66,4	61,21
Amyntaio	87,82	100	58,74	89,81	78,4	54,34	100	91,29	94,37	60,61
Meliti	87,82	100	58,74	89,81	78,4	54,34	100	91,29	94,37	60,61
Megalopoli	90,98	100	53,42	74,21	59,72	59,46	88,3	100	42,52	52,83
Komotini	81,99	100	31,72	58,57	39,65	32,96	100	100	30,42	35,36
Laurio	81,99	100	31,72	58,57	39,65	32,96	100	100	30,42	35,36
Linoperam	81,1	100	44,16	85,62	66,15	37,87	100	81,45	100	45,78
Rhodos	61,07	63,56	55,27	61,53	63,75	57,86	96,69	100	62,16	70,55

Επιπλέον πληροφορίες παίρνουμε και από τον Πίνακα 6.5 των Περιθωρίων (Slacks) για το έτος 2013. Συγκεκριμένα για την Kardia, η οποία σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1 είναι κατά 91% περίπου αποδοτική (2013), θα πρέπει αρχικά να μειώσει κατά 100-91 = 9% τις εισόδους της (πόρους) και επιπλέον κατά $0,29*10^6$ € το κόστος συντήρησης ή να αυξήσει κατά 2,57 TWh την Αδιάθετη Ενέργεια (Non Disposed Energy) προκειμένου να γίνει 100% αποδοτική. Όπου υπάρχει "0" σημαίνει ότι δεν υπάρχει σπατάλη σε αυτήν τη μεταβλητή.

Πίνακας 6.5: Περιθώρια (Slacks) για το έτος 2013

2013	Net Production (TWh)	Non disposed Energy (TWh)	ThermalEnergy (PJ)	Labor (100*Per)	Maintenance (10^6€)
Kardia	0	2,57	0	0	0,29
AgDimitrios	0	0	0	0	0
Ptolemaida	0	8,79	0	0	0
Amyntaio	0	1,83	0	0,96	0
Meliti	0	2,87	0	0,49	0
Megalopoli	0	11,82	0	0	0,03
Komotini	0	0	0	0	0
Laurio	0	0	0	0	0
Linoperam	0	0	0	0	0
Rhodos	0	1,5	0	0,43	0,11

Παρόμοια πληροφορία μας δίνει και ο Πίνακας 6.6 των Targets για το έτος 2013. Καθοδηγεί, μέσω των ποσοστιαίων μεταβολών ανά μεταβλητή, για τις κινήσεις που πρέπει να κάνει ένας μη αποδοτικός σταθμός ώστε να γίνει αποδοτικός.

Πίνακας 6.6: Προτεινόμενοι Στόχοι (Targets) για το έτος 2013

2013	Net Production (TWh) Gain(%)	Non disposed Energy (TWh) Gain(%)	ThermalEnergy (PJ) Gain(%)	Labor(100*Per) Gain(%)	Maintenance (106€) Gain(%)
Kardia	0	177,18	-9,02	-9,02	-15,46
AgDimitrios	0	0	0	0	0
Ptolemaida	0	1569,04	-40,73	-40,73	-40,73
Amyntaio	0	130,01	-10,19	-36,8	-10,19
Meliti	0	387,56	-21,6	-43,67	-21,6
Megalopoli	0	6950,63	-40,54	-40,54	-40,88
Komotini	0	0	0	0	0
Laurio	0	0	0	0	0
Linoperam	0	0	0	0	0
Rhodos	0	133,59	-29,45	-54,96	-36,58

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οι εισηγήσεις που γίνονται από την μέθοδο DEA στους δυο τελευταίους πίνακες, δεν είναι πάντοτε εφικτές. Συγκεκριμένα, μια μείωση κατά 9% στο προσωπικό της Kardias είναι λογική ενώ μια αύξηση κατά 6950% στην Αδιάθετη ενέργεια της Megalopolis είναι τεχνικά αδύνατη.

Σημαντικότατη επίσης πληροφορία μας δίνει και η συχνότητα με την οποία εμφανίζεται ένας σταθμός ως ομότιμος (προς μίμηση) – peer στους υπόλοιπους σταθμούς. Στον Πίνακα 6.7 εμφανίζεται η συχνότητα των σταθμών που εμφανίζονται ως ομότιμοι (προς μίμηση) σε άλλους σταθμούς μη αποδοτικούς. Όσο πιο αυξημένη είναι η συχνότητα,

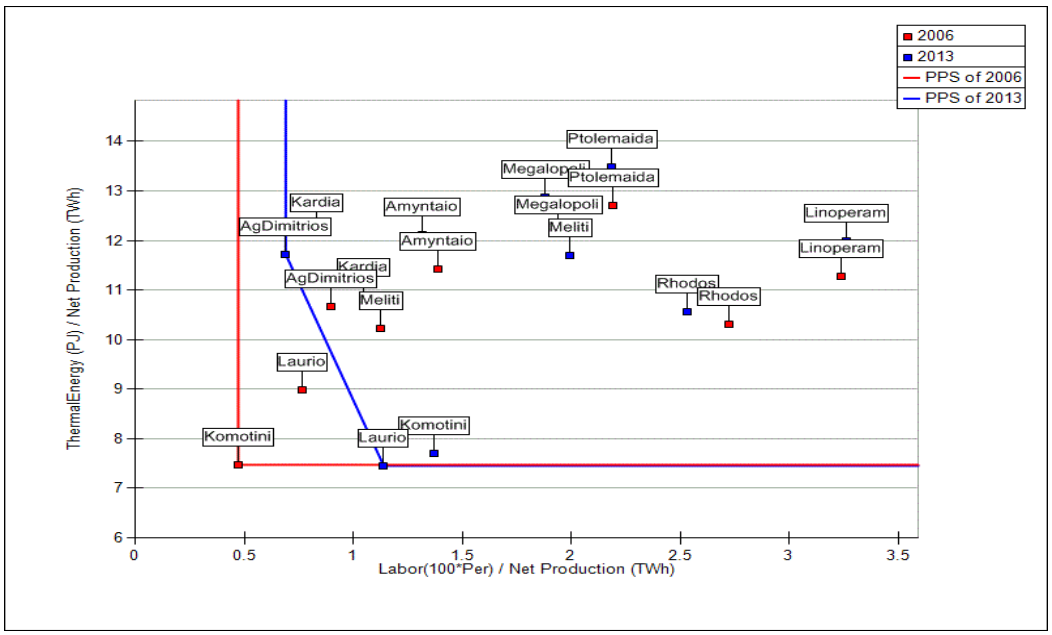
τόσο πιο καλές πρακτικές φέρει ο σταθμός αυτός. Συνεπώς, από αυτήν την άποψη προηγούνται κατά σειρά προτεραιότητας η Komotini, το Laurio και AgDimitrios.

Συγκρίνοντας την Ptolemaida με τον AgDimitrio κατά τα έτη 2011 και 2013, κατά τα οποία ο AgDimitrios αποτελεί ομότιμη (peer) της Ptolemaidas (οι αντίστοιχοι πίνακες δεν αναφέρονται χάριν συντομίας), παρατηρούμε ότι η Ptolemaida, βάσει του Πίνακα 6.1, παρουσιάζει αποδοτικότητα 68,18% και 59,27%, αντίστοιχα. Παρόλο που ο AgDimitrios είναι σταθμός με τριπλάσια περίπου εγκατεστημένη ισχύ σε σύγκριση με την Ptolemaida και τριπλάσια ως τετραπλάσια παραγωγή από ότι η Ptolemaida, η τελευταία απασχολεί περίπου το 77% του προσωπικού του AgDimitriou, η συντήρησή της κοστίζει περίπου 85% του AgDimitriou, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνει 15% περισσότερη θερμική ενέργεια από ότι ο AgDimitrios. Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι λογική η διαφοροποίηση στα αποτελέσματα της αποδοτικότητας των δύο αυτών σταθμών.

Πίνακας 6.7: Συχνότητες Ομότιμων (Peers) Σταθμών

	AgDimitrios	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos
2006	2	6	7		2
2007		8		1	2
2008		8	1		
2009	6	1	5	1	1
2010	3	7	1	3	
2011	6	6	2	1	
2012	3	3	7	1	
2013	6	4	5	1	
Σύνολο	26	43	28	8	5

Σύμφωνα με το Σχήμα 6.2, παρατηρείται αύξηση του λόγου θερμικής ενέργειας προς καθαρή παραγωγή ενέργειας μεταξύ των ετών 2006 και 2013. Η αύξηση του λόγου ουσιαστικά ερμηνεύεται ως επιδείνωση του βαθμού απόδοσης των σταθμών και οφείλεται στη χαμηλότερη παραγωγή κατά το έτος 2013. Γενικά, οι θερμικοί σταθμοί όταν δεν λειτουργούν στα μέγιστα φορτία τους (μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς) είναι λιγότερο αποδοτικοί. Σημαντική βελτίωση παρουσιάζεται στο σταθμό του Lauriou, όπου μεσολαβεί έναρξη λειτουργίας νέας μονάδας συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου και παύση λειτουργίας παλαιότερων μονάδων μαζούτ.

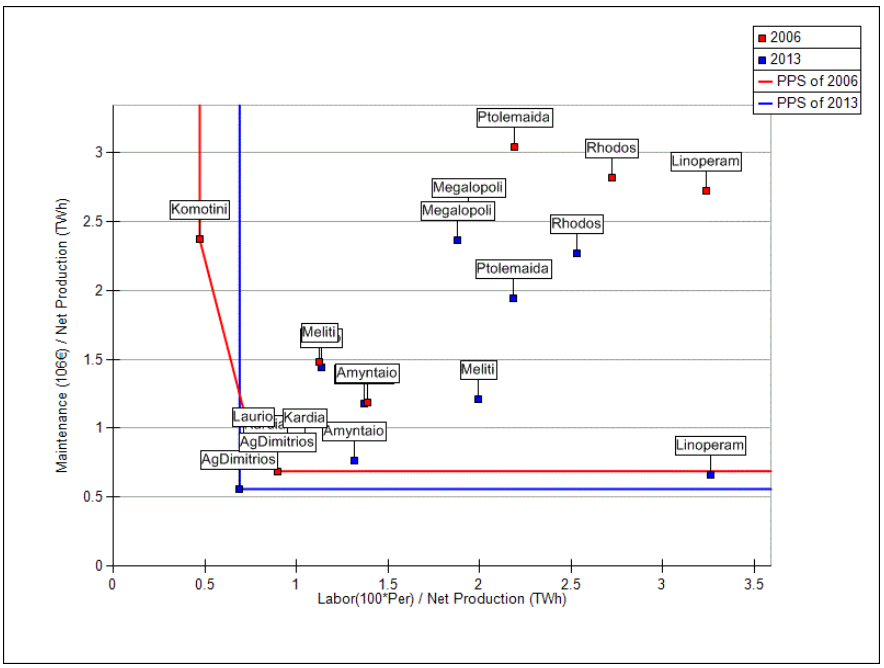


Σχήμα 6.2: 1ο Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 - 2013

Στο ίδιο διάγραμμα αξίζει να επισημανθεί η μείωση του λόγου εργαζομένων προς καθαρή παραγωγή ενέργειας, η οποία είναι συνέπεια της σημαντικής μείωσης εργαζομένων (λόγω συνταξιοδότησης και έλλειψης νέων προσλήψεων) κατά το τρέχον διάστημα.

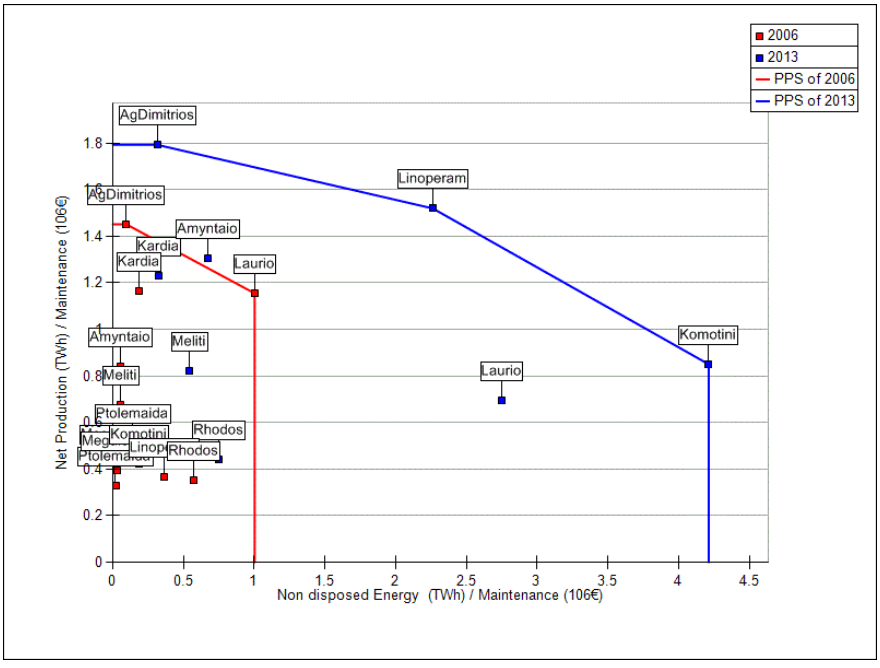
Οι σταθμοί τοποθετούνται στις γραμμές βέλτιστης αποδοτικότητας με βάση μόνο τις συγκριμένες μεταβλητές που επιλέχθηκαν στους δύο άξονες και όχι με βάση τη συνολική τους αποδοτικότητα (π.χ. ο σταθμός της Komotinis ενώ κατά το έτος 2013 έχει σχετική αποδοτικότητα 100% με βάση τις μεταβλητές του διαγράμματος, δεν τοποθετείται στη γραμμή βέλτιστης αποδοτικότητας του 2013).

Σύμφωνα με το Σχήμα 6.3 παρατηρείται σημαντική μείωση στο κόστος συντήρησης ανά Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας μεταξύ των δύο ετών.



Σχήμα 6.3: 2^{ο} Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 - 2013

Τέλος, στο Σχήμα 6.4 είναι και πάλι εμφανής η μείωση κόστους συντήρησης σε αντιπαράθεση με τις 2 μεταβλητές εξόδου (Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας και Μη Διατεθειμένη Ενέργεια).



Σχήμα 6.4: 3^{ο} Συγκριτικό Διάγραμμα ετών 2006 - 2013

6.2 Σενάριο 2

Στο Σενάριο 2 διερευνάται η επίδραση διαφόρων περιορισμών που τίθενται στις μεταβλητές εισόδου και εξόδου του Σεναρίου 1. Σκοπός των περιορισμών είναι να αυξηθεί

η δυνατότητα ταξινόμησης (διακριτότητα) των σταθμών καθώς και ο έλεγχος επίδρασης των μεταβλητών στην διαμόρφωση του βαθμού αποδοτικότητας του κάθε σταθμού.

Οι περιορισμοί στην παρούσα έρευνα προκύπτουν από τα ίδια τα δεδομένα θεωρώντας λόγους μεταξύ δυο μεταβλητών (x/y) κάθε φορά και ανιχνεύοντας το ελάχιστο (a) και το μέγιστο (b) του λόγου, πάντοτε από τα δεδομένα. Οι λόγοι που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν στα ελάχιστα και τα μέγιστα των Σχημάτων 5.6 ως 5.8. Προκύπτουν για κάθε ζεύγος μεταβλητών σχέσεις της μορφής: $a \le {x}/{y} \le b$. Με δεδομένο ότι, Wx και Wy είναι οι συντελεστές βαρύτητας των μεταβλητών x και y αντίστοιχα, τότε ισχύει: ${Wx}/{Wy} = {y}/{x}$. Από τις δυο παραπάνω σχέσεις προκύπτει, για κάθε ζεύγος μεταβλητών, ανισότητες της μορφής $Wy - a * \mathrm{Wx} \ge 0$ και $Wy - b * \mathrm{Wx} \le 0$. Με την μορφή αυτή εισάγονται μέσω του PIM-DEA στο αρχικό μοντέλο του σεναρίου 1. Οι τελικοί περιορισμοί των μεταβλητών που εισάγονται (όλες μαζί, μια-μια ή συνδυασμοί αυτών) παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8: Καθορισμός άνω και κάτω ορίου λόγου μεταβλητών

1	a	$W_{NetProd} - 0{,}2 * W_{Labor} \ge 0$
	b	$W_{NetProd} - 4 * W_{Labor} \le 0$
2	a	$W_{NetProd} - 6 * W_{ThermalEnerg} \ge 0$
	b	$W_{NetProd} - 15 * W_{ThermalEnerg} \le 0$
3	a	$W_{NetProd} - 0{,}3 * W_{Maint} \ge 0$
	b	$W_{NetProd} - 8 * W_{Maint} \le 0$
4	a	$W_{NonDisp} - 0{,}2 * W_{NetProd} \ge 0$
	b	$W_{NonDisp} - 100 * W_{NetProd} \le 0$

Ερμηνεύοντας πρακτικά τους περιορισμούς του Πίνακα 6.8 προκύπτουν τα εξής:

- Περιορισμός 1: Για την παραγωγή μιας TWh απαιτούνται από 20 ως 400 εργαζόμενοι.
- Περιορισμός 2: Για την παραγωγή μιας TWh απαιτούνται από 6 ως 15 PJ θερμικής ενέργειας.
- Περιορισμός 3: Για την παραγωγή μιας TWh απαιτούνται από 300000€ ως 8000000€ για συντήρηση του σταθμού.

- Περιορισμός 4: Για την εμφάνιση μιας αδιάθετης (NonDisposed) TWh απαιτείται παραγωγή από 0,2 ως 100 TWh.

Εκτελούνται συνολικά 8 δοκιμές με τους συνδυασμούς περιορισμών που αναφέρονται στον Πίνακα 6.9 ενώ η δοκιμή Normal είναι το Σενάριο 1

Πίνακας 6.9: Περιορισμοί ανά δοκιμή

ΔΟΚΙΜΗ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ
Normal	0	0
1	Όλοι του Πίνακα 6.8	8
2	Άνω όρια (όλα τα b)	4
3	Κάτω όρια (όλα τα a)	4
4	1a, 1b	2
5	2a, 2b	2
6	3a, 3b	2
7	4a, 4b	2
8	1a, 1b, 4a, 4b	4

Στον Πίνακα 6.10 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των σημαντικών (Sig≤0,05) συντελεστών συσχέτισης (απόλυτων τιμών) των μεταβλητών εισόδου – εξόδου με τις μέσες αποδοτικότητες ανά δοκιμή, καθώς και το πλήθος των μηδενικών συντελεστών βαρύτητας (weights). Παρατηρούμε ότι η συσχέτιση αυξάνεται σημαντικά στις δοκιμές 5 και 6, ενώ σε όλες τις δοκιμές (εκτός της 1 και 2) η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη από το αρχικό μοντέλο (χωρίς περιορισμούς).

Πίνακας 6.10 : Αποτελέσματα δοκιμών

	Normal	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέση τιμή Σημαντικών Συντ. Συσχέτισης με Μεταβλητές	0,463	-	-	0,503	0,495	0,514	0,537	0,503	0,489
Μέση τιμή Αποδοτικότητας	83,747	0,000	0,000	77,080	78,660	35,050	34,300	77,080	73,050
Πλήθος Αποδοτικών Σταθμών	31	0	0	28	26	14	14	28	23
Πλήθος "μηδενικών" συντ. βαρύτητας	161	-	-	92	111	214	204	111	58

Στις δοκιμές 1 και 2 όλοι οι σταθμοί παρουσιάζονται με μηδενική αποδοτικότητα, ένδειξη ότι το πλήθος των περιορισμών είναι υπερβολικό. Συνεπώς, οι περιορισμοί αυτοί δεν ενδείκνυνται.

Στη δοκιμή 3 παρατηρείται καλύτερη διακριτότητα με τη Normal (μικρότερη μέση τιμή αποδοτικότητας και λιγότεροι αποδοτικοί σταθμοί), καλύτερη συσχέτιση και επιπλέον «μηδενικά» στον πίνακα των Weights (92 έναντι 161 του Normal). Επίσης, εμπλέκονται περισσότερο και οι μεταβλητές Labor και Maintenance, μετά το 2009.

Στη δοκιμή 4 παρατηρείται ελάχιστη εμπλοκή της μεταβλητής NonDisposed Energy, ενώ όλες οι υπόλοιπες λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση. Επιπλέον, τα συνολικά «μηδενικά» παραμένουν μειωμένα (111).

Στη δοκιμή 5 έχουμε σαφώς καλύτερη συσχέτιση του αποτελέσματος με τα αρχικά δεδομένα και καλύτερη διακριτότητα, ωστόσο τα «μηδενικά» (214) είναι πάρα πολύ υψηλά. Επίσης, οι μεταβλητές NetProduction και ThermalEnergy δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψη, όπως και οι μεταβλητές Labor και Maintenance κάποιες χρονιές.

Στη δοκιμή 6 παρόλο που επιτυγχάνεται η υψηλότερη συσχέτιση και πολύ καλή διακριτότητα, τα «μηδενικά» παραμένουν σε υψηλό επίπεδο, όπως και στην προηγούμενη δοκιμή (204 έναντι σε σύνολο 400 στοιχείων), ένδειξη ότι στη διαμόρφωση των Efficiency scores δεν λαμβάνονται υπόψη πάντοτε όλες οι μεταβλητές εισόδου – εξόδου. Επίσης, δεν εμπλέκονται καθόλου οι μεταβλητές Net Production και Maintenance.

Στη δοκιμή 7 η συσχέτιση και η διακριτότητα παραμένουν σε υψηλά επίπεδα ενώ κάποια έτη δεν λαμβάνονται υπόψη η Labor και η Maintenance, ενώ τα «μηδενικά» λιγοστεύουν κατά πολύ.

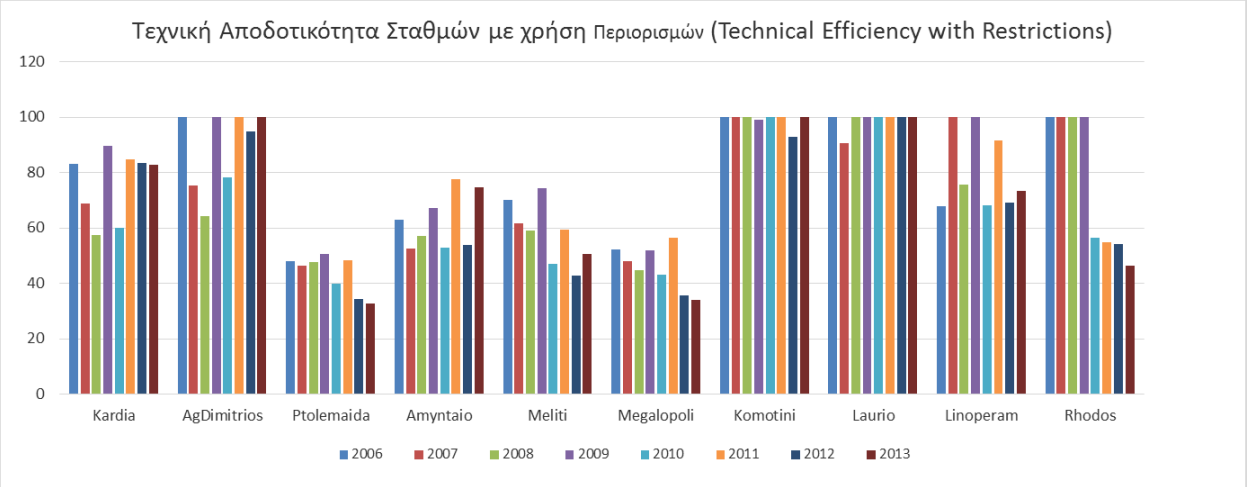
Στη δοκιμή 8 συνδυάζονται οι περιορισμοί της δοκιμής 4 και της δοκιμής 7. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ελαχιστοποίηση στα «μηδενικά» (58) και εμπλέκονται όλες οι μεταβλητές πλην του NonDisposedEnergy. Επίσης, η συσχέτιση και η διακριτότητα παραμένουν σε ικανοποιητικά επίπεδα και μάλιστα υψηλότερα από το Normal.

Συνεπώς, το μοντέλο της δοκιμής 8 θεωρείται πιο «δίκαιο» ως προς τη χρήση των μεταβλητών και με αρκετά καλή διακριτότητα μεταξύ των σταθμών. Ο πίνακας και το ραβδόγραμμα με τις σχετικές αποδοτικότητες των σταθμών στην περίπτωση της δοκιμής 8 παρουσιάζονται στους Πίνακας 6.11 και Σχήμα 6.5, αντίστοιχα, όπου είναι εμφανής η καλύτερη διακριτότητα μεταξύ των σταθμών. Επίσης, παρατηρούνται μικρές αλλαγές στην κατάταξη των σταθμών. Ο AgDimitrios ανεβαίνει στην τρίτη θέση (από την τέταρτη που

ήταν) ενώ τα Linoperamata και η Rhodos υποβιβάζονται κατά μία θέση (από την τρίτη και Πέμπτη που κατείχαν). Τέλος, στις δυο τελευταίες θέσεις παραμένουν οι ίδιοι σταθμοί.

Πίνακας 6.11: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών με χρήση περιορισμών (Δοκιμή 8)

	Kardia	AgDimitrios	Ptolemaida	Amyntaio	Meliti	Megalopoli	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos	Average
2006	83,06	100	48,03	63,13	70,31	52,4	100	100	67,8	100	**78,47**
2007	68,75	75,29	46,38	52,48	61,82	47,99	100	90,65	100	100	**74,34**
2008	57,64	64,2	47,82	57,23	58,99	44,94	100	100	75,83	100	**70,67**
2009	89,67	100	50,51	67,17	74,27	52,03	99,25	100	100	100	**83,29**
2010	59,96	78,46	39,88	52,93	47,15	43,03	100	100	68,3	56,39	**64,61**
2011	84,88	100	48,36	77,78	59,46	56,45	100	100	91,76	54,89	**77,36**
2012	83,42	95	34,4	53,79	43,02	35,84	92,83	100	69,34	54,3	**66,19**
2013	83	100	32,9	74,79	50,6	34,2	100	100	73,47	46,3	**69,53**
Average	**76,30**	**89,12**	**43,54**	**62,41**	**58,20**	**45,86**	**99,01**	**98,83**	**80,81**	**76,49**	**73,06**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**6**	**3**	**10**	**7**	**8**	**9**	**1**	**2**	**4**	**5**	



Σχήμα 6.5: Τεχνική Αποδοτικότητα Σταθμών με χρήση Περιορισμών (Δοκιμή 8)

Για χάριν απλότητας και ομοιομορφίας στα επόμενα σενάρια αξιολόγησης δεν τίθενται περιορισμοί.

6.3 Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3 γίνεται ανάλυση ευαισθησίας και έλεγχος επιβεβαίωσης του μοντέλου που εφαρμόστηκε στο Σενάριο 1. Συγκεκριμένα, παραλείπονται αρχικά η μεταβλητή Maintenance – Σενάριο 3a (λόγω χαμηλότερης συσχέτισης με την έξοδο Net Production) και στη συνέχεια και η μεταβλητή εξόδου Non Disposed Energy – Σενάριο 3b (λόγω αρνητικής συσχέτισης με τις εισόδους). Συγκρίνονται οι μέσες τιμές των σχετικών αποδόσεων των σταθμών (αναμένονται μικρότεροι λόγω λιγότερων μεταβλητών του μοντέλου) και οι συντελεστές συσχέτισης των αποδόσεων με τις χρησιμοποιούμενες κάθε φορά μεταβλητές.

Στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι σχετικές αποδοτικότητες με βάση το Σενάριο 3a, ενώ στον Πίνακα 6.13 με βάση το Σενάριο 3b, αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται μείωση στο συνολικό μέσο όρο αποδοτικότητας από 83,72% σε 76,98% και σημαντική μείωση στο πλήθος των Efficient σταθμών από 31 σε 22 (σε σύνολο 80 παρατηρήσεων: 10 σταθμοί x 8 έτη), αύξηση δηλαδή της διακριτότητας (ικανότητας ταξινόμησης) των σταθμών πράγμα αναμενόμενο λόγω των λιγότερων μεταβλητών. Επίσης, μικρές αλλαγές παρατηρούνται στις ενδιάμεσες θέσεις κατάταξης των σταθμών.

Πίνακας 6.12: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 3a)

	Kardia	AgDimitrios	Ptolemaida	Amyntaio	Meliti	Megalopoli	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos	Average
2006	68,61	70,02	58,84	65,42	73,08	61,5	100	100	77,77	100	**77,52**
2007	67,31	69,17	59,78	64,71	72,31	58,17	100	90,96	77,59	100	**76,00**
2008	64,51	69,26	59,52	66,62	71,19	55,83	100	100	83,41	100	**77,03**
2009	64,99	70,79	57,22	66,06	68,74	59,92	100	100	78,6	100	**76,63**
2010	76,17	100	58,44	67,26	66,62	60,94	100	100	64,4	72,57	**76,64**
2011	80,42	100	56,91	64,62	64,87	59,95	100	100	63,41	71,12	**76,13**
2012	91,05	100	54,96	75,38	67,52	57,27	100	100	62,63	73,25	**78,21**
2013	90,98	100	55,27	74,21	63,75	59,46	100	100	62,16	70,55	**77,64**
Average	**75,51**	**84,91**	**57,62**	**68,04**	**68,51**	**59,13**	**100,00**	**98,87**	**71,25**	**85,94**	**76,98**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**5**	**4**	**10**	**8**	**7**	**9**	**1**	**2**	**6**	**3**	

Στην δεύτερη περίπτωση σημειώνεται μια επιπλέον μείωση του συνολικού μέσου όρου αποδοτικότητας σε 74,39% (από 76,98% του προηγούμενου μοντέλου) και επιπλέον το πλήθος των Efficient σταθμών είναι μόνο 12. Οι πρώτες δυο θέσεις της κατάταξης παραμένουν στην Komotini και το Laurio, ενώ ενισχύονται οι λιγνιτικοί σταθμοί Kardias και AgDimitriou.

Πίνακας 6.13: Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών (Σενάριο 3b)

	Kardia	AgDimitrios	Ptolemaida	Amyntaio	Meliti	Megalopoli	Komotini	Laurio	Linoperam	Rhodos	Average
2006	68,61	70,02	58,84	65,42	73,08	61,5	100	83,16	66,28	72,48	**71,94**
2007	67,31	69,17	59,78	64,71	72,31	58,17	100	90,94	65	72,11	**71,95**
2008	64,51	69,26	59,52	66,62	71,19	55,83	100	90,32	63,14	70,7	**71,11**
2009	64,99	70,79	57,22	66,06	68,74	59,92	100	99,85	63,66	71,84	**72,31**
2010	76,17	100	58,44	67,26	66,62	60,94	100	98,24	64,4	72,57	**76,46**
2011	80,42	100	56,91	64,62	64,87	59,95	96,93	100	63,41	71,12	**75,82**
2012	91,05	100	54,96	75,38	67,52	57,27	100	100	62,63	73,25	**78,21**
2013	90,98	100	55,27	74,21	63,75	59,46	96,69	100	62,16	70,55	**77,31**
Average	**75,51**	**84,91**	**57,62**	**68,04**	**68,51**	**59,13**	**99,20**	**95,31**	**63,84**	**71,83**	**74,39**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**4**	**3**	**10**	**7**	**6**	**9**	**1**	**2**	**8**	**5**	

Τέλος, από τον Πίνακα 6.14, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο κάθε μοντέλο, προκύπτει ότι ο μέσος όρος των απόλυτων συντελεστών συσχέτισης (σημαντικών δηλαδή: Sig≤0,05) στο Σενάριο 3a είναι αρκετά μεγαλύτερος από το αρχικό μοντέλο. Συνεπώς, το μοντέλο του σεναρίου 3a είναι πιο πολύ συσχετισμένο με τα αρχικά δεδομένα.

Πίνακας 6.14: Μέση τιμή Απόλυτων Συσχετίσεων ανά Σενάριο Αξιολόγησης

		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3a	Σενάριο 3b
Net Production (TWh)	Correlation Coefficient	-,071	,041	-,048	,094
	Sig. (2-tailed)	,531	,718	,671	,406
	N	80	80	80	80
Non disposed Energy (TWh)	Correlation Coefficient	,658**	,633**	,639**	,567**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000
	N	80	80	80	80
ThermalEnergy (PJ)	Correlation Coefficient	-,196	-,097	-,191	-,055
	Sig. (2-tailed)	,081	,393	,089	,628
	N	80	80	80	80
Labor(100*Per)	Correlation Coefficient	-,420**	-,345**	-,501**	-,440**
	Sig. (2-tailed)	,000	,002	,000	,000
	N	80	80	80	80
Maintenance (106€)	Correlation Coefficient	-,310**	-,184	-,209	-,129
	Sig. (2-tailed)	,005	,102	,063	,254
	N	80	80	80	80
Μέση Απόλυτη Τιμή		0,462	0,489	0,57	0,44

6.4 Σενάριο 4

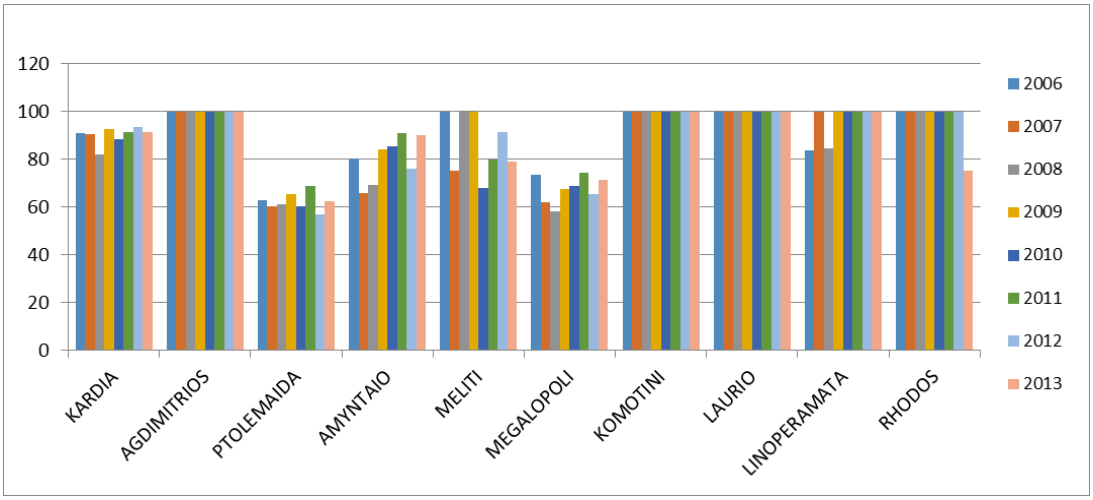
Σύμφωνα με το Σενάριο 4 υποθέτουμε πλέον Μεταβλητή Απόδοση Κλίμακας (VRS) και ουσιαστικά τα αποτελέσματα αφορούν την «καθαρά» τεχνική αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency). Πρόκειται για την Τεχνική Αποδοτικότητα του σεναρίου 1 (CRS efficiency) απαλλαγμένη από την επίδραση που έχει το μέγεθος (Scale) του κάθε σταθμού στην αποδοτικότητα αυτή.

Στον Πίνακα 6.15 παρουσιάζονται οι «καθαρά» τεχνικές αποδοτικότητες των σταθμών, οι οποίες σύμφωνα με την παράγραφο 2.5 σχετίζονται με τον τρόπο διαχείρισης των σταθμών αυτών.

Πίνακας 6.15 : «Καθαρά» Τεχνική Αποδοτικότητα σταθμών–VRS (Σενάριο 4)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	KOMOTINI	LAURIO	LINOPERAMATA	RHODOS	Average VRS
2006	90,77	100	62,67	80,41	100	73,38	100	100	83,75	100	89,10
2007	90,48	100	60,31	65,59	74,96	61,94	100	100	100	100	85,33
2008	81,95	100	60,95	69,24	100	58,02	100	100	84,28	100	85,44
2009	92,53	100	65,23	84,24	100	67,66	100	100	100	100	90,97
2010	88,28	100	60,19	85,34	67,76	68,77	100	100	100	100	87,03
2011	91,12	100	68,7	90,8	79,72	74,15	100	100	100	100	90,45
2012	93,59	100	56,7	76,1	91,17	65,25	100	100	100	100	88,28
2013	91,18	100	62,52	90,03	78,86	71,28	100	100	100	75,18	86,91
MO	89,99	100,00	62,16	80,22	86,56	67,56	100,00	100,00	96,00	96,90	87,94
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	4	1	8	6	5	7	1	1	3	2	
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟ 1	6	4	10	7	8	9	1	2	3	5	

Σύμφωνα με το VRS μοντέλο, υστέρηση στην αποδοτικότητα διαχείρισης παρουσιάζουν οι σταθμοί Ptolemaida και Megalopoli. Έτος συνολικού ελαχίστου είναι το 2007 και μεγίστου το 2009, ενώ διακρίνονται και οι αλλαγές στη σειρά κατάταξης των σταθμών σε σύγκριση με το Σενάριο 1. Στο Σχήμα 6.6 δίνονται τα ίδια αποτελέσματα με μορφή ραβδογραμμάτων.



Σχήμα 6.6: «Καθαρά» Τεχνική Αποδοτικότητα Σταθμών (VRS)

Στο Σενάριο αυτό ανιχνεύονται και κατά πόσο το μέγεθος ή η παραγωγή των σταθμών βρίσκονται στο βέλτιστο μέγεθός τους (ή καλύτερα σημείο παραγωγής) (δηλαδή CRS συμπεριφορά) ή θα πρέπει να το αυξήσουν (IRS συμπεριφορά) ή τέλος να το μειώσουν (DRS συμπεριφορά), προκειμένου να αυξήσουν την αποδοτικότητά τους.

Στον Πίνακα 6.16 δίνονται τα αποτελέσματα ως προς το κατά πόσο οι σταθμοί λειτουργούν στη βέλτιστη περιοχή παραγωγής τους. Συγκεκριμένα, όταν ένας σταθμός χαρακτηρίζεται ως IRS (<1) έχει περιθώριο να αυξήσει την χρήση των πόρων του προκειμένου να γίνει πιο αποδοτικός μια και η παραγωγή του θα αυξηθεί αναλογικά ακόμη περισσότερο. Αντίστοιχα, όταν ο σταθμός χαρακτηρίζεται DRS (>1), θα πρέπει να μειώσει

τη χρήση των πόρων του, ώστε να γίνει πιο αποδοτικός (γιατί η παραγωγή του θα μειωθεί αναλογικά λιγότερο).

Πίνακας 6.16 : Βέλτιστο μέγεθος (παραγωγή) ανά σταθμό

	Kardia		AgDimitrios		Ptolemaida		Amyntaio		Meliti		Megalopoli		Komotini		Laurio		Linoperam		Rhodos	
2006	CRS	1	CRS	1	CRS	1	IRS	0,82	IRS	0,52	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1
2007	DRS	2,56	DRS	3,79	DRS	1,06	DRS	1,1	CRS	1	DRS	1,78	CRS	1	DRS	3,04	CRS	1	CRS	1
2008	CRS	1	DRS	3,15	CRS	1	CRS	1	IRS	0,58	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1
2009	IRS	0,72	CRS	1	CRS	1	CRS	1	IRS	0,26	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1
2010	DRS	1,72	CRS	1	CRS	1	DRS	1,46	CRS	1	DRS	2,58	CRS	1	CRS	1	CRS	1	IRS	0,56
2011	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	IRS	0,19
2012	IRS	0,97	CRS	1	IRS	0,99	IRS	0,96	IRS	0,72	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	IRS	0,4
2013	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1	CRS	1

Γενικά, προκύπτει ότι οι σταθμοί δεν επηρεάζονται από την παραγωγή τους (έχουν συμπεριφορά CRS) με εξαίρεση τους μικρούς σταθμούς της Melitis και της Rhodou οι οποίοι πρέπει να αυξήσουν την χρήση πόρων τους ώστε να γίνουν πιο αποδοτικοί (να λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθος).

Ο Πίνακας 6.17 , που μας δίνει τις Αποδοτικότητες Κλίμακας (SE), φανερώνει και αυτός ότι όλοι οι σταθμοί λειτουργούν στο βέλτιστο αποδοτικό μέγεθος, με εξαίρεση την Meliti και την Rhodo. Οι δυο αυτοί σταθμοί και ειδικά η Rhodos, παρόλο που παρουσιάζουν σε κάποια έτη «Καθαρά» Τεχνική Αποδοτικότητα (PTE) 100%, η Συνολική τους Αποδοτικότητα περιορίζεται από το μέγεθός τους. Συνεπώς, αυξάνοντας το μέγεθός τους (SE), θα αυξανόταν και η Τεχνική Αποδοτικότητά τους (CRS). Επίσης, μας πληροφορεί ότι το μοντέλο CRS (Σενάριο 1) είναι κατάλληλο για την αξιολόγηση των σταθμών του δείγματος.

Πίνακας 6.17 : Αποδοτικότητες Κλίμακος – Scale Efficiencies (SE)

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI			KOMOTINI			LAURIO			LINOPERAMATA			RHODOS		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
2006	90,3	90,8	1	100	100	1	62,6	62,7	1	78,1	80,4	0,97	84,1	100	0,84	67,1	73,4	0,91	100	100	1	100	100	1	78,9	83,8	0,94	100	100	1
2007	80,6	90,5	0,89	86,7	100	0,87	59,8	60,3	0,99	64,7	65,6	0,99	72,3	75	0,96	58,2	61,9	0,94	100	100	1	91	100	0,91	100	100	1	100	100	1
2008	64,5	82	0,79	72,9	100	0,73	59,5	61	0,98	66,6	69,2	0,96	71,2	100	0,71	55,8	58	0,96	100	100	1	100	100	1	83,4	84,3	0,99	100	100	1
2009	91,3	92,5	0,99	100	100	1	64,7	65,2	0,99	83,3	84,2	0,99	87,4	100	0,87	67,4	67,7	1	100	100	1	100	100	1	100	100	1	100	100	1
2010	77,3	88,3	0,88	100	100	1	58,4	60,2	0,97	73,8	85,3	0,86	66,6	67,8	0,98	60,9	68,8	0,89	100	100	1	100	100	1	100	100	1	72,6	100	0,73
2011	90,9	91,1	1	100	100	1	68,2	68,7	0,99	90,8	90,8	1	78,7	79,7	0,99	73,4	74,2	0,99	100	100	1	100	100	1	100	100	1	71,1	100	0,71
2012	91,1	93,6	0,97	100	100	1	56,6	56,7	1	75,4	76,1	0,99	67,8	91,2	0,74	58,6	65,3	0,9	100	100	1	100	100	1	100	100	1	75	100	0,75
2013	91	91,2	1	100	100	1	59,3	62,5	0,95	89,8	90	1	78,4	78,9	0,99	59,5	71,3	0,83	100	100	1	100	100	1	100	100	1	70,6	75,2	0,94
Average	**84,6**	**90**	**0,94**	**94,9**	**100**	**0,95**	**61,1**	**62,2**	**0,98**	**77,8**	**80,2**	**0,97**	**75,8**	**86,6**	**0,89**	**62,6**	**67,6**	**0,93**	**100**	**100**	**1**	**98,9**	**100**	**0,99**	**95,3**	**96**	**0,99**	**86,2**	**96,9**	**0,89**

6.5 Σενάριο 5

Στο Σενάριο 5 εκτελούμε τα μοντέλα των σεναρίων 1 και 4 (CRS και VRS) με τη διαφορά πλέον ότι οι σταθμοί σε όλα τα έτη εκλαμβάνονται ως διαφορετικές DMUs και συγκρίνονται για να προκύψουν οι αντίστοιχες Αποδοτικότητες: Τεχνικές (TE), οι «Καθαρά» Τεχνικές (PTE) και οι Αποδοτικότητες Κλίμακος (SE). Με αυτό τον τρόπο

αυξάνεται το πλήθος του δείγματος (10 σταθμοί x 8 έτη = 80 DMUs) και ενισχύεται η διακριτότητα στα αποτελέσματα μια και ισχύει ο κανόνας για τον ελάχιστο αριθμό DMUs σε σχέση με το πλήθος των μεταβλητών (κανόνας παραγράφου 2.4).

Στον Πίνακα 6.18 επαληθεύονται τα προηγούμενα μια και οι αποδοτικότητες μειώθηκαν, ενώ οι αποδοτικοί σταθμοί ελαχιστοποιήθηκαν (8). Το μοντέλο στην περίπτωση αυτή είναι πιο ορθό, ωστόσο παρατηρούμε ότι η σειρά κατάταξης δεν μεταβάλλεται στην κορυφή (θέσεις 1 και 2) και στη βάση (θέσεις 9 και 10). Για ευκολία σύγκρισης, στο κάτω μέρος του πίνακα εμφανίζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα από το Σενάριο 1.

Πίνακας 6.18: Αποδοτικότητες Σεναρίου 5

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI			KOMOTINI			LAURIO			LINOPERAMATA			RHODOS		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
2006	67,5	74,3	0,91	80	91,4	0,87	57,9	58	1	64,4	65,9	0,98	71,9	72,4	0,99	60,5	62,6	0,97	98,4	98,8	1	82	86,7	0,95	65,4	66,9	0,98	71,7	74,8	0,96
2007	76,1	83,7	0,91	82,1	100	0,82	59,8	59,9	1	64,7	64,9	1	72,3	72,6	1	58,2	60,9	0,96	100	100	1	90,9	100	0,91	65,6	76,4	0,86	72,4	75,3	0,96
2008	64,5	72,6	0,89	72,3	90	0,8	59,4	60,3	0,99	66,5	68,6	0,97	71	71,7	0,99	55,7	56,5	0,99	100	100	1	90,3	100	0,9	63,2	64,9	0,97	70,8	73,5	0,96
2009	81,8	85,7	0,95	96,2	100	0,96	56,8	57,2	0,99	65,5	65,9	0,99	68,2	68,8	0,99	59,4	62,2	0,96	99,3	99,7	1	93,7	100	0,94	91,7	93	0,99	71,6	74,3	0,96
2010	71,7	77,2	0,93	98,4	100	0,98	56,9	56,9	1	68,1	69,1	0,99	64,8	65,4	0,99	59,3	60,9	0,97	100	100	1	96,5	100	0,97	96,8	96,9	1	70,9	73,7	0,96
2011	72,7	77,9	0,93	97,9	98,9	0,99	56,4	56,4	1	69,1	70,7	0,98	64,3	65,1	0,99	59,4	61	0,97	96,7	98	0,99	99,7	100	1	70,3	83,8	0,84	70,8	73,6	0,96
2012	87,3	87,8	0,99	100	100	1	53,6	53,7	1	62,4	64	0,97	64,2	65,1	0,99	55,4	56,1	0,99	98,3	100	0,98	100	100	1	100	100	1	71,8	74,5	0,96
2013	68,2	72,8	0,94	98,3	99	0,99	54,6	54,8	1	71,2	72,5	0,98	63	64,6	0,97	57,1	57,3	1	100	100	1	100	100	1	82,4	96,7	0,85	70	75,2	0,93
Average	**73,7**	**79**	**0,93**	**90,7**	**97,4**	**0,93**	**56,9**	**57,1**	**1**	**66,5**	**67,7**	**0,98**	**67,5**	**68,2**	**0,99**	**58,1**	**59,7**	**0,97**	**99,1**	**99,6**	**1**	**94,1**	**98,3**	**0,96**	**79,4**	**84,8**	**0,94**	**71,2**	**74,4**	**0,96**
Σειρά Κατάταξης	**5**	**5**		**3**	**3**		**10**	**10**		**8**	**8**		**7**	**7**		**9**	**9**		**1**	**1**		**2**	**2**		**4**	**4**		**6**	**6**	
Average Σεναρίου 1	**84,6**	**90**	**0,94**	**94,9**	**100**	**0,95**	**61,1**	**62,2**	**0,98**	**77,8**	**80,2**	**0,97**	**75,8**	**86,6**	**0,89**	**62,6**	**67,6**	**0,93**	**100**	**100**	**1**	**98,9**	**100**	**0,99**	**95,3**	**96**	**0,99**	**86,2**	**96,9**	**0,89**
Σειρά Κατάταξης Σεναρίου 1	**6**			**4**			**10**			**7**			**8**			**9**			**1**			**2**			**3**			**5**		

Παρατηρούμε επίσης, ότι η σειρά κατάταξης με βάση και τα δυο μοντέλα (CRS – VRS) συμπίπτει, πράγμα που σημαίνει ότι η θεώρηση CRS μοντέλου για τη σύγκριση είναι ορθή. Στο ίδιο συνηγορεί το γεγονός ότι όλοι οι σταθμοί λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθός τους (Scale Efficiency ≈ 1)

6.6 Σενάριο 6 και 7

Στα Σενάρια 6 και 7 συγκρίνονται οι σχετικές αποδοτικότητες μόνο των λιγνιτικών σταθμών. Εκτελώντας τα μοντέλα CCR (CRS) και BCC (VRS) για τους έξι λιγνιτικούς σταθμούς και αφαιρώντας την μεταβλητή Maintenance (για καλύτερη διακριτότητα, εξαιτίας λιγότερων DMUs) προκύπτει ο συνοπτικός Πίνακας 6.19 όπου καταγράφονται οι Τεχνικές Αποδοτικότητες (TE), οι «Καθαρά» Τεχνικές Αποδοτικότητες (PTE) και οι Αποδοτικότητες Κλίμακος (SE).

Πίνακας 6.19: Αποδοτικότητες Σεναρίων 6 και 7

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
2006	100	100	1	100	100	1	80,5	81,7	0,99	89,5	91,9	0,97	100	100	1	84,2	87,2	0,97
2007	100	100	1	100	100	1	84,5	84,7	1	100	100	1	100	100	1	86,6	86,9	1
2008	100	100	1	100	100	1	84	85,2	0,99	96,7	97,2	0,99	100	100	1	82,7	83,1	1
2009	100	100	1	100	100	1	82,7	82,9	1	95,5	95,7	1	100	100	1	86,7	87,8	0,99
2010	100	100	1	100	100	1	88,8	94,8	0,94	100	100	1	99,1	100	0,99	99,6	100	1
2011	100	100	1	100	100	1	86,7	87,2	0,99	98,6	98,8	1	100	100	1	100	100	1
2012	100	100	1	100	100	1	82,8	83,1	1	99,3	100	0,99	100	100	1	85,7	85,9	1
2013	100	100	1	100	100	1	86,7	86,8	1	100	100	1	100	100	1	90,8	91	1
Average	**100**	**100**	**1**	**100**	**100**	**1**	**84,6**	**85,8**	**0,99**	**97,4**	**98**	**0,99**	**99,9**	**100**	**1**	**89,5**	**90,2**	**0,99**

Λόγω κακής διακριτότητας δεν μπορούν να ξεχωρίσουν ως προς την κατάταξη τους στην κορυφή οι σταθμοί, ενώ στη βάση παραμένουν η Megalopoli και η Ptolemaida. Προκύπτει επίσης, ότι όλοι οι σταθμοί λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθος. Κάνοντας δοκιμή αφαίρεσης και της μεταβλητής Non Disposed Energy για να επιτευχθεί καλύτερη διακριτότητα παρατηρήθηκε ότι ο AgDimitrios είναι ο μοναδικός σταθμός που είναι αποδοτικός σε όλα τα έτη και η Meliti είναι ελαφρώς αποδοτικότερη από την Kardia.

6.7 Σενάριο 8

Το Σενάριο 8 αποτελείται από τέσσερα υποσενάρια (8a, 8b, 8c, 8d), στα οποία εισάγονται ως παράμετροι αξιολόγησης οι μεταβλητές ρυπαντικής συμπεριφοράς DUST και SO_2. Σύμφωνα με την παράγραφο 2.11, εκλαμβάνονται ως είσοδοι στο μοντέλο αξιολόγησης (με τη θεώρηση ότι θα πρέπει να υποστούν μείωση, όπως και οι υπόλοιποι πόροι).

Συγκεκριμένα, στο Σενάριο 8a εκτελείται το ίδιο μοντέλο του Σεναρίου 1 προσθέτοντας τις μεταβλητές DUST και SO_2. Στον Πίνακα 6.20 παρουσιάζονται οι τεχνικές αποδοτικότητες του μοντέλου (CRS) και όπως αναμενόταν (λόγω αύξησης του πλήθους των μεταβλητών) είναι αυξημένες σε σχέση με τα αποτελέσματα του σεναρίου 1. Η σειρά κατάταξης των σταθμών στις θέσεις 1,2 και 9,10 παραμένει αμετάβλητη, ενώ αξίζει να επισημανθεί η περίπτωση της Melitis, η οποία από την όγδοη θέση, βρίσκεται πλέον στην τρίτη θέση (αντίστοιχη επιδείνωση των Linoperamaton και της Rhodou) πράγμα που δικαιολογείται λόγω της νεότερης ηλικίας του σταθμού, των σύγχρονων Ηλεκτροστατικών Φίλτρων (Η/Φ) και του Συστήματος Αποθείωσης που διαθέτει.

Πίνακας 6.20: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8a)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	KOMOTINI	LAURIO	LINOPERAMATA	RHODOS	Average
2006	100	100	62,55	78,12	100	67,07	100	100	78,88	100	**88,66**
2007	80,58	86,67	59,78	64,71	100	58,17	100	90,96	100	100	**84,09**
2008	64,51	72,91	59,52	66,62	100	55,83	100	100	84,5	100	**80,39**
2009	100	100	64,96	83,28	100	67,44	100	100	100	100	**91,57**
2010	78,86	100	58,44	73,79	76,27	60,94	100	100	100	72,57	**82,09**
2011	100	100	68,18	90,77	95,52	73,4	100	100	100	71,12	**89,90**
2012	100	100	56,6	75,38	100	58,57	100	100	100	74,98	**86,55**
2013	100	100	59,27	89,81	100	59,46	100	100	100	70,55	**87,91**
Average	**90,49**	**94,95**	**61,16**	**77,81**	**96,47**	**62,61**	**100,00**	**98,87**	**95,42**	**86,15**	**86,39**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**6**	**5**	**10**	**8**	**3**	**9**	**1**	**2**	**4**	**7**	
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ χωρίς emissions	**6**	**4**	**10**	**7**	**8**	**9**	**1**	**2**	**3**	**5**	

Στο Σενάριο 8b τίθενται μηδενική προτεραιότητα (Priority) για τις δυο αυτές ρυπαντικές μεταβλητές εισόδου, ενώ τα αποτελέσματα είναι ανεπηρέαστα από την παραμετροποίηση αυτή σύμφωνα με τον Πίνακα 6.21 (σχεδόν ίδια με το Σενάριο 8a). Η έλλειψη διαφοροποίησης οφείλεται στο γεγονός ότι οι δύο μεταβλητές ρύπανσης εμπλέκονται ελάχιστα στην διαμόρφωση της αξιολόγησης.

Πίνακας 6.21: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8b)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	KOMOTINI	LAURIO	LINOPERAMATA	RHODOS	Average
2006	100	100	62,55	78,12	100	67,07	100	100	78,88	100	**88,66**
2007	80,58	86,67	59,78	64,71	100	58,17	100	90,96	100	100	**84,09**
2008	64,51	72,91	59,52	66,62	100	55,83	100	100	83,41	100	**80,28**
2009	100	100	64,68	83,28	100	67,44	100	100	100	100	**91,54**
2010	78,47	100	58,44	73,79	68,14	60,94	100	100	100	72,57	**81,24**
2011	100	100	68,18	90,77	94,42	73,4	100	100	100	71,12	**89,79**
2012	100	100	56,6	75,38	100	58,57	100	100	100	74,98	**86,55**
2013	100	100	59,27	89,81	100	59,46	100	100	100	70,55	**87,91**
Average	**90,45**	**94,95**	**61,13**	**77,81**	**95,32**	**62,61**	**100,00**	**98,87**	**95,29**	**86,15**	**86,26**

Στο Σενάριο 8c αφαιρούνται οι δύο μεταβλητές Maintenance και Non Disposed Energy από το μοντέλο 8a. Τα αποτελέσματα στην περίπτωση αυτή εμφανίζονται στον Πίνακα 6.22, όπου διαπιστώνεται αυξημένη διακριτότητα μεταξύ των σταθμών (μειωμένες αποδοτικότητες και λίγοι αποδοτικοί σταθμοί) και διατήρηση της σειράς κατάταξης με εξαίρεση τα Linoperamata που μειώνεται αρκετά η αποδοτικότητα του και βρίσκεται πλέον στην όγδοη θέση από την τέταρτη που καταλάμβανε στο Σενάριο 8a. Με βάση τα Weights (δεν αναφέρονται για οικονομία χώρου) προκύπτει ότι η αξιολόγηση βασίζεται κυρίως στις μεταβλητές Net Production, Thermal Energy και λιγότερο στο Labor ενώ οι μεταβλητές ρύπανσης αξιοποιούνται ελάχιστα, παρουσιάζοντας πολλά «μηδενικά». Αντίστοιχο φαινόμενο παρατηρείται και στο Σενάριο 8a. Συνεπώς είναι επιτακτική η χρήση περιορισμών (restrictions) για την εξάλειψη των «μηδενικών» στα Weights.

Πίνακας 6.22: Τεχνικές Αποδοτικότητες με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8c)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	KOMOTINI	LAURIO	LINOPERAMATA	RHODOS	Average
2006	68,61	70,02	58,84	65,42	100	61,5	100	83,16	66,28	72,48	**74,63**
2007	67,31	69,17	59,78	64,71	100	58,17	100	90,94	65	72,11	**74,72**
2008	64,51	69,26	59,52	66,62	100	55,83	100	90,32	63,14	70,7	**73,99**
2009	64,99	70,79	57,22	66,06	100	59,92	100	99,85	63,66	71,84	**75,43**
2010	76,63	100	58,44	67,26	70,7	60,94	100	100	64,4	72,57	**77,09**
2011	80,58	100	56,91	64,62	64,87	59,95	100	100	63,41	71,12	**76,15**
2012	100	100	54,96	75,38	100	58,47	100	100	62,63	73,25	**82,47**
2013	100	100	55,27	74,21	75,68	59,46	100	100	62,16	70,55	**79,73**
Average	**77,83**	**84,91**	**57,62**	**68,04**	**88,91**	**59,28**	**100,00**	**95,53**	**63,84**	**71,83**	**76,78**
Σειρά Κατάταξης	**5**	**4**	**10**	**7**	**3**	**9**	**1**	**2**	**8**	**6**	
Σειρά Κατάταξης Scenario 8a	**6**	**5**	**10**	**8**	**3**	**9**	**1**	**2**	**4**	**7**	

Τέλος, στο Σενάριο 8d αξιολογούνται μόνο οι λιγνιτικοί σταθμοί, όπου από το αρχικό μοντέλο του 8a παραλείπεται η μεταβλητή Maintenance. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.23 όπου δεν παρατηρείται διάκριση των σταθμών στην κορυφή (πολλοί αποδοτικοί σταθμοί), ενώ οι ουραγοί και σε αυτή την περίπτωση είναι η Megalopoli και η Ptolemaida. Σε δοκιμή που έγινε προκειμένου να αυξηθεί η δυνατότητα ταξινόμησης, αφαιρέθηκε και η μεταβλητή Non Disposed Energy, χωρίς ωστόσο να εμφανιστεί επιπλέον διακριτότητα (οι efficient σταθμοί είναι και πάλι τρεις), προφανώς γιατί το πλήθος των DMUs (σταθμών) είναι πολύ μικρό σε σχέση με το πλήθος των μεταβλητών.

Πίνακας 6.23: Τεχνικές Αποδοτικότητες Λιγνιτικών Σταθμών με μεταβλητές ρύπανσης (Σενάριο 8d)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	Average
2006	100	100	83,34	89,52	100	84,18	**92,84**
2007	100	100	84,47	100	100	86,58	**95,18**
2008	100	100	100	96,68	100	82,74	**96,57**
2009	100	100	83,16	95,51	100	86,73	**94,23**
2010	100	100	89,14	100	100	100	**98,19**
2011	100	100	87,08	98,6	100	100	**97,61**
2012	100	100	82,85	100	100	86,22	**94,85**
2013	100	100	86,72	100	100	99,96	**97,78**
Average	**100,00**	**100,00**	**87,10**	**97,54**	**100,00**	**90,80**	**95,91**

6.8 Σενάριο 9

Το Σενάριο αποτελείται από δύο υποσενάρια (9a και 9b). Ως είσοδοι χρησιμοποιούνται μόνο μεταβλητές ρύπανσης (DUST, CO_2, SO_2 και NO_x) ενώ σαν έξοδος η παραγωγή (Net Production).

Στον Πίνακα 6.24, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του σεναρίου 9a, διακρίνονται για την περιβαλλοντική τους αποδοτικότητα η Komotini και το Laurio. Από τους λιγνιτικούς σταθμούς ξεχωρίζει η Meliti, ενδεχομένως λόγω της σύγχρονης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας που χρησιμοποιεί (Η/Φ και του σύστημα Αποθείωσης), αλλά και του είδους καυσίμου που εκμεταλλεύεται, το οποίο είναι κατά πολύ ποιοτικότερο από αυτά των υπόλοιπων σταθμών.

Παρατηρείται, ότι γίνεται πολύ καλή διάκριση μεταξύ των σταθμών και ότι υπάρχει αρκετά σταθερή αποδοτικότητα ανά έτος σε όλους τους σταθμούς. Ωστόσο, σύμφωνα με τα Weights που λαμβάνει υπόψη του το μοντέλο για να αξιολογήσει τους σταθμούς, προκύπτει ότι στηρίζεται σχεδόν μόνο τις μεταβλητές CO_2 και Net Production. Για τον λόγο αυτό, δεν αναδεικνύεται η εγκατάσταση συστήματος αποθείωσης στην Megalopoli. Συνεπώς, θα πρέπει να γίνει χρήση περιορισμών για να εξασφαλιστεί η χρήση όλων των μεταβλητών.

Πίνακας 6.24: Τεχνικές Αποδοτικότητες Ρυπαντικής Συμπεριφοράς (Σενάριο 9a)

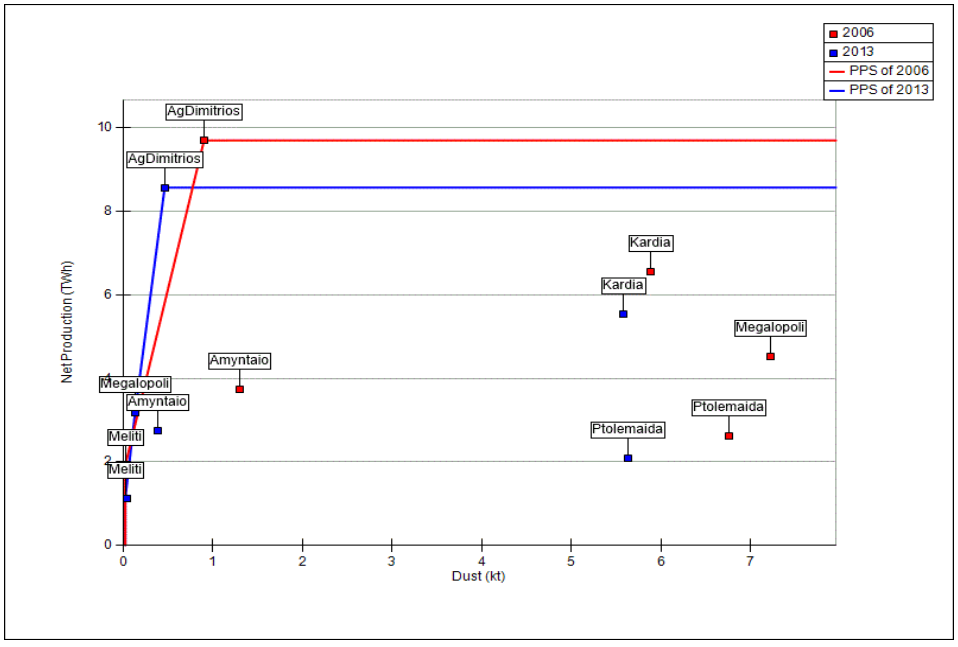
	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	KOMOTINI	LAURIO	LINOPERAMATA	RHODOS	Average
2006	28,48	32,99	27,51	29,42	100	33,08	100	94,8	51,3	50,37	**54,80**
2007	28,45	32,56	27,46	27,87	100	24,28	100	78,05	47,25	50,27	**51,62**
2008	28,42	40,14	27,57	30,11	100	46,82	100	79,9	45,43	51,23	**54,96**
2009	29,06	44,83	27,18	29,22	100	32,78	100	94,14	45,92	52,48	**55,56**
2010	28,15	29,63	26,38	30,96	70,7	26,66	100	100	47,46	54,06	**51,40**
2011	27	27,91	25,46	29,89	47,62	25,91	100	100	45,78	52,7	**48,23**
2012	26,74	29,11	25,75	29,51	100	51,6	100	100	45,71	54,67	**56,31**
2013	25,44	26,8	25	26,74	75,68	32,95	100	100	45,15	52,03	**50,98**
Average	**27,72**	**33,00**	**26,54**	**29,22**	**86,75**	**34,26**	**100,00**	**93,36**	**46,75**	**52,23**	**52,98**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**9**	**7**	**10**	**8**	**3**	**6**	**1**	**2**	**5**	**4**	

Στο Σενάριο 9b αξιολογούνται μόνο οι λιγνιτικοί σταθμοί. Συναντάται και εδώ η ίδια παραπάνω αδυναμία με τη χρήση μεταβλητών. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.25, η Meliti είναι αποδοτικότερη και ακολουθεί η Kardia. Ωστόσο, η ταξινόμηση διαφέρει κατά πολύ από το προηγούμενο μοντέλο. Συνεπώς η αφαίρεση σταθμών (DMUs) από το προηγούμενο μοντέλο αναδεικνύει την αστάθεια του και άρα χρίζει περεταίρω διερεύνησης.

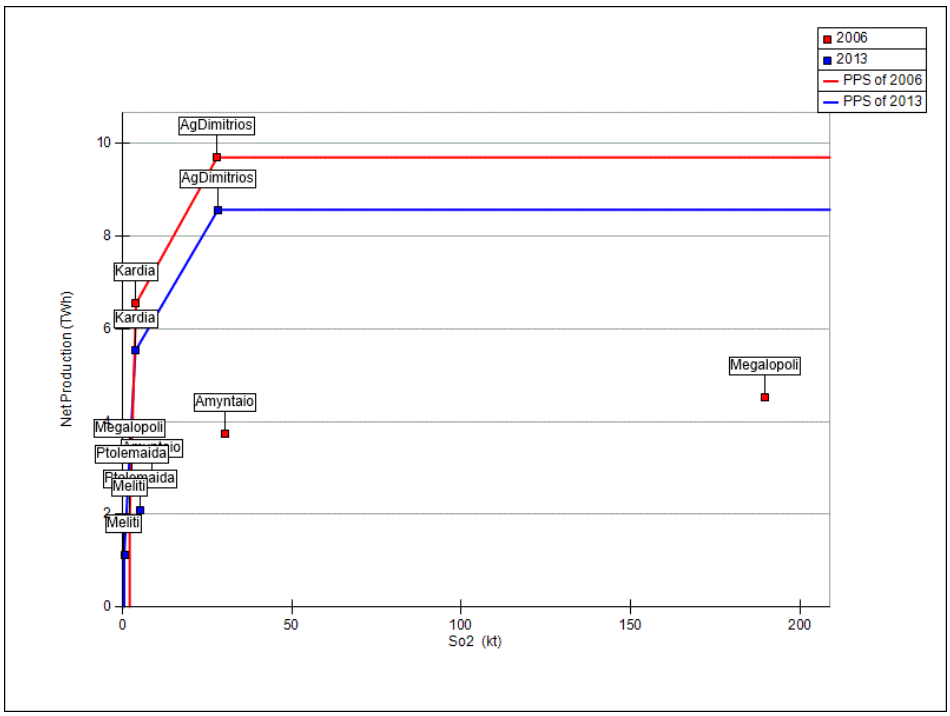
Πίνακας 6.25: Τεχνικές Αποδοτικότητες Ρυπαντικής Συμπεριφοράς Λιγνιτικών Σταθμών (Σενάριο 9b)

	KARDIA	AGDIMITRIOS	PTOLEMAIDA	AMYNTAIO	MELITI	MEGALOPOLI	Average
2006	100	67,28	81,71	66,15	100	57,42	**78,76**
2007	82,09	93,93	79,22	80,41	100	86,94	**87,10**
2008	100	84,64	100	78,25	100	99,1	**93,67**
2009	84,95	78,05	64,21	69,02	100	63,22	**76,58**
2010	100	85,87	76,53	89,88	100	76,89	**88,20**
2011	82,35	85,12	77,63	91,16	100	79,02	**85,88**
2012	82,74	87,05	78,05	89,62	100	76,47	**85,66**
2013	80,35	84,63	90,29	84,46	100	88,01	**87,96**
Average	**89,06**	**83,32**	**80,96**	**81,12**	**100,00**	**78,38**	**85,47**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**2**	**3**	**5**	**4**	**1**	**6**	

Στα Σχήματα 6.7 και 6.8 παρουσιάζονται οι σχέσεις NetProduction - DUST και NetProduction - SO_2 , αντίστοιχα για τα 2006 και 2013. Στο Σχήμα 6.7 σημειώνεται μια συνολική μικρή μείωση του DUST, η οποία ως επί το πλείστον, προέρχεται από την αντίστοιχη μείωση παραγωγής. Ειδικά, στην περίπτωση της Megalopolis υπάρχουν παλαιωμένες μονάδες (υψηλών εκπομπών DUST) που τίθενται σε ψυχρή εφεδρεία (μηδενική παραγωγή) βάσει του Πίνακα 5.2. Στο Σχήμα 6.8 ξεχωρίζει η τεράστια μείωση του εκπεμπόμενου SO_2 στην Megalopoli (μεσολαβεί εγκατάσταση συστήματος Αποθείωσης).



Σχήμα 6.7: Μεταβολή Dust ως προς την Παραγωγή (2006 – 2013)



Σχήμα 6.8: Μεταβολή SO_2 ως προς την Παραγωγή (2006 – 2013)

6.9 Σενάριο 10

Στο Σενάριο 10 και σύμφωνα με τη θεωρία της παραγράφου 2.10 διερευνώνται τριών ειδών αποδοτικότητες των σταθμών. Η Τεχνική Αποδοτικότητα (TE) που είναι η ίδια με το Σενάριο 1 (μοντέλο CRS), η Συνολική Αποδοτικότητα (OE) που αποτελεί μέτρο του κατά πόσο το κόστος παραγωγής του εκάστοτε σταθμού μπορεί να μειωθεί με τις δεδομένες τιμές κόστους ανά μεταβλητή εισόδου και τις δεδομένες μεταβλητές εξόδου (παραγωγή, αδιάθετη ενέργεια) και τέλος η Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (AE), η οποία αντιστοιχεί στο βαθμό ορθής αναλογίας μείγματος μεταβλητών εισόδων για τις δεδομένες τιμές κόστους.

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν πραγματικές τιμές κόστους για κάθε μεταβλητή εισόδου, οι οποίες είναι μη ανακοινώσιμες και δεν παρατίθενται.

Στον Πίνακα 6.26 παρουσιάζονται τα ευρήματα για τις τρεις αυτές αποδοτικότητες του κάθε σταθμού για τα εξεταζόμενα έτη. Επίσης, σημειώνεται και η σειρά κατάταξης των σταθμών με βάση την κάθε μια από τις τρεις αποδοτικότητες. Υπενθυμίζεται ότι η αποδοτικότητα κατανομής πόρων (Παράγραφος 2.10) προκύπτει από τον λόγο :

$$AE = OE / TE \qquad (6.1)$$

Παρατηρείται ότι το Laurio και η Komotini προηγούνται και ως προς τις δυο νέες αποδοτικότητες , ενώ και όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί ουσιαστικά διατηρούν τη θέση τους με βάση την αρχική Τεχνική Αποδοτικότητα (ΤΕ).

Πίνακας 6.26: Αποδοτικότητες: Τεχνική, Συνολική και Κατανομής Πόρων

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI			KOMOTINI			LAURIO			LINOPERAMATA			RHODOS		
	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ	ΤΕ	ΟΕ	ΑΕ
2006	90,3	53,3	59	100	59,2	59,2	62,6	30,8	49,3	78,1	43	55	84,1	50,7	60,2	67,1	33,6	50,1	100	100	100	100	100	100	78,9	45,9	58,1	100	86,5	86,5
2007	80,6	44,7	55,5	86,7	52,6	60,7	59,8	25,6	42,8	64,7	29,1	45	72,3	43,1	59,7	58,2	28,4	48,7	100	100	100	91	89,4	98,2	100	54,8	54,8	100	100	100
2008	64,5	41,6	64,5	72,9	46,1	63,2	59,5	26,5	44,6	66,6	36,7	55,1	71,2	35	49,2	55,8	24	42,9	100	100	100	100	100	100	83,4	66,6	79,8	100	100	100
2009	91,3	63,3	69,4	100	71,8	71,8	64,7	38,9	60,2	83,3	41,7	50,1	87,4	47,1	53,9	67,4	38,8	57,5	100	100	100	100	100	100	100	35,2	35,2	100	53,2	53,2
2010	77,3	73,7	95,4	100	90,7	90,7	58,4	39,8	68,1	73,8	59,4	80,5	66,6	58	87,1	60,9	44,7	73,4	100	100	100	100	100	100	100	38	38	72,6	50,1	69
2011	90,9	74,6	82,1	100	85,9	85,9	68,2	44,4	65,2	90,8	64,9	71,4	78,7	52,8	67,1	73,4	46,7	63,7	100	100	100	100	100	100	100	43,8	43,8	71,1	53,1	74,7
2012	91,1	90,6	99,5	100	100	100	56,6	46,7	82,6	75,4	71,6	95	67,8	59,8	88,2	58,6	48,4	82,6	100	96,8	96,8	100	100	100	100	47,2	47,2	75	60,3	80,4
2013	91	89,3	98,1	100	100	100	59,3	46,6	78,7	89,8	69,6	77,5	78,4	53,2	67,8	59,5	49,1	82,6	100	100	100	100	100	100	100	48,5	48,5	70,6	60	85,1
Average	**84,6**	**66,4**	**77,9**	**94,9**	**75,8**	**78,9**	**61,1**	**37,4**	**61,4**	**77,8**	**52**	**66,2**	**75,8**	**50**	**66,6**	**62,6**	**39,2**	**62,7**	**100**	**99,6**	**99,6**	**98,9**	**98,7**	**99,8**	**95,3**	**47,5**	**50,7**	**86,2**	**70,4**	**81,1**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**6**	**5**	**5**	**4**	**3**	**4**	**10**	**10**	**9**	**7**	**6**	**7**	**8**	**7**	**6**	**9**	**9**	**8**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**1**	**3**	**8**	**10**	**5**	**4**	**3**

Αξιοσημείωτη περίπτωση είναι αυτή των Linoperamaton, που ενώ είναι σχεδόν πλήρως τεχνικά αποδοτικά, παρουσιάζουν υστέρηση ως προς την Συνολική Αποδοτικότητα (ΟΕ) και Κατανομής Πόρων (ΑΕ) καταλαμβάνοντας την όγδοη και $10^{η}$ θέση αντίστοιχα. Προκύπτει λοιπόν ότι ο σταθμός αυτός χρησιμοποιεί πολύ περισσότερους πόρους από τους ελάχιστα απαιτούμενους ή οι πόροι που χρησιμοποιεί κοστίζουν πολύ ακριβά. Επειδή όμως η Τεχνική Αποδοτικότητα (ΤΕ) είναι υψηλή, τελικά ισχύει το δεύτερο. Εξαιτίας του μειωμένου ΟΕ αναδεικνύεται και η μη ορθή κατανομή πόρων (μειωμένο ΑΕ).

Αξίζει επίσης να σημειωθεί η συνεχής ανοδική πορεία του AgDimitriou και της Kardias ως προς τη Συνολική Αποδοτικότητα (ΟΕ) και την Αποδοτικότητα Κατανομής πόρων (ΑΕ). Μάλιστα, τα δυο τελευταία έτη της παρατήρησης και οι δύο σταθμοί, εμφανίζονται πλήρως αποδοτικοί ως προς τα ΟΕ και ΑΕ. Ωστόσο, ελέγχοντας για άλλη μια φορά τα Weights που προκύπτουν ως λύση μέσω της μεθόδου DEA, εμφανίζεται το μοντέλο να λαμβάνει υπόψη του τις μεταβλητές Net Production, Thermal Energy και Maintenance, ενώ τα δύο τελευταία έτη και τη μεταβλητή Labor. Συνεπώς θα πρέπει να εξασφαλιστεί ο συνυπολογισμός και των άλλων μεταβλητών μέσω περιορισμών για να προκύψει ένα δικαιότερο αποτέλεσμα αξιολόγησης.

6.10 Σενάριο 11

Το Σενάριο 11 αξιολογεί τους σταθμούς, όπως και το Σενάριο 10, με βάση τις προαναφερθείσες αποδοτικότητες. Η διαφορά είναι ότι εισάγονται ως μεταβλητές οι παράγοντες ρύπανσης που εφαρμόστηκαν και στο Σενάριο 8a, δηλαδή DUST και SO_2.

Οι τιμές κόστους των δυο αυτών μεταβλητών δεν είναι πραγματικές και προκύπτουν σύμφωνα με την παράγραφο 2.11 από το «εργαλείο» EcoSenseLE της Ε.Ε. ως κόστος αποκατάστασης των επιπτώσεων που προκαλούν οι δυο αυτοί ρύποι. Συγκεκριμένα, τα κόστη ανά τόνο DUST και SO_2. θεωρούνται 50€ και 6000€, αντίστοιχα. Τις τιμές αυτές κόστους προτείνει το «εργαλείο» ExternE για το έτος 2010. Για την προσαρμογή των τιμών στα υπόλοιπα έτη χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ).

Επαναλαμβάνεται, ότι οι τιμές κόστους για τους ρύπους που χρησιμοποιούνται στο σενάριο αυτό δεν είναι πραγματικές. Στη ΔΕΗ, όσον αφορά τους δυο αυτούς ρύπους, έχουν τεθεί συγκεκριμένα ετήσια συνολικά όρια εκπομπής για κάθε σταθμό, τα οποία είναι ανελαστικά. Προκειμένου οι σταθμοί να μην υπερβούν τις τιμές αυτές, δρουν προληπτικά, προχωρώντας σε μειώσεις φορτίου.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον Πίνακα 6.27 όπου η επικράτηση της Komotinis είναι ολοφάνερη, ενώ ακολουθεί το Laurio. Η τεράστια διαφορά με τους υπόλοιπους σταθμούς οφείλεται στην υπερβολικά μεγάλη διαφορά στις εκπομπές των δυο αυτών ρύπων που με την σειρά της προέρχεται από τον τύπο καυσίμου που αξιοποιεί ο κάθε σταθμός. Υπενθυμίζεται ότι η Komotini χρησιμοποιεί μόνο φυσικό αέριο ενώ το Laurio φυσικό αέριο, μαζούτ και πετρέλαιο diesel. Στους υπόλοιπους σταθμούς γίνεται χρήση λιγνίτη ή μαζούτ και diesel. Από τα αρχικά δεδομένα οι διαφορές στις τιμές των δυο αυτών ρύπων φαίνεται ότι ευνοούν, κατά πολύ, σαν καύσιμο το φυσικό αέριο.

Πίνακας 6.27 : Αποδοτικότητες: Τεχνική, Συνολική και Κατανομής Πόρων (λαμβάνονται υπόψη και μεταβλητές ρύπων)

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI			KOMOTINI			LAURIO			LINOPERAMATA			RHODOS		
	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE	TE	OE	AE
2006	100	1,89	1,89	100	0,43	0,43	62,6	1,2	1,92	78,1	0,15	0,2	100	0,85	0,85	67,1	0,03	0,04	100	100	100	100	4,74	4,74	78,9	1,05	1,33	100	1,74	1,74
2007	80,6	0,63	0,79	86,7	0,19	0,22	59,8	0,91	1,52	64,7	0,17	0,26	100	1,87	1,87	58,2	0,02	0,03	100	100	100	91	1,46	1,61	100	1,06	1,06	100	2,02	2,02
2008	64,5	0,79	1,22	72,9	0,18	0,25	59,5	0,84	1,42	66,6	0,12	0,19	100	0,57	0,57	55,8	0,02	0,03	100	100	100	100	2,23	2,23	84,5	1,85	2,19	100	3,05	3,05
2009	100	0,89	0,89	100	0,23	0,23	65	0,65	1	83,3	0,2	0,24	100	1,04	1,04	67,4	0,03	0,04	100	100	100	100	4,26	4,26	100	0,78	0,78	100	1,42	1,42
2010	78,9	1,21	1,54	100	0,29	0,29	58,4	0,67	1,15	73,8	0,12	0,16	76,3	0,9	1,18	60,9	0,1	0,17	100	100	100	100	28,7	28,7	100	0,49	0,49	72,6	0,7	0,96
2011	100	0,67	0,67	100	0,39	0,39	68,2	0,45	0,66	90,8	0,13	0,15	95,5	0,95	0,99	73,4	0,26	0,35	100	100	100	100	96,3	96,3	100	0,47	0,47	71,1	0,77	1,09
2012	100	0,79	0,79	100	0,44	0,44	56,6	0,41	0,72	75,4	0,23	0,3	100	2,49	2,49	58,6	1,58	2,69	100	100	100	100	38,7	38,7	100	0,44	0,44	75	0,7	0,93
2013	100	2,19	2,19	100	0,47	0,47	59,3	0,62	1,05	89,8	0,5	0,55	100	2,9	2,9	59,5	2,25	3,79	100	100	100	100	94,8	94,8	100	0,47	0,47	70,6	0,85	1,2
Average	**90,5**	**1,13**	**1,25**	**94,9**	**0,33**	**0,34**	**61,2**	**0,72**	**1,18**	**77,8**	**0,2**	**0,26**	**96,5**	**1,45**	**1,49**	**62,6**	**0,54**	**0,89**	**100**	**100**	**100**	**98,9**	**33,9**	**33,9**	**95,4**	**0,83**	**0,9**	**86,2**	**1,41**	**1,55**
ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	**7**	**5**	**5**	**6**	**9**	**9**	**10**	**7**	**6**	**8**	**10**	**10**	**4**	**3**	**4**	**9**	**8**	**8**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**5**	**6**	**7**	**3**	**4**	**3**

Από τους λιγνιτικούς ξεχωρίζουν η Meliti και η Kardia λόγω του συστήματος Αποθείωσης η πρώτη και λόγω χαμηλής εκπομπής SO_2. η δεύτερη, η οποία οφείλεται εν μέρει στην δεσμευτική δράση που ασκεί η ασβεστούχος ιπτάμενη τέφρα (ως συστατικό του κοιτάσματος λιγνίτη του συγκεκριμένου σταθμού) στο SO_2 (Ιτσκος, 1994). Τονίζεται επίσης ότι η υπερβολικά μεγάλη διαφορά στις τιμές κόστους για τους ρύπους (50€ και 6000€) ευνοεί τους σταθμούς που έχουν υψηλές εκπομπές σε DUST και χαμηλές σε SO_2 .

Αξίζει να διερευνηθεί και η περίπτωση διαφορετικών τιμών κόστους για τους δυο ρύπους (π.χ. 1100€ και 1250€, όπως εφαρμόζουν και οι Sarıca & Or (2007)) με σκοπό την ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου.

6.11 Σενάριο 12

Τα αποτελέσματα του Σεναρίου 12a παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.28. Σύμφωνα με την παράγραφο 2.9 η στήλη TC (Technical Change) αφορά τις Τεχνολογικές αλλαγές (π.χ. βελτιώσεις) που συμβαίνουν στους σταθμούς ενώ η στήλη TEC (Technical Efficiency Change) σχετίζεται με τις Μεταβολές Τεχνικής Αποδοτικότητας (π.χ. «αντιγραφή» κάποιας καλής πρακτικής). Τέλος η στήλη TFP (Total Factor Productivity) αφορά το Συνολικό Συντελεστή Παραγωγικότητας (ή Malmquist Index (MI) και ισχύει :

$$MI = TFP = TEC * TC \qquad (6.2)$$

Πίνακας 6.28: Μεταβολές Αποδοτικότητας και Παραγωγικότητας ανά έτος

	KARDIA			AGDIMITRIOS			PTOLEMAIDA			AMYNTAIO			MELITI			MEGALOPOLI			KOMOTINI			LAURIO			LINOPERAMATA			RHODOS		
	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP	TC	TEC	TFP
2006-2007	1,27	0,89	1,13	1,17	0,87	1,01	1,12	0,96	1,07	1,21	0,83	1	1,18	0,86	1,01	1,14	0,87	0,99	1	1	1	1,05	0,91	0,95	1,01	1,27	1,28	1	1	1
2007-2008	1,04	0,8	0,83	1,04	0,84	0,87	1	1	0,99	1	1,03	1,03	1	0,98	0,98	1	0,96	0,96	1	1	1	0,94	1,1	1,03	0,98	0,83	0,82	1	1	1
2008-2009	0,84	1,41	1,18	0,85	1,37	1,17	0,89	1,09	0,96	0,82	1,25	1,02	0,8	1,23	0,98	0,91	1,21	1,1	1	1	1	1	1	1	1,05	1,2	1,26	1	1	1
2009-2010	1,09	0,85	0,92	1	1	1	1,08	0,9	0,97	1,21	0,89	1,07	1,15	0,76	0,88	1,11	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,37	0,73	0,99
2010-2011	0,88	1,18	1,04	1	1	1	0,91	1,17	1,06	0,82	1,23	1	0,85	1,18	1,01	0,84	1,2	1,01	1	1	1	1	1	1	0,86	1	0,86	1,02	0,98	1
2011-2012	1,09	1	1,09	1	1	1	1,13	0,83	0,94	1,16	0,83	0,97	1,09	0,86	0,93	1,15	0,8	0,92	1	1	1	1	1	1	1,15	1	1,15	0,96	1,05	1,01
2012-2013	0,92	1	0,92	1	1	1	0,94	1,05	0,98	0,86	1,19	1,03	0,88	1,16	1,02	0,95	1,02	0,96	1	1	1	1	1	1	0,95	1	0,95	1,04	0,94	0,98
Average	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,01	1,04	1,02	0,99	1,00	0,97	1,01	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04	1,05	1,06	0,96	1,00

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται σχετική σταθερότητα με μικρή αυξητική τάση στην παραγωγικότητα συνολικά των σταθμών. Συγκεκριμένα, τα Linoperamata παρουσιάζουν συνολική αύξηση παραγωγικότητας κατά 5% που οφείλεται σε υιοθέτηση καλών πρακτικών από άλλους σταθμούς. Για τον ίδιο λόγο και το Amyntaio παρουσιάζει αύξηση παραγωγικότητας κατά 2%, ενώ η αύξηση της Kardias οφείλεται εξίσου τόσο σε τεχνολογική βελτίωση όσο και υιοθέτηση καλών πρακτικών. Στον αντίποδα, με μικρή μείωση κατά 1% και 3% αντίστοιχα, βρίσκονται η Megalopoli και η Meliti.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Συμπεράσματα

Η σύγχρονη πραγματικότητα της οικονομικής κρίσης που ζούμε ενδεχομένως προσφέρεται για εταιρείες παραγωγής, όπως είναι η ΔΕΗ, να εξορθολογήσουν την χρήση πόρων αυξάνοντας κατά αυτόν τον τρόπο την αποδοτικότητας τους.

Διαχρονικά η ΔΕΗ αποτέλεσε και αποτελεί μια επιχείρηση που μετράει και βελτιώνει αδιάλειπτα τις λειτουργίες της. Ειδικά στους σταθμούς παραγωγής, για τον λόγο αυτό, διαθέτει ειδικό τμήμα μετρήσεων βαθμού απόδοσης των εγκαταστάσεων της, ενώ η Διεύθυνση Εκμετάλλευσης Θερμοηλεκτρικών Σταθμών της Γενικής Διεύθυνσης Παραγωγής, συλλέγει και επεξεργάζεται επιμέρους λειτουργικούς δείκτες προτείνοντας συνεχώς μέτρα βελτίωσης.

Στο σημείο αυτό, η μέθοδος DEA με την ικανότητά της να κάνει δυνατή τη συνύπαρξη ετερόκλητων παραμέτρων (π.χ. θερμική ενέργεια, προσωπικό, παραγωγή και ρύπους), για την τελική αξιολόγηση των σταθμών παραγωγής σε μια συνολική αποδοτικότητα, θα μπορούσε να συμβάλει στη διαμόρφωση συνολικής συγκριτικής εικόνας του κάθε σταθμού παραγωγής της επιχείρησης.

Η μέθοδος DEA, εξαιτίας της απλότητας και της σαφήνειας που την χαρακτηρίζουν, μπορεί να αποτελέσει αποδεκτό, από όλα τα ενδιαφερόμενα μέλη, εργαλείο αναδιοργάνωσης των σταθμών παραγωγής, αποτρέποντας οργανωσιακές συγκρούσεις μεταξύ διοίκησης και εργαζομένων. Εντοπίζοντας οι σταθμοί τα δυνατά και αδύνατα τους σημεία και υιοθετώντας πολύ μικρές βελτιώσεις σε μερικές περιπτώσεις, θα είχε ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων και βελτίωση του κοινωνικού προφίλ της επιχείρησης.

Επιγραμματικά, αναφέρεται η ευκολία εφαρμογής της μεθόδου με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού, μερικά από τα οποία, όπως το PIM – DEA, διαθέτουν σχεδόν ανεξάντλητες δυνατότητες.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας εστιάζονται στο ότι η πλειοψηφία των σταθμών δεν βρίσκεται στο ανώτερο όριο σχετικής αποδοτικότητας. Υπάρχει περιθώριο βελτίωσης χωρίς ωστόσο να παραβλέπεται το γεγονός ότι η τεχνολογία παραγωγής κάθε σταθμού ελάχιστα μπορεί να μεταβληθεί. Συνεπώς, θα πρέπει να εντοπιστούν λειτουργικά σημεία προς βελτίωση.

Εφαρμόζοντας τις καλές πρακτικές των αποδοτικότερων σταθμών, άλλες φορές με διάθεση νέων κεφαλαίων και άλλες φορές ανέξοδα, μπορούν να πετύχουν σημαντική βελτίωση στον τρόπο λειτουργίας τους.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, αποδοτικότεροι - όπως καταλήγουν και οι Tsolas (2010), Sueyoshi et al. (2010) και Chia Hao Liu et al. (2013) - είναι οι σταθμοί που διαθέτουν τεχνολογία συνδυασμένου κύκλου (Komotini και Laurio), ενώ από τους λιγνιτικούς προηγούνται ο AgDimitrios και η Kardia. Κατά την εμπλοκή μεταβλητών ρύπανσης προκύπτει ότι η χρήση φυσικού αερίου θέτει και πάλι την Komotini και το Laurio στις πρώτες θέσεις, ενώ από τους λιγνιτικούς αποδοτικότερη είναι η Meliti. Στον αντίποδα αποδοτικότητας, σχεδόν σε όλα τα σενάρια, είναι η Megalopoli και η Ptolemaida.

Από τη Αποδοτικότητα Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency) προκύπτει ότι οι λιγνιτικοί και οι πετρελαϊκοί σταθμοί έχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης, ενώ σύμφωνα με τον Δείκτη Malmquist παρατηρούνται μικρές μέσες μεταβολές, της τάξης του ±%5, στην παραγωγικότητα των σταθμών κατά το διάστημα παρατήρησης. Σαφώς και η μειούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τα τελευταία έτη, επηρεάζει αρνητικά τις αποδόσεις των σταθμών.

Επίσης, η ηλικία του σταθμού (η οποία σχετίζεται με χρήση παλαιότερης τεχνολογίας και υλικών) μειώνει την αποδοτικότητα, ενώ μειωμένης αποδοτικότητας τυγχάνουν και οι μικρότεροι σταθμοί σε σύγκριση με τους μεγαλύτερους. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Barros & Peypoch (2008).

Το μοντέλο CCR (CRS) ανταποκρίνεται ικανοποιητικά και εξάγει ασφαλή συμπεράσματα για την αποδοτικότητα των σταθμών, ενώ θα υπήρχε καλύτερη διακριτότητα αν το πλήθος των σταθμών ήταν μεγαλύτερο ή το πλήθος των μεταβλητών μικρότερο.

Επίσης, προκύπτει ότι τις περισσότερες φορές είναι επιτακτική η ανάγκη χρήσης περιορισμών στα μοντέλα DEA, προκειμένου να συμβάλλουν όλες οι μεταβλητές στο τελικό αποτέλεσμα της αποδοτικότητας.

7.2 Προτάσεις

Ολοκληρώνοντας την εργασία, προτείνονται μέθοδοι αξιοποίησης των αποτελεσμάτων καθώς και νέα πεδία εφαρμογής της μεθόδου DEA.

- Τόσο η οικονομική όσο και η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ειδικά των λιγνιτικών) μπορούν να βελτιωθούν επενδύοντας σε δόκιμες τεχνολογίες καύσης, όπως είναι Υπερκρίσιμοι Λέβητες, Λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης, ενώ στον τομέα του περιβάλλοντος με τη χρήση αποδοτικότερων Ηλεκτροστατικών Φίλτρων και Πρακτικών Αποθείωσης Καυσαερίων (Tai et al., 2010). Στην αύξηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των λιγνιτικών θα συνέβαλλε και η χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας θείου και τέφρας. Τέτοιο καύσιμο θα μπορούσε να προκύψει με εκλεκτική εκμετάλλευση των υφιστάμενων λιγνιτικών κοιτασμάτων ή τεχνικές υποβοήθησης της φυσικής αποθείωσης (Ίτσκος, 1994), ή τέλος με βελτίωση της εκμετάλλευσης των ορυχείων με κριτήριο την παραγόμενη τονοθερμίδα.

- Βελτιστοποίηση προγραμματισμού συντήρησης για αύξηση όσο το δυνατόν της διαθεσιμότητας των σταθμών παραγωγής, ειδικά στους λιγνιτικούς, που η αύξηση διαθεσιμότητας συνεπάγεται αυξημένη παραγωγή λόγω χαμηλού κόστους παραγόμενης ενέργειας.

- Μεταφορά πόρων (π.χ. Προσωπικού) από τους Decreasing Returns to Scale (DRS) σταθμούς που πρέπει να μειώσουν το μέγεθός τους (μεταβλητές) για να καταστούν πιο αποδοτικοί, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Σεναρίου 4, προς στους Increasing Returns to Scale (IRS) σταθμούς που πρέπει να το αυξήσουν (Liu et al., 2013).

- Χρήση της μεθόδου για αξιολόγηση μελλοντικών επενδύσεων της επιχείρησης τόσο σε νέους σταθμούς όσο και σε βελτιώσεις στους υπάρχοντες.

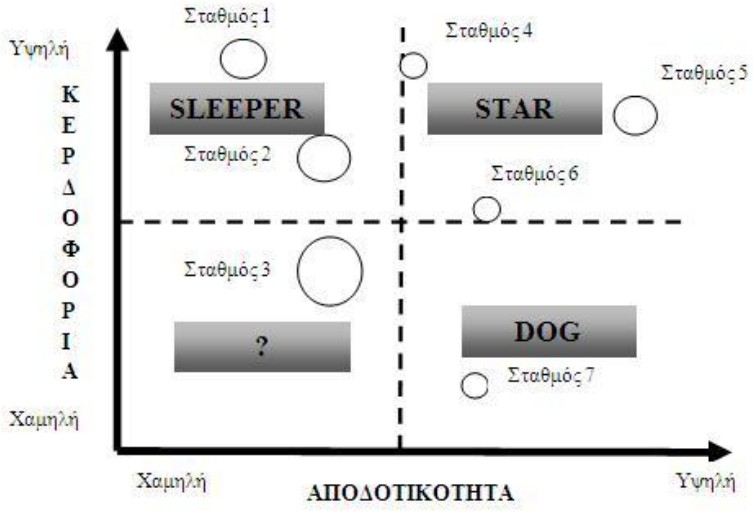
- Χρήσιμο θα ήταν να μελετηθούν οι προτεινόμενες μεταβλητές προς βελτίωση και να διερευνηθούν τα όρια εφικτότητας των στόχων (targets) που προκύπτουν από τη μέθοδο.

- Διερεύνηση από την επιχείρηση για μεταβλητές, οι οποίες επιδρούν κατά σημαντικό βαθμό στη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα των σταθμών παραγωγής, με σκοπό τη βελτίωση των παραμέτρων αυτών και κατ' επέκταση της συνολικής αποδοτικότητας. Γενικά, αν παραλείποντας μια μεταβλητή, κατά τις δοκιμές μειώνεται πολύ η αποδοτικότητα, συνεπάγεται ότι αυτή είναι σημαντική για το μοντέλο (Liu et al., 2010).

- Υιοθέτηση της βέλτιστης τεχνολογίας (Best Available Technology - BAT) όταν πρόκειται για νέες εγκαταστάσεις (σταθμούς ή επιμέρους συστήματα).

- Εφαρμογή της μεθόδου για άλλες εφαρμογές εντός της επιχείρησης, όπως για παράδειγμα αξιολόγηση οικονομοτεχνικών προσφορών στους διαγωνισμούς έργων, σχετική αξιολόγηση προμηθευτών, αλλά και μέτρηση αποδοτικότητας συγκεκριμένων ομάδων σταθμών, όπως πχ. οι σταθμοί diesel στα ελληνικά νησιά.
- Τέλος, χρησιμοποιώντας κατάλληλες μεταβλητές θα μπορούσαν να αξιολογηθούν οι επιμέρους μονάδες των σταθμών της ΔΕΗ.

Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, προκειμένου τα διοικητικά στελέχη της επιχείρησης να αποκτήσουν ολοκληρωμένη εικόνα της συμβολής του κάθε σταθμού, προτείνεται να ληφθεί υπόψη και η κερδοφορία. Πέρα από τη σχετική αποδοτικότητα των σταθμών που υπολογίζει η μέθοδος DEA, η διοίκηση θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και την κερδοφορία των σταθμών, την οποία θα συνυπολογίζει στη λήψη αποφάσεων. Σύμφωνα με τους Boussofiane et al. (1991), μετά τον υπολογισμό της σχετικής αποδοτικότητας οι σταθμοί μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν πίνακα Αποδοτικότητας / Κερδοφορίας (ανάλογο του Portfollio Matrix), όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1:



Σχήμα 7.1: Διάγραμμα σχέσης Αποδοτικότητας - Κερδοφορίας σταθμών παραγωγής (Boussofiane et al., 1991)

Το μέγεθος του κύκλου του κάθε σταθμού αντιστοιχεί στη ποσοστιαία συμμετοχή του συγκεκριμένου σταθμού στην συνολική παραγωγή της εταιρείας.

Στο τεταρτημόριο των Stars θα τοποθετούνται οι σταθμοί «σημαίες» για την επιχείρηση, οι οποίοι αποτελούν παράδειγμα καλών πρακτικών.

Στο τεταρτημόριο των Sleepers αντιστοιχούν οι σταθμοί που συνεχίζουν να είναι κερδοφόροι παρόλο που είναι σχετικά μη αποδοτικοί. Η κερδοφορία τους οφείλεται

περισσότερο στις επικρατούσες συνθήκες και όχι τόσο στη διοίκησή τους. Αυτοί οι σταθμοί είναι οι πρώτοι υποψήφιοι που θα πρέπει να οδηγηθούν σε αύξηση της αποδοτικότητας (να γίνουν Stars) για ακόμη περισσότερα κέρδη.

Στο τεταρτημόριο των Questionmarks (?) οι σταθμοί έχουν μια δυναμική για περισσότερη αποδοτικότητα και κερδοφορία.

Τέλος, στο τεταρτημόριο των Dogs, οι σταθμοί, αν και είναι αποδοτικοί έχουν χαμηλή κερδοφορία, πιθανόν εξαιτίας μη ευνοϊκού περιβάλλοντος. Στην περίπτωση αυτή ίσως θα πρέπει να διερευνηθεί η δυνατότητα μεταφοράς πόρων από αυτούς τους σταθμούς σε άλλους.

7.3 Μειονεκτήματα παρούσας εργασίας - Μελλοντική έρευνα

Στην προσπάθεια παρουσίασης της ευρύτητας δυνατοτήτων της μεθόδου DEA, στην περίπτωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών και υπό τον χρονικό περιορισμό ολοκλήρωσης της εργασίας, σίγουρα δημιουργήθηκαν αδύνατα σημεία ή κενά στην ανάλυση των σεναρίων. Σημεία, τα οποία ο γράφων θεωρεί μειονεκτήματα της ανά χείρας εργασίας και μπορούν να αποτελέσουν αφετηρία για μελλοντική έρευνα είναι:

- Δεν ήταν δυνατή η εύρεση αντίστοιχων δεδομένων από θερμοηλεκτρικό σταθμό εκτός Ελλάδος για συγκριτική αξιολόγηση του.
- Αποφεύχθηκε η εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας του κάθε μοντέλου σε κάθε σενάριο αξιολόγησης.
- Παρόλο που σύμφωνα με τον Πίνακα 5.6 δεν συντρέχει η ισοτονικότητα, εξαιτίας της αρνητικής συσχέτισης της μεταβλητής εξόδου NonDisposed Energy με τις μεταβλητές εισόδου, εντούτοις χρησιμοποιήθηκε σχεδόν σε όλα τα μοντέλα αξιολόγησης.
- Το ανέφικτο για εκτεταμένη διαβούλευση με τους αρμόδιους για την επιλογή των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών, ο γράφων αναπλήρωσε με τη δική του εμπειρία και γνώση ως Μηχανικός Λειτουργίας θερμοηλεκτρικού σταθμού.
- Στην περίπτωση μη πληρότητας των αρχικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν προσεγγιστικές τιμές, που προέκυψαν από γραμμική παρεμβολή ή άλλες υπολογιστικές διαδικασίες.

Επειδή η μέθοδος DEA προσφέρει ένα τεράστιο εύρος δυνατοτήτων και αποτελεί, από την φύση της, πρόκληση για τον ερευνητή ή το διοικητικό στέλεχος που θα την μετέλθει,

ενώ και το αντικείμενο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολυδιάστατο και με πολλές προκλήσεις για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, σε συνδυασμό και με τα προαναφερόμενα μειονεκτήματα της παρούσας εργασίας, προκύπτει, ότι υπάρχει ευρύ πεδίο περεταίρω έρευνας. Ενδεικτικά, προτείνονται τα ακόλουθα :

- Συγκριτική μέτρηση αποδοτικότητας με σταθμούς άλλων χωρών που εφαρμόζουν βέλτιστες πρακτικές, με Ελληνικούς ιδιωτικούς σταθμούς παραγωγής (μεταξύ σταθμών φυσικού αερίου), αλλά και αξιολόγησης μόνο πετρελαϊκών σταθμών που βρίσκονται εκτός διασυνδεδεμένου δικτύου, στα νησιά.
- Περαιτέρω ανάλυση, μέσω της DEA, μιας DMU, δηλαδή ενός σταθμού, προκειμένου να διερευνηθεί η σχετική αποδοτικότητα των επιμέρους μονάδων που τον αποτελούν π.χ. για τον ΑΗΣ Καρδιάς οι μονάδες ΚΙ, ΚΙΙ, ΚΙΙ, ΚΙV (Hierarchically Structured Units) (Cook & Zhu, 2005)
- Επιπλέον ανάλυση ευαισθησίας των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να εξεταστεί καλύτερα η εγκυρότητα και η σταθερότητά τους.
- Χρήση του Δείκτη Malmquist για μέτρηση της εξέλιξης Αποδοτικότητας Κατανομής Πόρων (Allocative Efficiency Changes) (Cooper et al., 2004).
- Χρήση άλλων μεταβλητών με τη μέθοδο DEA για την ίδια χρονική περίοδο και σύγκριση των αποτελεσμάτων με την παρούσα έρευνα.
- Κατά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας μπορεί να γίνεται χρήση ενός πρότυπου σταθμού ο οποίος θα εκλαμβάνεται ως σταθμός αναφοράς για τους υπόλοιπους (Golani et al., 1994). Τα δεδομένα - μεταβλητές για τον σταθμό αυτό θα προκύπτουν από διάφορες πηγές, όπως: ορισμός από στελέχη της εταιρείας, κατασκευαστές, κρατικές ρυθμιστικές αρχές (για τους ρύπους), σχετικοί διεθνείς φορείς ή από βέλτιστες πρακτικές (best practices) άλλων εταιρειών. Με αυτό τον τρόπο ξεπερνιέται και ο περιορισμός της μεθόδου DEA να υπολογίζει μόνο σχετική αποδοτικότητα.
- Διερεύνηση ύπαρξης κατάλληλου μοντέλου σύμφωνα με το οποίο θα μπορεί να αντιμετωπιστεί κατάλληλα μια μεταβλητή όταν αυτή συμπεριφέρεται ταυτόχρονα ως μη επιθυμητή και επιθυμητή έξοδος, όπως συμβαίνει με την μεταβλητή DUST (ως δεσμευόμενη ιπτάμενη τέφρα στα Η/Φ), αν ληφθεί υπόψη η δυνατότητα αξιοποίησης της (π.χ. υποκατάσταση του τσιμέντου σε διάφορες εφαρμογές).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΔΜΗΕ. (2013). ΑΔΜΗΕ. Μελέτη επάρκειας ισχύος για την περίοδο 2013 – 2020. Ανακτήθηκε 15 Ιανουάριος 2015, από http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/anaptyxi-systimatos/meletes/
2. Αθανασόπουλος Π. (2007). *Στρατηγικές Προτεραιότητες της ΔΕΗ Α.Ε.* Αθήνα. Ανακτήθηκε από http://slideplayer.gr/slide/1973548/
3. Γιαννακόπουλος Β. (2009). *Η Bootstrap σαν μέσο αντιμετώπισης του θορύβου της DEA* (Thesis). Ανακτήθηκε από http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/2964
4. Ίτσκος Σ. (1994). *Επίδραση στη συμπεριφορά της τέφρας λιγνίτη στο φλογοθάλαμο κατά τη χρήση CaO σαν αποθειωτικό μέσο. Διδακτορική Διατριβή. ΕΜΠ. doi:10.12681/eadd/3488*
5. Σαρρής Ν. (2007). *Η αγορά ενέργειας στην Ελλάδα και οι ιδιωτικές επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*.Παν. Πειραιώς. Ανακτήθηκε από http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/2181/1/Sarris.pdf
6. Σπίνος Μ. (2014, Σεπτέμβριος 10). *Ανάπτυξη Πληροφοριακού Συστήματος για την παρακολούθηση και βελτίωση της λειτουργίας των Θερμοηλεκτρικών Σταθμών*. ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/40008
7. Τσαλιάνης Α., & Λέντζας Γ. (2014). *Case Study: Ο κλάδος της Ηλεκτρικής Ενέργειας και ο Όμιλος ΔΕΗ*. Παν. Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη.
8. Anderson D. R., Sweeney D. J., Williams T. A., Camm J. D., & Martin R. K. (2011). *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making, revised* (13 edition). Australia: Cengage Learning.
9. Athanassopoulos A., Lambroukos N., & Seiford L. (1999). Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants. *European Journal of Operational Research, 115*(3), 413–428. doi:10.1016/S0377-2217(98)00205-7
10. Azadeh A., Anvari M., Izadbakhsh H., Dehghan S., & Ghaderi F. (2007). Performance assessment and optimization of thermal power plants by dea bcc and multivariate analysis. *Journal of Scientific & Industrial Research, 66*, 860–872.
11. Barros C.P., & Peypoch N. (2008). Technical efficiency of thermoelectric power plants. *Energy Economics, 30*(6), 3118–3127. doi:10.1016/j.eneco.2008.04.007
12. Barros J. (2013). Performance measurement of thermoelectric generating plants with undesirable outputs and random parameters. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 46*, 228–233. doi:10.1016/j.ijepes.2012.10.019

13. Bogetoft P., Färe R., & Obel B. (2006). Allocative efficiency of technically inefficient production units. *European Journal of Operational Research*, *168*(2), 450–462. doi:10.1016/j.ejor.2004.05.010
14. Booz&Co. (2014). *Understanding Lignite Generation Costs in Europe*. Ανακτήθηκε από https://www.dei.gr/Documents2/INVESTORS/MELETH%20BOOZ/Understanding%20Lignite%20Generation%20Costs%20in%20Europe.pdf
15. Boussofiane A., Dyson R. G., & Thanassoulis E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *52*(1), 1–15.
16. Cao Y., & Yang Z. (2009). Using dea window analysis and the malmquist index to evaluate the operations of canadian schedule i banks. Στο *IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics, 2009. SOLI '09* (σσ 353–358). doi:10.1109/SOLI.2009.5203958
17. Çelen A. (2013). Efficiency and productivity (tfp) of the turkish electricity distribution companies: an application of two-stage (dea&tobit) analysis. *Energy Policy*, *63*, 300–310. doi:10.1016/j.enpol.2013.09.034
18. Chien C.F., Lo F.Y., & Lin J.T.. (2003). Using dea to measure the relative efficiency of the service center and improve operation efficiency through reorganization. *IEEE Transactions on Power Systems*, *18*(1), 366–373. doi:10.1109/TPWRS.2002.807081
19. Liu Chia Hao, Lin Sue J., & Lewis Charles. (2013). Evaluation of NOx, SOx and CO2 Emissions of Taiwan's Thermal Power Plants by Data Envelopment Analysis. *Aerosol and Air Quality Research*. doi:10.4209/aaqr.2013.03.0070
20. Cook W. D., & Seiford L. M. (2009). Data envelopment analysis (dea) – thirty years on. *European Journal of Operational Research*, *192*(1), 1–17. doi:10.1016/j.ejor.2008.01.032
21. Cook W., & Zhu J. (2005). *Modeling performance measurement: applications and implementation issues in dea*. New York: Springer.
22. Cooper W., Seiford L. M., Thanassoulis E., & Zanakis S. H. (2004). DEA and its uses in different countries. *European Journal of Operational Research*, *154*(2), 337–344. doi:10.1016/S0377-2217(03)00173-5
23. Cooper W. W. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with dea-solver software and references*. New York: Springer.
24. Dedoussis V., Kassimis A., Sofianopoulou S., & Konstas C. (2010). Efficiency evaluation of hydroelectric power plants using data envelopment analysis. *Tadbir Institute for Operational Research, Systems Design and Financial Services Ltd*, *2*(2), 94–99.

25. Emrouznejad A., & Thanassoulis E. (2011). Performance improvement management software pim-deasoft v3.0 user guide. Ανακτήθηκε από http://www.deasoftware.co.uk/
26. Fallahi A., Ebrahimi R., & Ghader S. F.. (2011). Measuring efficiency and productivity change in power electric generation management companies by using data envelopment analysis: a case study. *Energy*, *36*(11), 6398–6405. doi:10.1016/j.energy.2011.09.034
27. Färe R., & Grosskopf S. (2004). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: comment. *European Journal of Operational Research*, *157*(1), 242–245. doi:10.1016/S0377-2217(03)00191-7
28. Färe R., Grosskopf S., & Tyteca D. (1996). An activity analysis model of the environmental performance of firms—application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological Economics*, *18*(2), 161–175. doi:10.1016/0921-8009(96)00019-5
29. Golani B., Roll Y., & Rybak D. (1994). Measuring efficiency of power plants in israel by data envelopment analysis. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, (3), 291 – 301. doi:10.1109/17.310144
30. Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for dea. *Omega*, *17*(3), 237–250. doi:10.1016/0305-0483(89)90029-7
31. Greek energy 2014. (2014). Ανακτήθηκε 15 Ιανουάριος 2015, από http://issuu.com/citroniogr/docs/greek_energy_2014
32. Gregoriou G. N., & Zhu J. (2005). *Evaluating Hedge Fund and CTA Performance: Data Envelopment Analysis Approach*. John Wiley & Sons.
33. Grosskopf S., & Färe R. (1998). *Reference guide to onfront*. Ανακτήθηκε από https://www.google.gr/search?q=reference+guide+to+onfront&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=ePC0VNSZEeT_ywPxmoK4DQ
34. Halkos G. E., & Tzeremes N. G. (2012). Analyzing the greek renewable energy sector: a data envelopment analysis approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(5), 2884–2893. doi:10.1016/j.rser.2012.02.003
35. Harrison J. (2010). Data envelopment analysis (dea): a method for measuring efficiency, benchmarking and continuous improvement. Παρουσιάστηκε στο 10th Annual Effective Management Accountant Conference. Ανακτήθηκε από http://www.conferenz.co.nz/whitepapers/data-envelopment-analysis-dea-method-measuring-efficiency-benchmarking-and-continuous-im
36. Hosseini H., & Hasanpour J. (2011). Evaluating the efficiency changes of the thermal power plants in iran and examining its relation with reform using dea model & malmquist index (Τ. 12, σσ 280–289). Παρουσιάστηκε στο 3rd International

Conference on Information and Financial Engineering IPEDR, Singapore: IACSIT Press. Ανακτήθηκε από http://www.ipedr.com/vol12/50-C123.pdf

37. Jamasb T., & Pollitt M. (2001). *Benchmarking and Regulation of Electricity Transmission and Distribution Utilities: Lessons from International Experience* (Cambridge Working Papers in Economics No. 0101). Faculty of Economics, University of Cambridge. Ανακτήθηκε από https://ideas.repec.org/p/cam/camdae/0101.html
38. Korhonen P. J., & Mikulas Luptacik. (2004). Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *154*(2), 437–446. doi:10.1016/S0377-2217(03)00180-2
39. Liu C. H., Sue J. L., & Charles L. (2010). Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis. *Energy Policy*, *38*(2), 1049–1058. doi:10.1016/j.enpol.2009.10.057
40. Meenakumari R., & Kamaraj N. (2008). Measurement of Relative Efficiency of State Owned Electric Utilities in INDIA Using Data Envelopment Analysis. *Modern Applied Science*, *2*(5), 61–71.
41. Ramanathan R. (2003). *An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement*. New Delhi ; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications Pvt. Ltd.
42. Sarıca K., & Or I. (2007). Efficiency analysis of turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy*, *32*(8), 1484–1499. doi:10.1016/j.energy.2006.10.016
43. Sherman H. D., & Zhu J. (2006). *Service productivity management: improving service performance using data envelopment analysis (DEA)*. New York: Springer.
44. Sofianopoulou S., Dedoussis V., Konstas K., & Kassimis A. (2009). Efficiency evaluation of natural gas power plants using data envelopment analysis. Στο *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009* (σσ 315–319). doi:10.1109/IEEM.2009.5373352
45. Sueyoshi T., & Goto M. (2011). Dea approach for unified efficiency measurement: assessment of japanese fossil fuel power generation. *Energy Economics*, *33*(2), 292–303. doi:10.1016/j.eneco.2010.07.008
46. Sueyoshi T., Goto M., & Ueno T. (2010). Performance analysis of us coal-fired power plants by measuring three dea efficiencies. *Energy Policy*, *38*(4), 1675–1688. doi:10.1016/j.enpol.2009.11.017

47. Tai W. H., Pineau P.-O., & Caporossi G. (2010). Efficiency evolution of coal-fired electricity generation in china, 1999-2007. *International Journal of Energy Sector Management*, *4*(3), 316–336. doi:10.1108/17506221011073824
48. Tankersley W. B., & Tankersley J. E. (1996). Relative efficiency of electric cooperatives in south carolina: an application and test of data envelopment analysis. *Coastal Business Review*, *6*, 41–48.
49. Thanassoulis E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis*. Boston, MA: Springer US. Ανακτήθηκε από http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-1407-7
50. Chen Tser-Yieth, Yeh Tsai-Lien, & Lee Y.-T. (2013). Comparison of power plants efficiency among 73 countries. *Journal of Energy*, *2013*, e916413. doi:10.1155/2013/916413
51. Tsolas E. I. (2010). Assessing power stations performance using a dea-bootstrap approach. *International Journal of Energy Sector Management*, *4*(3), 337–355. doi:10.1108/17506221011073833
52. Tyteca D. (1996). On the measurement of the environmental performance of firms— a literature review and a productive efficiency perspective. *Journal of Environmental Management*, *46*(3), 281–308. doi:10.1006/jema.1996.0022
53. Xi-ping W., & Tian D. (2012). A study on total factor energy efficiency of coal-fired power plants considering environmental protection. *Maxwell Scientific Organization*, *5*(17), 4311–4316.
54. Yang H., Pollitt M. G., & Group, U. of C. E. P. R. (2007). *Distinguishing Weak and Strong Disposability Among Undesirable Outputs in DEA: The Example of the Environmental Efficiency of Chinese Coal-fired Power Plants*. Electricity Policy Research Group, University of Cambridge.
55. Zervopoulos P., & Palaskas T. (2010). Performance – effectiveness – efficiency measurement methods in public sector: international and greek experience. Ανακτήθηκε από http://mpra.ub.uni-muenchen.de/30936/
56. Zervos A., & Aggelopoulos G. (2014, Μάρτιος). *Public power corporation sa financial results 2013*. Ανακτήθηκε από 1 Public Power Corporation SA Financial Results 2013
57. Zhou P., Ang B. W., & Poh K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, *189*(1), 1–18. doi:10.1016/j.ejor.2007.04.042