



**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΟΙΚΗΣΗ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ»**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**Εκτίμηση της αποδοτικότητας λειτουργίας
μονάδας διυλιστηρίου πετρελαίου**

**ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ
ΠΑΠΙΓΓΙΩΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΕΤΡΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ 2019

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: *Διοίκηση,
Τεχνολογία και Ποιότητα*

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Εκτίμηση της αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδας
διυλιστηρίου πετρελαίου

ΠΑΠΙΓΓΙΩΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΠΕΤΡΟΣ

Μάιος 2019

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Διοίκηση,
Τεχνολογία και Ποιότητα**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Εκτίμηση της αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδας
διυλιστηρίου πετρελαίου**

ΠΑΠΙΓΓΙΩΤΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

**Επιβλέπων Καθηγητής
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΠΕΤΡΟΣ**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Διοίκηση, Τεχνολογία και Ποιότητα από τη Σχολή Οικονομικών Επιστημών και Διοίκησης του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2019

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή στοχεύει στην ανάπτυξη μεθόδου για την εκτίμηση της αποδοτικότητας σε μονάδες λειτουργίας διυλιστηρίων και συγκεκριμένα εφαρμόζεται σε μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου, με σκοπό να συμβάλει στη σωστή οργάνωση και λειτουργία των διυλιστηρίων, καθώς επίσης και στη βελτιστοποίηση της απόδοσης τους, της παραγωγικής τους ικανότητας και των τεχνοοικονομικών τους δυνατοτήτων. Η ορθή μέτρηση της απόδοσης είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλει καθοριστικά στην εύρυθμη λειτουργία και ανάπτυξη των εταιρειών και συγκεκριμένα εκείνων που δραστηριοποιούνται στην διύλιση πετρελαίου.

Για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, τα δεδομένα για την εκτίμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης της μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου προέρχονται από την εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ και συγκεκριμένα από το διυλιστήριο Ασπροπύργου. Η συλλογή των δεδομένων έγινε για την περίοδο από 1/1/2019 έως 2/3/2019, τα οποία περιλαμβάνουν όλες της δαπάνες λειτουργίας καθώς και την ποσότητα αργού πετρελαίου που διυλίστηκε σε ημερήσια βάση. Πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη ομαδοποίηση των δαπανών έτσι ώστε κάθε κατηγορία τους που θα εισαχθεί στους υπολογισμούς να είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA) για την ανάκτηση της παραγωγικότητας βασικής γραμμής (Baseline Productivity, BP), που σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, αποτελεί μέτρο για τη συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων των βέλτιστων πρακτικών. Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων χρησιμοποιείται σε μοντέλα μέτρησης αποτελεσματικότητας πολλαπλών εισροών και πολλαπλών εκροών για τη μέτρηση της σχετικής αποτελεσματικότητας. Για τη σύγκριση της αποδοτικότητας των ημερών της περιόδου που μελετήθηκε, υπολογίστηκε σύμφωνα με τις αποδοτικές ημέρες που αποτελούν το σύνολο της παραγωγικότητας βασικής γραμμής, η ημερήσια αποδοτικότητα καθώς και οι τμηματικές αποδοτικότητες κάθε δαπάνης, οι οποίες είναι το μέτρο σύγκρισης για όλες τις ημέρες λειτουργίας.

Το αποτέλεσμα της εργασίας είναι η δημιουργία μεθοδολογίας μέσω της οποίας μπορεί να γίνει ορθή εκτίμηση της απόδοσης μονάδων διυλιστηρίου, γεγονός καθοριστικό για την ορθή λήψη αποφάσεων για κάθε διυλιστήριο. Η εκτίμηση της απόδοσης μέσω της δεδομένης μεθοδολογίας και ο καθορισμός των βέλτιστων ημερησίων αποδόσεων λειτουργίας και των τμηματικών αποδόσεων κάθε δαπάνης βοηθάει καθοριστικά την επιχείρηση να θέτει υλοποιήσιμους στόχους βασισμένους σε αντικειμενικά στοιχεία.

Abstract

The purpose of this thesis is to develop a method for estimating the efficiency of petroleum refinery process units. In particular, it is applied in a crude oil distillation unit in order to contribute to the proper organization and operation of the refineries as well as to the optimization of their efficiency, capacity and their techno-economic potential. The proper performance measurement is one of the most important factors that contributes decisively to the well-functioning and growth of companies, particularly those involved in oil refining.

The data for estimating and benchmarking the performance of the crude oil distillation unit comes from the company HELLENIC PETROLEUM and specifically from the Aspropyrgos refinery. Data collection was held from 1/1/2019 to 2/3/2019, which includes all operating cost and the amount of crude oil refined daily. There has been a clustering of cost so that each category is independent. Data Envelopment Analysis (DEA) method was used for the baseline productivity recovery (Baseline Productivity, BP), which according to the international literature, is considered as an important measure for benchmarking the performance of the best practices. Data Envelopment Analysis (DEA) is used in multi-input and multi-output efficiency measurement models to measure relative efficiency. Regarding the comparison of the profitability of each day during the study, it was calculated according to the effective days which constitute the baseline productivity, the daily profitability as well as the incremental efficiency of each expenditure, which is the benchmark for all days of operation.

The outcome of the study is the creation of a method providing a correct estimation of the performance of refinery units, which is decisive for the proper decision making for each refinery. Estimating performance through the given methodology and determining the optimal daily operating returns and the incremental returns of each item of expenditure will ultimately help the enterprise set milestones based on objective data.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, αισθάνομαι την υποχρέωση, να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλλαν στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

Πρωτίστως, οφείλω ένα θερμότατο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της διατριβής κ. Δημητρίου Πέτρο, Καθηγητή του Ανοικτού Πανεπιστημίου της Κύπρου, που με τις ορθές υποδείξεις του βοήθησε ουσιαστικά στην εκπόνηση της διατριβής.

Ευχαριστώ επίσης τους:

Πασχαλάκη Παντελή, Διπλ. Χημικός Μηχανικός, Υπεύθυνο λειτουργίας της μονάδας Ατμοσφαιρικής Απόσταξης των Ελληνικών Πετρελαίων στον Ασπρόπυργο.

Παπασπυρόπουλο Νικόλαο, Υποδιευθυντής Μονάδων Δύλισης των Ελληνικών Πετρελαίων στον Ασπρόπυργο.

Μπερσίμη Διονύσιο, Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός της Διεύθυνσης Συντηρήσεως των Ελληνικών Πετρελαίων στον Ασπρόπυργο.

Καρδαρά Στέφανο, Χημικός της Διεύθυνσης Συντηρήσεως των Ελληνικών Πετρελαίων στον Ασπρόπυργο.

Όλοι οι παραπάνω βοήθησαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της διατριβής, τόσο με την παροχή λειτουργικών δεδομένων, όσο και την μετάδοση γνώσεων και εμπειρίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	iii
Abstract	iv
Περιεχόμενα	vi
1. Εισαγωγή	1
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
2.1 Εισαγωγή – Παραγωγικότητα Βασικής Γραμμής	5
2.2 Γενικοί Ορισμοί	9
2.2.1 Παραγωγικές Μονάδες - Μονάδες Απόφασης (DMU)	9
2.2.2 Αποδοτικότητα	10
2.2.3 Αποδόσεις κλίμακας	14
2.3 Χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) για την μέτρηση της Τεχνικής Αποδοτικότητας εξόδου στην περίπτωση πολλαπλών εισροών και εκροών	15
2.3.1 Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου	16
2.3.2 Μοντέλο Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων	18
2.4 Μαθηματικά μοντέλα της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων	22
2.4.1 Μοντέλο CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)	23
2.4.2 Μοντέλο BCC (Banker, Charnes, Cooper)	28
2.4.3 Σύγκριση των μοντέλων CCR και BCC	30
2.5 Βελτιστοποίηση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων	34
2.6 Πεδίο εφαρμογών της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων	36
2.6.1 Πλεονεκτήματα της DEA	36
2.6.2 Μειονεκτήματα της DEA	37
2.7 Γενικές παρατηρήσεις για την Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων	38
3. Διυλιστήριο Πετρελαίου	40
3.1 Εισαγωγή	40
3.2 Αργό πετρέλαιο	41
3.3 Λειτουργία Διυλιστηρίου	45
3.4 Μονάδες διύλισης, η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου	47
3.4.1 Συνηθισμένες μονάδες επεξεργασίας ενός διυλιστηρίου	47
3.4.2 Μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης	49
3.4.3 Ατμοσφαιρική απόσταξη	51
3.5 Τα διυλιστήρια της εταιρείας Ελληνικά Πετρέλαια	57
4. Προτεινόμενη Μέθοδος – Μελέτη Περίπτωσης	58
4.1 Εισαγωγή	58
4.2 Αποδοτικότητα, αναγκαιότητα της μέτρησης της	59
4.3 Δεδομένα υπολογισμού της αποδοτικότητας βασικής γραμμής	60
4.4 Εφαρμογή μεθόδου	62
4.5 Υπολογισμοί (DEA και BP)	69
4.6 Συγκριτική αξιολόγηση περιόδων λειτουργίας μονάδας διυλιστηρίου	81
4.6.1 Δείκτης επίδοσης PR (Performance Ratio)	81
4.6.2 Διακυμάνσεις στη αποδοτικότητα	85
5. Συμπεράσματα	88
Βιβλιογραφία	93

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η έννοια της αποδοτικότητας αποτελεί κεντρικό αντικείμενο προσοχής και ενασχόλησης των στελεχών των οργανισμών. Συνιστά καθοριστικό παράγοντα για την αποδοτική και εύρυθμη λειτουργία των επιχειρήσεων, ειδικότερα για εκείνες που δραστηριοποιούνται στο τμήμα της λεγόμενης βαριάς βιομηχανίας. Η βαριά βιομηχανία είναι ο βιομηχανικός τομέας που δραστηριοποιείται με την παραγωγή, κυρίως, των μέσων παραγωγής (πρώτες ύλες, καύσιμα, εργαλεία, εξοπλισμός). Ο κλάδος της βαριάς βιομηχανίας είναι πολύ ανταγωνιστικός, και για να μπορέσει κάθε επιχείρηση να επιβιώσει και να αναπτυχθεί, θα πρέπει να δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην απόδοση της λειτουργίας της και την συνεχιζόμενη βελτίωση της.

Η αποδοτικότητα αφορά κυρίως την εσωτερική λειτουργία της επιχείρησης και εκφράζει τις θυσίες (κόστη) που γίνονται για την επίτευξη ενός αποτελέσματος. Η αποδοτικότητα μετράτε ως το πηλίκο έχει ως αριθμητή το πραγματοποιηθέν αποτέλεσμα (εκροή) και ως παρονομαστή τα κόστη ή τις θυσίες που έγιναν για την πραγματοποίηση του αποτελέσματος (εισροές).

Η μέτρηση και η αξιολόγηση της απόδοσης είναι απαραίτητη για τον σωστό και αποδοτικό προγραμματισμό της κάθε επιχείρησης καθώς και για τον αποτελεσματικό έλεγχο και αξιολόγηση της χρήσης του. Η αποδοτικότητα δεν μπορεί να εκτιμάται μόνο από την απλή καταγραφή των δαπανών και παραχθέντος αποτελέσματος, αλλά θα πρέπει να γίνεται και ανάλυση των δεδομένων, διότι διαφορετικά τα συμπεράσματα που θα προκύψουν θα είναι λανθασμένα και θα οδηγήσουν την εταιρεία σε λήψη μη ορθών αποφάσεων. Η ανάλυση των μετρήσεων της αποδοτικότητας θα πρέπει να υποστηρίζουν την λήψη κάθε απόφασης της διοίκησης. Η μελέτη της αποδοτικότητας τμημάτων της επιχείρησης συνεισφέρει ουσιαστικά στην βελτίωση των εργασιών και λειτουργιών της επιχείρησης. Επίσης η μέτρηση της απόδοσης βοηθά μια επιχείρηση να καταναίμει τους πόρους με τον καλύτερο-αποδοτικότερο τρόπο, ενώ παράλληλα αποτελεί και το έναυσμα για ορθότερη κατανομή αυτών.

Το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα ΜΔΕ είναι η εκτίμηση της αποδοτικότητας σε μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης διυλιστηρίου. Η μονάδα απόσταξης του αργού πετρελαίου είναι η πρώτη μονάδα επεξεργασίας ουσιαστικά σε όλα τα διυλιστήρια πετρελαίου. Αυτή αποστάζει το εισερχόμενο αργό πετρέλαιο σε διάφορα κλάσματα διαφορετικών περιοχών βρασμού, που καθένα τους επεξεργάζεται παραπέρα σε άλλες μονάδες επεξεργασίας του διυλιστηρίου. Κύριος σκοπός της διατριβής είναι η δημιουργία μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδας διυλιστηρίου. Μελετώντας την αποδοτικότητα κάθε ημέρας και συγκρίνοντας τις τιμές των ημερήσιων αποδοτικοτήτων, μπορούν να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα για την πορεία ενός διυλιστηρίου. Η εύρεση των πιο αποδοτικών ημερών είναι το ζητούμενο το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα, κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας, για την εξαγωγή έγκυρων και ορθών συμπερασμάτων για την πορεία μιας επιχείρησης (διυλιστήριο).

Για την εκτίμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας λειτουργίας της εν λόγω μονάδας διυλιστηρίου χρησιμοποιείται το μέγεθος "παραγωγικότητας βάσης" (Baseline productivity) που σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία αποτελεί μέτρο για τη συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων των βέλτιστων πρακτικών. Η ανάκτηση της παραγωγικότητας βάσης θα γίνει με την χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA). Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων χρησιμοποιείται σε μοντέλα μέτρησης αποτελεσματικότητας πολλαπλών εισροών και πολλαπλών εκροών για τη μέτρηση της σχετικής αποτελεσματικότητας. Θα εξεταστούν δεδομένα από την ημερήσια παραγωγή της μονάδας για την χρονική διάρκεια από 1/1/2019 έως 2/3/2019. Η συλλογή των δεδομένων θα γίνει από τα αρχεία της εταιρείας Ελληνικά Πετρέλαια, της οποίας οι χημικοί μηχανικοί καταγράφουν σε καθημερινή βάση.

Ο κύριος λόγος εκπόνησης της παρούσας διατριβής είναι οι ελλείψεις αναφορές συγγραμμάτων, τόσο στην εγχώρια όσο και στην διεθνή βιβλιογραφία, που πραγματεύονται τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας λειτουργίας σε διυλιστήρια. Μέρος αυτού του κενού θα προσπαθήσει να καλύψει η παρούσα ΜΔΕ με τη δημιουργία και εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της αποδοτικότητας λειτουργίας σε διυλιστήρια. Η κάλυψη του κενού αυτού ελπίζουμε να δώσει στον αναγνώστη το απαραίτητο κίνητρο για την μελέτη αυτής της διατριβής, η οποία θα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τις διοικήσεις των διυλιστηρίων για την ορθή εκτίμηση της αποδοτικότητας, την εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότερη λειτουργία τους και την ορθή λήψη αποφάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την συγκεκριμένη μεθοδολογία, με χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data

Envelopment Analysis, DEA), δεν υπάρχει κάποια αναφορά στην εγχώρια και διεθνή βιβλιογραφία που να αναφέρεται στην λειτουργία διυλιστηρίου πετρελαίου.

Στο κεφάλαιο 2 θα γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση. Θα παρουσιαστεί και θα γίνει επεξήγηση της παραγωγικότητας βασικής γραμμής (Baseline Productivity). Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην βιβλιογραφική παρουσίαση της Περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA), από την εμφάνιση της έως τις μέρες μας. Επίσης θα γίνει ανάλυση της DEA, παρουσίαση των διαφόρων μοντέλων της καθώς επίσης και των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της.

Στο κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί η σύσταση και οι ιδιότητες του αργού πετρελαίου που είναι το κύριο προϊόν στην λειτουργία ενός διυλιστηρίου. Κύριος στόχος και σκοπός για την δημιουργία και λειτουργία ενός διυλιστηρίου είναι οι μετατροπή του αργού πετρελαίου σε προϊόντα (παράγωγα) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές για πληθώρα χρήσεων. Θα αναλυθεί επίσης η λειτουργία ενός διυλιστηρίου και θα παρουσιαστούν τα προϊόντα που παράγονται. Το διυλιστήριο δεν λειτουργεί ως μια ενιαία μονάδα παραγωγής αλλά αποτελείται από ξεχωριστές μονάδες. Σε κάθε μονάδα τα προϊόντα που εισέρχονται για επεξεργασία είναι προϊόντα τα οποία έχουν επεξεργαστεί από κάποια άλλη μονάδα και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για να δημιουργηθούν τα τελικά προϊόντα που είναι κατάλληλα για χρήση. Θα παρουσιαστούν όλες οι μονάδες που μπορεί να περιλαμβάνει ένα διυλιστήριο και θα αναλυθεί η λειτουργία της μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης η οποία αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διατριβής. Η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης είναι η πρώτη μονάδα επεξεργασίας σε κάθε διυλιστήριο και το προϊόν που εισέρχεται σε αυτή για μεταποίηση είναι το αργό πετρέλαιο. Κλείνοντας το κεφάλαιο θα γίνει για σύντομη παρουσίαση του Ομίλου των ελληνικών πετρελαίων στον Ασπρόπυργο.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται ανάλυση της απόδοσης, παραθέτοντας τους βασικούς ορισμούς και το πεδίο εφαρμογής της. Εν συνεχεία θα παρουσιαστεί η μελέτη περίπτωσης της διατριβής. Αρχικά θα γίνει ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων που έχουν ληφθεί από την μονάδα που μελετάμε και εν συνεχεία θα παρουσιαστεί όλη η διαδικασία εξαγωγής της Παραγωγικότητας Βάσης. Η εφαρμογή της μεθόδου, αφού γίνει ο καθορισμός των εισόδων και εξόδων του συστήματος που καθορίζουν την απόδοση, γίνεται σε ημερήσια βάση, λαμβάνοντας ότι κάθε ημέρα είναι μια διαφορετική μονάδα απόφασης. Με την εφαρμογή της μεθόδου θα καθοριστούν οι πιο αποδοτικές μέρες που θα απαρτίζουν το σύνολο της Παραγωγικότητας Βάσης. Η εξαγωγή της Παραγωγικότητας Βάσης θα γίνει με χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Η εφαρμογή της Περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων θα γίνει με την χρήση του λογισμικού EMS.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιελάβανε: Άντληση στοιχείων από δευτερογενείς πηγές (Βιβλία, Δημοσιευμένα άρθρα, Διπλωματικές εργασίες, Σημειώσεις Μαθήματων καθώς επίσης και το διαδίκτυο). Πρωτογενή έρευνα για την άντληση δεδομένων και σχετικών πληροφοριών από το διυλιστήριο των Ελληνικών Πετρελαίων στον Ασπρόπυργο Αττικής και τέλος από προσωπική παρατήρηση και επαγγελματική εμπειρία στην κατασκευή, την συντήρηση και την λειτουργία διαφόρων μονάδων διυλιστηρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή – Παραγωγικότητα Βασικής Γραμμής

Στην λειτουργία κάθε επιχείρησης ή οργανισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική η παρακολούθηση της απόδοσής της για να μπορέσουμε να κρίνουμε αν εκπληρεί τον στόχο για τον οποίο έχει δημιουργηθεί και σε τι βαθμό. Ανατρέχοντας στην ιστορία θα διαπιστώσουμε πως σε όλες τις επιχειρήσεις, ήταν πάντα σημαντική η μέτρηση της απόδοσης, ενώ στα νεότερα χρόνια, η ύπαρξη μεγάλων οργανισμών κατέστησε απαραίτητη την ποσοτική εκτίμηση της αποδοτικότητάς κάθε τμήματος του οργανισμού. Καθώς λοιπόν η εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης στην παγκόσμια οικονομία δημιουργεί ένα ολοένα και πιο ανταγωνιστικό περιβάλλον για τους οργανισμούς, κρίθηκε επιτακτική η ανάπτυξη μιας μεθόδου η οποία θα έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί τις μετρήσεις με απώτερο σκοπό τον προσδιορισμό των αιτιών μη αποτελεσματικότητας και την βελτίωση τους, στο βαθμό που κάτι τέτοιο είναι εφικτό.

Τα πρωτεία σε αυτή την κατεύθυνση κατέχει ο Farrell, ο οποίος, το 1957, ορμώμενος από τις δυσκολίες στην εκτίμηση των συναρτήσεων παραγωγής για κάθε διαφορετικό πρόβλημα ξεχωριστά και τα σφάλματα στα δεδομένα των εμπειρικών παρατηρήσεων, διατύπωσε μια νέα μεθοδολογία εκτίμησης της αποδοτικότητας (Καψής 1995). Χαρακτηριστικό της προσέγγισης του αποτελεί η απουσία συνάρτησης για την αναπαράσταση της εσωτερικής διαδικασίας παραγωγής, ενώ βασίζεται σε εμπειρικές μετρήσεις των εισροών και των εκροών.

Πιο συγκεκριμένα, ως αποδοτικότητα μιας μονάδας μπορεί να οριστεί η ικανότητά της να μετασχηματίζει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πεπερασμένους πόρους που λαμβάνει (εισροές - inputs) και να τους μετατρέπει σε προϊόντα ή υπηρεσίες (εκροές - outputs), με τον μηχανισμό παραγωγής από τις εισροές στις εκροές να είναι άγνωστος. Οι παραδοσιακές οικονομετρικές μέθοδοι, χρησιμοποιώντας συναρτήσεις παραγωγής δύνανται να υπολογίσουν την μέγιστη απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί με οποιοδήποτε εφικτό συνδυασμό εισροών κατασκευάζοντας με αυτό τον τρόπο ένα σύνολο αποδοτικότητας (Seiford & Thrall 1990).

Βέβαια δεν είναι εφικτό σε όλες τις μονάδες να είναι γνωστοί όλοι οι συνδυασμοί εισροών - εκροών.

Ο Farell θέλοντας να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα και βασιζόμενος σε παλαιότερες μελέτες, εξέφρασε την αποδοτικότητα των μονάδων παραγωγής με τη βοήθεια ενός δείκτη αποδοτικότητας, ο οποίος εκφράζεται απλά ως ο λόγος των συνολικών εκροών προς τις συνολικές εισροές:

$$\frac{\text{Συνολικές Εκροές}}{\text{Συνολικές Εισροές}} \quad (2.1)$$

Με σημείο εκκίνησης το έργο του Farell, η εργασία "Μέτρηση της αποτελεσματικότητας των μονάδων λήψης αποφάσεων" ("Measuring the efficiency of decision making units") από τους Charnes, Cooper και Rhodes (1978) πρωτοπαρουσίασε τη μέθοδο «Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων – DEA, (Data Envelopment Analysis – DEA)». Πρόκειται για μία μη παραμετρική μέθοδο γραμμικού προγραμματισμού, που εκτιμά ποσοτικά την μέγιστη τιμή της σχετικής αποδοτικότητας των παραγωγικών μονάδων (Decision making units – DMUs) αναφορικά πάντα με ένα σύνολο όμοιων μονάδων που χρησιμοποιούν πολλαπλές εισροές και εκροές, και βασίζεται σε πραγματικές παρατηρήσεις εισροών- εκροών τις οποίες μετρούμε στις φυσικές τους κλίμακες. Οι εισροές αποτελούν «αγαθά» προς εξοικονόμηση (μικρότερα επίπεδα κατανάλωσης είναι περισσότερο επιθυμητά), οι δε εκροές «αγαθά» προς μεγιστοποίηση (μεγαλύτερα επίπεδα παραγωγής είναι περισσότερο επιθυμητά).

Ως παραγωγικότητα βασικής γραμμής (Baseline Productivity - BP) ορίζεται η βέλτιστη επίδοση που μπορεί να επιτύχει μια επιχείρηση σε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα. Εφαρμόζεται στον τομέα των βιομηχανικών επιχειρήσεων για να εκτιμήσει τις ζημιές που μπορεί να προκαλέσει η χαμηλή αποδοτικότητα ή να ορίσει ένα σημείο αναφορά για τις επιδόσεις των βέλτιστων πρακτικών.

Εν γένει υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί της BP καθώς και διάφορες μέθοδοι υπολογισμού. Δύναται να εφαρμοσθεί ως μέτρο σύγκρισης των επιδόσεων των εταιρειών για να ακολουθήσουν τις βέλτιστες πρακτικές είτε ως ένα εικονικό μέτρο για την έγκαιρη ανίχνευση ασυνήθων διαδικασιών ή παραγόμενων προϊόντων που αποκλίνουν από τις «κανονικές» συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα, στις επιχειρήσεις της βαριάς βιομηχανίας συνήθης πρακτική είναι η χρήση της μέσης αποδοτικότητας ως μέτρο σύγκρισης των επιδόσεων, λόγω της ευκολίας στον

υπολογισμό της. Με αυτή την τακτική όμως, δεν υπάρχει βέλτιστη τιμή σαν οριοθέτης για την περαιτέρω ανάλυση και αξιολόγηση των δεδομένων. Η BP έρχεται στο προσκήνιο δίνοντας μια βέλτιστη τιμή σε σχέση με την οποία θα συγκριθούν και θα αξιολογηθούν οι ημερήσιες αποδοτικότητες μιας μονάδας παραγωγής, προσφέροντας ταυτόχρονα επιστημονική ανάλυση των δεδομένων, λόγω της αντικειμενικότητας του ορισμού της και του μαθηματικού τρόπου υπολογισμού της.

Μια μέθοδος υπολογισμού της BP έχει δοθεί από τους Thomas και Zavrski (1999), η οποία, παρότι είχε μεγάλη απήχηση στο επιστημονικό κοινό, δέχτηκε έντονη κριτική για δυο τμήματα της: πρώτον, την υποκειμενική επιλογή του 10% του συνόλου των ημερών λειτουργίας να αντιπροσωπεύουν το υποσύνολο της βασικής γραμμής και δεύτερον την διαδικασία επιλογής των ημερών εργασίας που έχουν την υψηλότερη καθημερινή αποδοτικότητα ή τη μεγαλύτερη παραγόμενη ποσότητα. Για να ξεπεράσουν αυτά τα ζητήματα οι Lin και Huang (2010) στηρίχτηκαν στην Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA) για τον αντικειμενικό προσδιορισμό του υποσυνόλου ημερών βασικής γραμμής και προσέφεραν μια αυστηρά μαθηματική θεωρία που βασίζεται σε οικονομικές αρχές.

Οι Lin και Huang αφού εφάρμοσαν την μεθοδολογία τους σε οχτώ διαφορετικές περιπτώσεις με πραγματικά δεδομένα, ταυτόχρονα με εκείνη των Thomas και Zavrski, κατέληξαν πως και οι δυο μέθοδοι εξάγουν συστηματικά και παρόμοια αποτελέσματα για την παραγωγικότητα βασικής γραμμής. Η DEA βέβαια διατηρεί το πλεονέκτημα της αντικειμενικότητας και της διαχείρισης παραγωγικών δραστηριοτήτων με πολλαπλές εισροές και εκροές επιτρέποντας στους μηχανικούς παραγωγής και εν γένει στους υπεύθυνους της διοίκησης να αξιολογούν τις επιδόσεις με έναν πολύ πιο ακριβή, αποτελεσματικό και ολοκληρωμένο τρόπο. Η ποσοτικοποίηση της απώλειας της αποδοτικότητας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας είναι ένας από τους πιο δύσκολους και αμφισβητούμενους τομείς βιομηχανικών επιχειρήσεων, διότι συνήθως δεν παρακολουθείται ταυτόχρονα, καθιστώντας δύσκολη την πρόβλεψη τόσο της αιτιώδους συνάφειας όσο και του δικαιώματος όσον αφορά την ανάκτηση.

Αν και υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό της απώλειας αποδοτικότητας, η μέθοδος measured mile είναι μακράν η πιο ευρέως αποδεκτή (Thomas 2007).

Η αρχική μέθοδος measured mile συγκρίνει τις ίδιες δραστηριότητες σε τμήματα που δεν επηρεάστηκαν και επηρεάστηκαν, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η απώλεια

παραγωγικότητας που προκύπτει από την επίδραση των γεγονότων για τα οποία ο αιτών δεν είναι υπεύθυνος. Για να προσδιοριστεί το *measured mile*, ο Zink (1986) πρότεινε μια διαδικασία για την ταυτοποίηση ενός εύλογου γραμμικού ή σχεδόν γραμμικού τμήματος στην καμπύλη προόδου των εργασιών για να αντικατοπτρίζει ένα άθικτο τμήμα που καθορίζει την αποδοτικότερη παραγωγικότητα. Ο Thomas (Thomas και Zavrski 1999, Thomas 2007) εισήγαγε την ιδέα «βασικής γραμμής» για εκείνες τις περιπτώσεις, όταν δεν μπορεί να βρεθεί ένα απρόσκοπτο τμήμα στις εν λόγω εργασίες. Επειδή αυτή η γραμμή βάσης μπορεί να περιλαμβάνει κάποια απώλεια παραγωγικότητας, είναι μια συντηρητική μέτρηση από την πλευρά του αιτούντος.

Ωστόσο, η προτεινόμενη διαδικασία του Thomas προτίμησε αυθαίρετα το 10% των περιόδων αναφοράς με την καλύτερη παραγωγή ως υποσύνολο της γραμμής βάσης. Ο Ibbs και ο Liu (2005) πρότειναν μια διαδικασία βασισμένη στην τεχνική ομαδοποίησης K-μέσων για την αντιμετώπιση του αυθαίρετου μεγέθους του Thomas του υποσυνόλου της γραμμής βάσης και οι Gulezian και Samelian (2003) πρότειναν μια διαδικασία χρησιμοποιώντας διαγράμματα ελέγχου για τον προσδιορισμό της γραμμής βάσης. Εν γένει όλες οι προαναφερθείσες προσεγγίσεις έχουν τόσο καλά αποτελέσματα όσο και περιθώρια σφαλμάτων, με την μέθοδο των Thomas και Zavrski σε συνδυασμό με την Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA) για τον αντικειμενικό προσδιορισμό του υποσυνόλου ημερών βασικής γραμμής όμως να αποτελεί το εργαλείο για την παρούσα εργασία μπορούμε να παρουσιάσουμε τον τρόπο εφαρμογής της στο εξεταζόμενο ζήτημα.

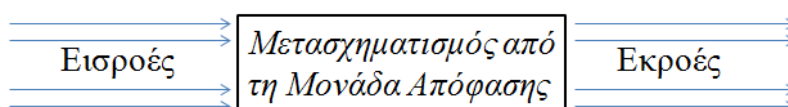
Πριν την παρουσίαση της προαναφερθείσας μεθόδου DEA σκόπιμη κρίνεται η αναφορά κάποιων γενικών ορισμών.

2.2 Γενικοί Ορισμοί

2.2.1 Παραγωγικές Μονάδες - Μονάδες Απόφασης (DMU)

Οι παραγωγικές μονάδες είναι οι μονάδες που προτείνουμε για σύγκριση, με άλλες συγκρίσιμες μεταξύ τους μονάδες, ως προς τις επιδόσεις τους. Χρησιμοποιούν ένα σύνολο πόρων-εισροών τους οποίους μετατρέπουν σε εκροές. Οι παραγωγικές μονάδες συχνά αναφέρονται και σαν μονάδες απόφασης (decision making units - DMUs) ένας ορισμός που επινοήθηκε από τον Charnes (1978).

Ο χαρακτηρισμός μιας παραγωγικής μονάδας ως μονάδα απόφασης υποδηλώνει τον έλεγχο που κατέχει στην διαδικασία μετατροπής εισροών σε εκροές.



Σχήμα 2.1 : Σχηματική απεικόνιση των εισροών και εκροών παραγωγικής μονάδας.

Με τον χαρακτηρισμό «εισροή» εννοούμε τους πόρους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των εκροών.

Με τον χαρακτηρισμό «εκροή» εννοούμε τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες που παράγονται από τις μονάδες.

Σκοπός αυτής της αναπαράστασης είναι η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας μιας μονάδας απόφασης στη διαχείριση της διαδικασίας μετασχηματισμού (εισροές σε εκροές), σε σύγκριση με άλλες μονάδες απόφασης, που ασχολούνται με την ίδια διαδικασία. Η μέτρηση της αποδοτικότητας που χρησιμοποιούμε αντανακλά την εκτίμηση μας για τις δυνατότητες που έχει μια μονάδα, όσον αφορά την διατήρηση των πόρων που καταναλώνει ή την αύξηση της παραγωγικότητας της (αύξηση των εκροών). Έτσι, για να μετρήσουμε την απόδοση της μονάδας θα πρέπει να εκτιμήσουμε τα επίπεδα εισροών-εκροών στα οποία η μονάδα θα μπορούσε να λειτουργήσει για να είναι αποδοτική.

2.2.2 Αποδοτικότητα

Η μέτρηση της αποδοτικότητας βασίζεται σε εκτιμήσεις του βαθμού στον οποίο η μονάδα θα μπορούσε να εξασφαλίσει μεγαλύτερη παραγωγή - εκροές για το επίπεδο των εισροών της ή το βαθμό στον οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει λιγότερους πόρους - εισροές για τα επίπεδα παραγωγής της (εκροές).

Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν πολλές μεταβλητές εισόδου και εξόδου, οπότε η αποδοτικότητα μιας οντότητας ή ενός συστήματος δίνεται ως εξής :

$$\text{αποδοτικότητα} = \frac{\sum (\text{συντελεστής βαρύτητας} \times \text{εκροές})}{\sum (\text{συντελεστής βαρύτητας} \times \text{εισροές})} \quad (2.2)$$

Ανάλογα με το τι μπορεί να ελέγξει μια μονάδα είναι θεμιτό να οριστεί ο προσανατολισμός για την αποδοτικότητα μιας μονάδας, με τον προσανατολισμό εισροών να είναι κατάλληλος όταν οι εισροές της DMU είναι ελέγξιμες και αντίστοιχα ο προσανατολισμός εκροών να είναι κατάλληλος όταν οι εκροές είναι ελέγξιμες.

Σχετική αποδοτικότητα

Προσανατολισμός Εισροών	Μια DMU είναι αποδοτική αν είναι αδύνατο να μειώσουμε το επίπεδο οποιασδήποτε εισροής της χωρίς να αυξήσουμε το επίπεδο τουλάχιστον μίας άλλης εισροής ή χωρίς να μειώσουμε το επίπεδο παραγωγής τουλάχιστον μιας εκροής της.
Προσανατολισμός Εκροών	Μια DMU είναι αποδοτική αν είναι αδύνατο να αυξήσουμε το επίπεδο παραγωγής κάποιας εκροής της χωρίς να μειώσουμε το επίπεδο παραγωγής τουλάχιστον μιας άλλης εισροής ή αντίστοιχα χωρίς να αυξήσουμε το επίπεδο μιας τουλάχιστον εισροής.

Τεχνική αποδοτικότητα

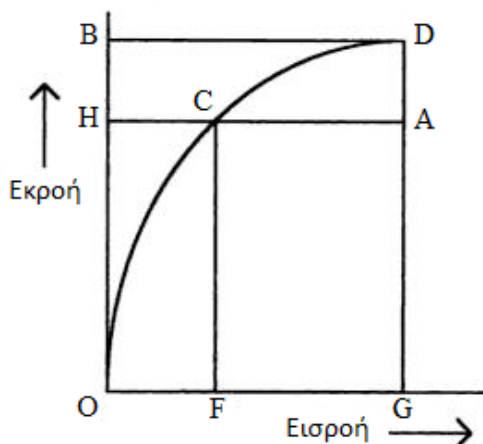
Έχει την έννοια της αδυναμίας μείωσης της εισόδου χωρίς να υπάρξει μείωση της εξόδου (ή αντίστροφα αδυναμίας αύξησης της εξόδου χωρίς να υπάρξει αύξηση της εισόδου)

<p>Τεχνική αποδοτικότητα Εκροών</p>	<p>Η τεχνική αποδοτικότητα εκροών μιας DMU είναι η μέγιστη αναλογία των παρατηρηθέντων επιπέδων εκροών τα οποία αναπαριστούν τα επίπεδα των εκροών, όταν όλοι οι εισροές είναι κατανεμημένες ακτινικά* όσο το δυνατό περισσότερο, χωρίς οποιαδήποτε φθορά στα επίπεδα εκροών.</p>
<p>Τεχνική αποδοτικότητα Εισροών</p>	<p>Υποθέτουμε ότι όλες οι εισροές μιας DMU έχουν συρρικνωθεί ακτινικά* όσο το δυνατό περισσότερο χωρίς κάποια φθορά στα επίπεδα παραγωγής των εκροών της. Η τεχνική αποδοτικότητα εισροών μιας DMU είναι η μέγιστη αναλογία οποιουδήποτε από τα προκαθορισμένα επίπεδα εισροών με τα παρατηρηθέντα επίπεδα αυτής της εισροής.</p>

*Ο όρος ακτινικά αναφέρεται στο ότι οι εισροές μπορεί να μειωθούν ή να αυξηθούν σε ίση αναλογία κατά μήκος μιας ακτίνας διερχόμενης από την αρχή των αξόνων.

Γραφική αναπαράσταση της αποδοτικότητας

Στο ακόλουθο γράφημα μπορούμε να παρατηρήσουμε τη διαφορά μεταξύ προσανατολισμού εισροών και προσανατολισμού εκροών στην μέτρηση της αποδοτικότητας, για την περίπτωση μιας μονάδας απόφασης με μια εκροή και μια εισροή.



Σχήμα 2.2 : Γραφική αναπαράσταση της αποδοτικότητας μιας μονάδας (DMU)

Η καμπύλη OD αναφέρεται στην μέγιστη παραγωγή που μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τα δεδομένα επίπεδα εισόδου. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνορο απόδοσης και ορίζει την περιοχή παραγωγικής δυνατότητας. Θα εφαρμόσουμε τους ορισμούς για την σχετική και την τεχνική αποδοτικότητα, που είχαμε αναφέρει πιο πάνω, για να μελετήσουμε την μονάδα απόφασης A που απεικονίζεται στο πιο πάνω σχήμα.

Η μονάδα A χρησιμοποιεί επίπεδο εισροών G, με αυτό το επίπεδο φαίνεται ότι θα μπορούσε να αποδίδει στο σημείο D του συνόρου απόδοσης, δηλαδή να βρίσκεται πάνω στην καμπύλη του συνόρου απόδοσης επιτυγχάνοντας έτσι την μέγιστη δυνατή απόδοση για το επίπεδο εισροών της. Αντίστοιχα θα μπορούσε να λειτουργεί με επίπεδο εισροών F χρησιμοποιώντας έτσι το ελάχιστο επίπεδο εισροών για το επίπεδο εκροών που έχει δηλαδή το C.

Για αυτόν το λόγο η μονάδα A δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αποδοτική διότι θα μπορούσε να επιτύχει καλύτερο επίπεδο εκροών χωρίς την χρήση επιπρόσθετης εισροής ή να χρησιμοποιήσει μικρότερο επίπεδο εισροών χωρίς φθορά στο επίπεδο εκροών της. Αν ένα DMU ήταν αποδοτικό τότε θα βρισκόταν πάνω στο σύνορο αποδοτικότητας και θα είχε τεχνική αποδοτικότητα 1 είτε την μετρούσαμε βάσει των εκροών της είτε βάσει των εισροών της.

Ο λόγος των ελαχίστων επιπέδων εισροών που θα μπορούσε να χρησιμοποιεί για τα επίπεδα εκροών της, με τα επίπεδα εισροών που χρησιμοποιεί στη πραγματικότητα ορίζεται ως

$$\text{Αποδοτικότητα εισόδου της DMU A} = \frac{OF}{OG} \quad (2.3)$$

Ο λόγος των επιπέδων εκροών που έχει η μονάδα A, με τα επίπεδα εκροών που έπρεπε να έχει για να είναι αποδοτική ορίζεται ως

$$\text{Αποδοτικότητα εξόδου της DMU A} = \frac{OH}{OB} \quad (2.4)$$

2.2.3 Αποδόσεις κλίμακας

Η εκτίμηση των αποδόσεων οικονομιών κλίμακας διερευνήθηκε αρχικά από τον Banker το 1984 και μπορεί να θεωρηθεί αύξουσα, φθίνουσα ή σταθερή. Ανάλογα μια μονάδα απόφασης δύναται να παρουσιάσει Σταθερές Αποδόσεις Κλίμακας (CRS), όταν πολλαπλασιάζοντας τις εισροές με έναν αριθμό α , παράλληλα πολλαπλασιάζονται και όλες οι έξοδοι με τον ίδιο αριθμό. Αντίστοιχα παρουσιάζει Μεταβαλλόμενες Αποδόσεις Κλίμακας (VRS) όταν πολλαπλασιάζοντας όλες τις εισροές με $\alpha > 1$ πολλαπλασιάζονται και οι έξοδοι με $\beta > 1$, ισχύει όμως $\beta \neq \alpha$ και διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις

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

2.3 Χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) για την μέτρηση της Τεχνικής Αποδοτικότητας εξόδου στην περίπτωση πολλαπλών εισροών και εκροών

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η σχετική τεχνική αποδοτικότητα μιας μονάδας υπολογίζεται από τον λόγο του σταθμικού αθροίσματος των εκροών προς το σταθμικό άθροισμα των εισροών, όπου οι συντελεστές βαρύτητας επιλέγονται κατάλληλα ώστε να επιτευχθεί η σχετική αποδοτικότητα της υπό εξέταση μονάδας. Αρχικά αναζητήθηκε ένα σύνολο βαρών που θα είναι κοινό για όλες τις μονάδες. Η δυσκολία όμως στον υπολογισμό της αξίας των εισροών και των εκροών αφενός και η πιθανότητα κάθε μονάδα να αξιολογεί διαφορετικά τις εισροές και τις εκροές της αφετέρου, οδήγησαν τους Charnes, Cooper και Rhodes στην δημιουργία της DEA.

Τώρα το πρόβλημα μετασχηματίζεται ως εξής:

Κάθε μονάδα επιτρέπεται να εγκρίνει ένα σύνολο βαρών που αναδεικνύει την μέγιστη αποδοτικότητα σε σύγκριση με τις άλλες μονάδες. Υπό αυτές τις συνθήκες, η αποδοτικότητα της μονάδας j_o μπορεί να ληφθεί ως λύση για το εξής πρόβλημα:

«Μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της μονάδας j_o , υπό τον περιορισμό ότι η απόδοση όλων των μονάδων πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την μονάδα»

Οι μεταβλητές του παραπάνω προβλήματος είναι τα βάρη και συνεπώς η λύση παράγει τα πλέον ευνοϊκά βάρη για την μονάδα j_o ενώ παράγει και ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας.

Ο μαθηματικός τύπος της μεθόδου για την εκτίμηση της αποδοτικότητας της μονάδας j_o συνοψίζεται λοιπόν ως εξής (Charnes, 1978):

$$\max h_o = \frac{\sum_r u_r y_{rj_o}}{\sum_i v_i x_{ij_o}} \quad (2.5)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\frac{\sum_r u_r y_{rj_0}}{\sum_i v_i x_{ij_0}} \leq 1, \text{ για κάθε μονάδα } j$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, i = 1, \dots, m$$

όπου

i αναφέρεται στις εισροές-εισόδους

j αναφέρεται στις μονάδες απόφασης

r αναφέρεται στις εκροές-εξόδους

x_{ij} είναι η i είσοδος της j μονάδας

y_{rj} είναι η r έξοδος της j μονάδας

s, m, n ο αριθμός των εξόδων, εισόδων και μονάδων αντίστοιχα

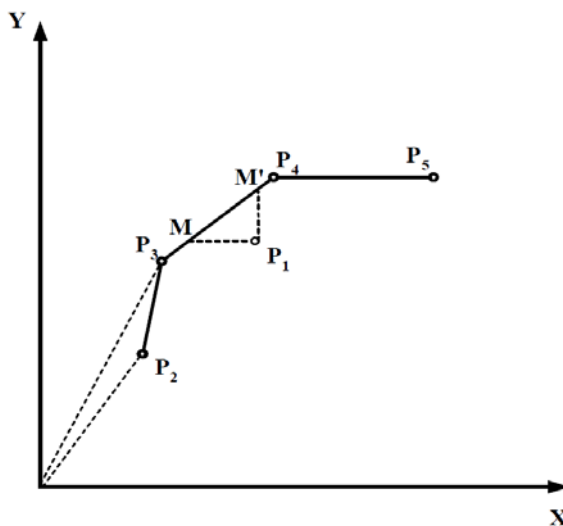
Για να χαρακτηρίσει η DEA μια μονάδα μη αποδοτική, θα πρέπει η μέθοδος να έχει καταλήξει στο συμπέρασμα πως δεν υπάρχει κανένας συνδυασμός βαρών που να ικανοποιεί τις συνθήκες αποδοτικότητας του προβλήματος, ενώ οποιαδήποτε εναλλακτική επιλογή βαρών μπορεί μόνο να χειροτερεύσει την επίδοση της μονάδας απόφασης.

2.3.1 Γραφική αναπαράσταση της μεθόδου

Η DEA αποτελεί βασικό διαγνωστικό εργαλείο, χωρίς όμως να προτείνει στρατηγικές αλλαγών ώστε μια μη αποδοτική μονάδα να γίνει πλήρως αποδοτική. Εντοπίζει ομότιμες – «προς μίμηση» μονάδες για κάθε μη αποδοτική. Εν γένει, αποσκοπεί στην δημιουργία μιας ομάδας αποδοτικών μονάδων, οι οποίες αποτελούν το αποδοτικό όριο του εκάστοτε προβλήματος. Μονάδες που αποτελούν σημεία της καμπής του ορίου αυτού ή βρίσκονται πάνω στα ευθύγραμμα τμήματα που συνδέουν τα σημεία καμπής μεταξύ τους, χαρακτηρίζονται τεχνικά αποδοτικές.

Για να αποφανθεί η DEA εάν μια μονάδα (DMU) είναι μη αποδοτική βασίζεται στη δημιουργία μιας σύνθετης μονάδας που αποτελεί τον γραμμικό συνδυασμό των εισόδων και των εξόδων άλλων μονάδων. Σκοπός είναι η εύρεση του ελάχιστου επιπέδου πόρων που απαιτεί μια μονάδα για να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, ώστε να παραχθεί ένα καθορισμένο επίπεδο εξόδων (για την περίπτωση της εξοικονόμησης εισόδων) και αντίστοιχα η εύρεση του μέγιστου επιπέδου εξόδων που μπορούν να παραχθούν από μια μονάδα που λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, δεδομένου ενός καθορισμένου επιπέδου εισόδων (για την περίπτωση της αύξησης εξόδων).

Θεωρούμε λοιπόν ένα πρόβλημα πέντε μονάδων (όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα) που έχουν μια είσοδο και μια έξοδο προκειμένου να αναπαραστήσουμε γραφικά την μέθοδο.



Σχήμα 2.3 : Γεωμετρική αναπαράσταση της DEA για πρόβλημα 5 DMU

Στο εν λόγω πρόβλημα το αποδοτικό όριο καθορίζεται από την τεθλασμένη γραμμή που διέρχεται από τις μονάδες P_1, P_2, P_3, P_4 και P_5 .

Θεωρούμε δυο ευθύγραμμα τμήματα που είναι παράλληλα προς τους άξονες, ξεκινούν από το P_1 και καταλήγουν στο τμήμα του αποδοτικού ορίου που ορίζεται από τις P_3 και P_4 . Στα σημεία τομής με το όριο, μπορούμε να ορίσουμε δύο υποθετικές μονάδες M και M' που αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των P_3 και P_4 . Παρατηρείται πως η P_1 υστερεί σε σχέση με τη M , γιατί η M παράγει την ίδια έξοδο με την P_1 καταναλώνοντας όμως λιγότερη είσοδο. Αντίστοιχα η M' παράγει μεγαλύτερη έξοδο από την P_1 , καταναλώνοντας από την άλλη την ίδια είσοδο. Για αυτούς τους λόγους, η P_1 κρίνεται από τη DEA τεχνικά μη αποδοτική.

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως μόνο η θέση μιας μονάδας δεν οδηγεί πάντοτε σε ασφαλή συμπεράσματα για την αποδοτικότητά της. Για παράδειγμα, η μονάδα P_5 (καθώς και κάθε άλλη μονάδα που τυχόν βρισκόταν πάνω στο τμήμα $P_4 P_5$), έχει έξοδο ίση με αυτή της P_4 , αλλά μεγαλύτερη είσοδο. Παρατηρούμε λοιπόν πως η P_5 αν και βρίσκεται πάνω στο αποδοτικό όριο δεν είναι αποδοτική. Οι περιπτώσεις αυτές, εξετάζονται από την DEA με έλεγχο των μεταβλητών απόκλισης των εισόδων και εξόδων.

2.3.2 Μοντέλο Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Σκοπός της DEA είναι να προσδιορίσει για κάθε μονάδα απόφασης τους συντελεστές βαρύτητας που μεγιστοποιούν την αποδοτικότητά της, διατηρώντας τις αποδοτικότητες όλων των μονάδων κάτω του 1 (για τα input oriented μοντέλα) και από 1 έως άπειρο (για τα output

oriented μοντέλα). Οι ζητούμενες μεταβλητές του προβλήματος είναι οι αποδόσεις των μονάδων απόφασης και οι συντελεστές βαρύτητας των εισροών και εκροών, ενώ δεδομένα του προβλήματος αποτελούν οι εισοδοι και έξοδοι των μονάδων απόφασης.

Τα βασικά στάδια για την εφαρμογή της DEA (Golani) είναι τα εξής

- Επιλογή των μονάδων απόφασης (DMUs) προς ανάλυση και αξιολόγηση
- Καθορισμός των μεταβλητών εισόδου και εξόδου που είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας των μονάδων απόφασης
- Εφαρμογή των επιλεγμένων μοντέλων της DEA και ανάλυση των αποτελεσμάτων

Να σημειώσουμε πως η επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών εισόδου και εξόδου αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία της μεθόδου, ώστε να οδηγηθούμε σε μια επιτυχημένη εφαρμογή, καθώς το αποτέλεσμα αξιολόγησης που θα προκύψει είναι άμεση συνάρτηση των εν λόγω μεταβλητών.

Η αρχική λίστα των πιθανών μεταβλητών θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ευρύτερη και να περιλαμβάνει μεταβλητές πλήρους ή μερικής εξάρτησης από εξωγενείς παράγοντες. Χρειάζεται να λάβουμε υπόψη πως η χρήση επιπλέον μεταβλητών θα οδηγήσει σε αύξηση των σχετικών δεικτών αποδοτικότητας και την καλύτερη διάγνωση των αιτιών έλλειψης αποδοτικότητας, όμως ταυτόχρονα θα συντελέσει στην απόκρυψη της μειωμένης αποδοτικότητας κάποιων μονάδων απόφασης. Συνεπώς η τήρηση μιας σχετικής ισορροπίας μεταξύ του πλήθους των μεταβλητών και του πλήθους των μονάδων απόφασης είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Εν γένει υπάρχουν δυο σημαντικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την επιλογή του πλήθους των μονάδων απόφασης συναρτήσει των εισόδων και των εξόδων. Πιο συγκεκριμένα, για m πλήθος εισόδων και s πλήθος εξόδων, οι Cooper (2006) και Tsolas (2010) προτείνουν πλήθος μονάδων απόφασης $\geq \max \{m * s, 3(m + s)\}$ ενώ οι Chien (2003) και Tai (2010) τουλάχιστον $2(m + s)$.

Στη συνέχεια είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι τιμές αποδοτικότητας που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της DEA ισχύουν μόνο μεταξύ των συγκεκριμένων μονάδων απόφασης. Μια πλήρως αποδοτική μονάδα απόφασης συγκρινόμενη με κάποιο άλλο δείγμα μονάδων ενδέχεται να κριθεί σαν λιγότερο αποδοτική. Πρόσθετα, εάν το πλήθος των μονάδων είναι μικρό η δυνατότητα διάκρισης μεταξύ τους μειώνεται, ενώ αντίστροφα αν οι επιλεγμένες

μεταβλητές για την σύγκριση των μονάδων έχουν μικρό πλήθος αυξάνεται η ικανότητα διάκρισης της μεθόδου.

Όσον αφορά το υπολογιστικό μέρος της μεθόδου, το αλγεβρικό πρόβλημα της DEA όπως φαίνεται από τις σχέσεις (2.5) αποτελεί ένα κλασματικό πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Προκειμένου να εφαρμοσθούν οι μέθοδοι γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει το μοντέλο αρχικά να μετατραπεί σε γραμμική μορφή και έπειτα να προχωρήσουμε στην επίλυση του.

Η γραμμική απόδοση των περιορισμών του (2.5) αναπαρίσταται στο μοντέλο (2.6). Εν γένει, για την μεγιστοποίηση ενός κλάσματος ή ενός λόγου ενδιαφέρον παρουσιάζει το σχετικό μέγεθος του αριθμητή και του παρονομαστή και όχι οι ατομικές τους τιμές. Συνεπώς η εξίσωση του παρονομαστή με μια σταθερά μας επιτρέπει να επικεντρωθούμε στην μεγιστοποίηση του αριθμητή. Με δεδομένα τα άνωθεν καταλήγουμε στο ακόλουθο μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού:

$$\max h_o = \sum_r u_r y_{rj_o} \quad (2.6)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_i v_i x_{ij_o} = 1$$

$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

Δυικό Μοντέλο

Για κάθε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού είναι εφικτό να διατυπωθεί ένα έτερο γραμμικό πρόβλημα, χρησιμοποιώντας τα ίδια δεδομένα, και η λύση, είτε με το αρχικό γραμμικό προγραμματισμό ή το δυικό του, βασίζεται στις ίδιες πληροφορίες σχετικά με το

πρόβλημα που μοντελοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, ένα δυικό μοντέλο είναι κατασκευασμένο με την λογική της ανάθεσης μιας μεταβλητής (δυική μεταβλητή) σε κάθε περιορισμό του πρωταρχικού μοντέλου και την κατασκευή ενός νέου μοντέλου για τις μεταβλητές αυτές.

Για το γενικό μοντέλο της DEA έχουμε το ακόλουθο δυικό:

Πρωτεύον Μοντέλο	Δυικό Μοντέλο
$\max h_o = \sum_r u_r y_{rj_o}$	Z
υπό τον περιορισμό	
$\sum_i v_i x_{ij_o} = 1$	λ_o
$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$	
$-u_r \leq -\varepsilon, \quad r = 1, \dots, t$	s^+
$-v_i \leq -\varepsilon, \quad i = 1, \dots, m$	s^-

όπου ε ένας πολύ μικρός θετικός ακέραιος

$$\min Z_0 - \varepsilon \sum_r s_r^+ - \varepsilon \sum_r s_r^- \quad (2.7)$$

υπό τους περιορισμούς

$$x_{ij_o} Z_0 - s_i^- - \sum_j x_{ij} \lambda_j = 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$-s_r^+ - \sum_j y_{rj} \lambda_j = y_{rj_o} \quad r = 1, \dots, t$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0$$

Z_0 χωρίς περιορισμό

Παρατηρούμε πως το πρωτεύον μοντέλο έχει $n + t + m + 1$ περιορισμούς ενώ το δυικό έχει $m + t$ περιορισμούς, με το n να είναι αισθητά μεγαλύτερο από το $m + t$ (n είναι ο αριθμός των μονάδων, t ο αριθμός των εκροών και m ο αριθμός των εισροών). Σε γενικές γραμμές, στα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού, όσο περισσότεροι είναι οι περιορισμοί τόσο πιο δύσκολη είναι και η επίλυση του προβλήματος. Ως εκ τούτου, είναι συνηθισμένο να επιλύεται το δυικό μοντέλο και όχι το πρωτεύον.

2.4 Μαθηματικά μοντέλα της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων αποτελεί εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού και έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των συνόλων παραγωγής, τα οποία χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας παραγωγικών μονάδων που χρησιμοποιούν ίδιες εισροές και παράγουν ίδιες εκροές, σε διαφορετικές, όμως ποσότητες.

Πολλαπλές εισροές και εκροές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην DEA ακόμα και με διαφορετικές μονάδες μέτρησης στην κάθε μία.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται περισσότερο:

- ο Για εντοπισμό των μη αποδοτικών DMUs
- ο Για τον προσδιορισμό των πηγών και τις ποσότητες μη αποδοτικότητας τους, για κάθε εισροή και εκροή.

Η σχετική τεχνική αποδοτικότητα μίας παραγωγικής μονάδας υπολογίζεται σχηματίζοντας τον λόγο του σταθμισμένου αθροίσματος των εκροών προς το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών, όπου οι συντελεστές βαρύτητας επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να υπολογίζεται η κατά Pareto αποδοτικότητα της υπό εξέταση παραγωγικής μονάδας.

Η τεχνική αποδοτικότητα εστιάζεται στα φυσικά επίπεδα των εκροών που επιτυγχάνονται, δεδομένων των φυσικών επιπέδων των εισροών σε αντίθεση με την κατανομητική αποδοτικότητα (allocative efficiency) η οποία αναφέρεται στο κατάλληλο μείγμα των εισροών, δεδομένων των τιμών των εκροών. Η μεθοδολογία της DEA επιλύει το ακόλουθο μη γραμμικό κλασματικό πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού για κάθε DMU.

2.4.1 Μοντέλο CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o}} \quad (\text{Μοντέλο CCR}) \quad (2.8)$$

υπό τους περιορισμούς

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

$$\forall u_r, v_i \geq 0$$

Όπου

o είναι η μονάδα προς αξιολόγηση

$j = 1, \dots, n$ πλήθος των παραγωγικών μονάδων

$r = 1, \dots, s$ αριθμός εκροών

$i = 1, \dots, m$ αριθμός εισροών

x_{ij} εισροή i της μονάδας j

y_{rj} εκροή r της μονάδας j

u_r, v_i συντελεστές για την εισροή i και την εκροή r που μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση της μονάδας προς αξιολόγηση

Η σχετική αποδοτικότητα κάθε μονάδας επιτυγχάνεται θεωρώντας στο πρόβλημα CCR τους συντελεστές u_r, v_i σαν μεταβλητές και μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα των μονάδων απόφασης κάτω από τον περιορισμό ότι καμία με το ίδιο σύνολο συντελεστών βαρύτητας δεν θα έχει αποδοτικότητα μεγαλύτερη από την μονάδα.

Το μοντέλο CCR μπορεί να μετατραπεί σε γραμμικό πρόβλημα θέτοντας τον παρονομαστή ίσο με κάποια σταθερά και μεγιστοποιώντας τον αριθμητή. Έτσι χρησιμοποιώντας τους πιο κάτω μετασχηματισμούς :

$$v_j = t v_j \quad j = 1, \dots, m \text{ εισροές} \quad (2.9)$$

$$u_r = t u_r \quad r = 1, \dots, s \text{ εκροές} \quad \text{και } t > 0 \quad (2.10)$$

Ορίζοντας το σταθμικό άθροισμα των εισροών ίσο με τη μονάδα προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι εκροές προκύπτει το ακόλουθο ισοδύναμο γραμμικό πρόβλημα:

Πρωτεύον μοντέλο

$$\max Y_o = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} \quad (2.11)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad (\text{Περ.1})$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (\text{Περ.2})$$

$$\mu_r, v_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m \quad r=1, \dots, s$$

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω πολλές φορές είναι πιο εύκολο να υπολογισθεί το δυικό μοντέλο ενός προβλήματος. Θεωρώντας τη μεταβλητή Θ_o αντίστοιχη του περιορισμού (Περ.1) και την μεταβλητή λ_j αντίστοιχη του περιορισμού (Περ.2) καταλήγουμε σε ένα δυικό πρόβλημα που προσπαθεί να καταλήξει σε μια σύνθετη μονάδα απόφασης με εισροές και εκροές εξαρτώμενες από την λ_j , η οποία περιλαμβάνει την υπό αξιολόγηση μονάδα. Επομένως έχουμε

Δυικό μοντέλο

$$\min \Theta_o$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \quad r=1, \dots, s$$

$$x_{io}\Theta_o - \sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$\lambda_j \geq 0$ και Θ_o χωρίς περιορισμό

Με την άνωθεν προσέγγιση του προβλήματος καταλήγουμε σε μονάδες απόφασης που ανήκουν στο όριο της αποδοτικότητας χωρίς όμως να μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε και σχετικά αποδοτικές. Η εισαγωγή αυστηρά θετικών περιορισμών των μεταβλητών στο μοντέλο (CCR) οδήγησε σε μια νέα εκδοχή του μοντέλου η οποία ξεπερνά το προαναφερθέν εμπόδιο.

Πρωτεύον μοντέλο (CCR προσανατολισμένο στις εισόδους - CRS)

Υπολογίζει τις σχετικές αποδόσεις ελαχιστοποιώντας τις εισόδους και διατηρώντας τις εξόδους σταθερές

$$\max Y_o = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} \quad (2.11)$$

υπό τους περιορισμούς

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

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

$$\mu_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s$$

όπου ε ένας πολύ μικρός θετικός ακέραιος (πρακτικά από 10^{-6} έως 10^{-8}) ο οποίος εισάγεται για να εξασφαλίσει ότι όλοι οι συντελεστές θα έχουν θετικές τιμές σαν λύση

Δυϊκό μοντέλο

$$\min Z_o = \Theta_o - \varepsilon \left(\sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (2.12)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, \dots, s$$

$$x_{io} \Theta_o - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0$$

Πρωτεύον μοντέλο (CCR προσανατολισμένο στις εξόδους - CRS)

Υπολογίζει τις σχετικές αποδόσεις ελαχιστοποιώντας τις εισόδους και διατηρώντας τις εξόδους σταθερές

$$\min Y_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (2.13)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1$$

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

$$\mu_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, m \quad r = 1, \dots, s$$

Δυικό μοντέλο

$$\max Z_o = \Theta_o + \varepsilon \left(\sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (2.14)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad r = 1, \dots, s$$

$$y_{ro}^{\Theta_o} - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + s_i^+ \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0$$

2.4.2 Μοντέλο BCC (Banker, Charnes, Cooper)

Για να καταλήξουμε στο μοντέλο BCC θα εφαρμόσουμε μια νέα μεταβλητή στο μοντέλο CCR ως εξής

Έστω $k = \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0$ και διαιρώντας τους περιορισμούς με αυτή τη μεταβλητή καταλήγουμε

στην ακόλουθη μορφή

$$\min Z_o = \Theta_o - \varepsilon \left(\sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (2.15)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} - \lambda_j / k - s_r^+ / k = 1/k - y_{ro} \quad r = 1, \dots, s$$

$$\Theta_o / k x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j / k - s_i^- / k = 0 \quad i = 1, \dots, m$$

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

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0$$

Πρωτεύον μοντέλο (BCC προσανατολισμένο στις εισόδους - VRS)

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

υπό τους περιορισμούς

$$\Theta_o / k x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = 0 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = 0 \quad r = 1, \dots, s$$

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

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0$$

Δυικό μοντέλο

$$\max Y_o = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} - u_o \quad (2.16)$$

υπό τους περιορισμούς

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_o \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$\mu_r > \varepsilon$$

Όπου η βέλτιστη τιμή της u_o χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των αποδόσεων οικονομιών κλίμακος ως εξής

- $u_o > 0$: φθίνουσες αποδόσεις οικονομιών κλίμακος
- $u_o = 0$: σταθερές αποδόσεις οικονομιών κλίμακος
- $u_o < 0$: αύξουσες αποδόσεις οικονομιών κλίμακος

2.4.3 Σύγκριση των μοντέλων CCR και BCC

Το μοντέλο CCR υπολογίζει την Συνολική Τεχνική Αποδοτικότητα (Overall Technical Efficiency - TE) των μονάδων απόφασης. Προσδιορίζει το βαθμό στον οποίο ένα παραγωγικό σύστημα προσεγγίζει το ελάχιστο κόστος ανά μονάδα προϊόντος, δηλαδή μπορεί να εκτιμηθεί στο κατά πόσο μπορούν να παραχθούν επιπλέον εκροές (προϊόντα ή υπηρεσίες) με δεδομένο

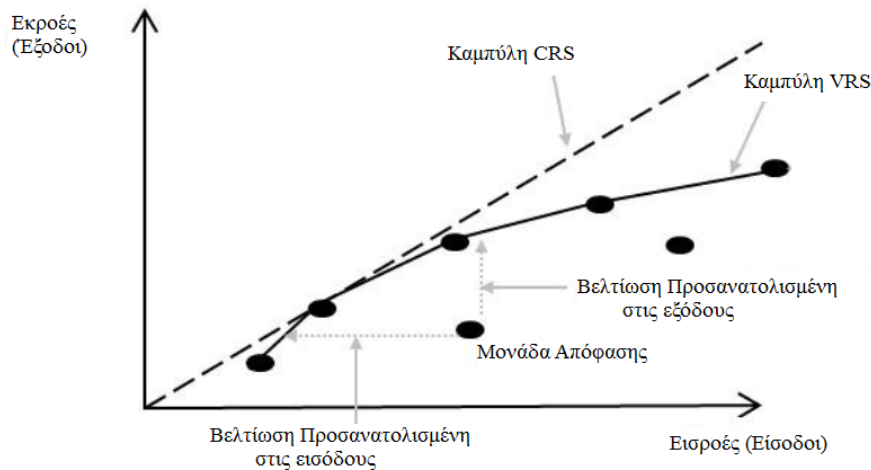
το επίπεδο των εισροών, ή εναλλακτικά αν μπορούν να ελαττωθούν οι χρησιμοποιούμενες εισροές με δεδομένες τις παραγόμενες εκροές. Απαρτίζεται από την Καθαρά Τεχνική Αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency - PTE) και την Αποδοτικότητα Κλίμακας (Scale Efficiency - SE).

Το μοντέλο BCC υπολογίζει μόνο την Καθαρά Τεχνική Αποδοτικότητα (PTE) της κάθε μονάδας απόφασης, η οποία είναι μεγαλύτερη ή ίση από την TE του μοντέλου CCR, καθώς η SE είναι ένας αριθμός μικρότερος ή ίσος της μονάδας και δείχνει κατά πόσο το μέγεθος της μονάδας απόφασης είναι βέλτιστο ή όχι.

Πιο συγκεκριμένα, η Αποδοτικότητα Κλίμακας (SE) της κάθε μονάδας απόφασης προκύπτει από το πηλίκο της Συνολικής Τεχνικής Αποδοτικότητας και της Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας :

$$SE = \frac{TE}{PTE} \text{ και } PTE \geq TE \quad (2.17)$$

Η γραφική αναπαράσταση των δυο μοντέλων βοηθά στην διάκριση μεταξύ των δυο προσεγγίσεων καθώς η περιβάλλουσα καμπύλη που τα αποδίδει για το CCR είναι σταθερής κλίσης (Σταθερές Αποδόσεις Κλίμακας - CRS) και μεταβλητής κλίσης (Μεταβαλλόμενες Αποδόσεις Κλίμακας - VRS) για το BCC.



Σχήμα 2.4 : Γραφική διάκριση των μοντέλων CCR και BCC της μεθόδου DEA

Στην περίπτωση του μοντέλου CCR η καμπύλη της περιβάλλουσας έχει τη μορφή ευθείας γραμμής που διέρχεται από τον άξονα και την πρώτη πλήρως αποδοτική μονάδα απόφασης. Μοντέλα που υποθέτουν καμπύλη περιβάλλουσας με σταθερή κλίση (CRS) θεωρούν πως μια αύξηση των εισροών των μονάδων απόφασης θα οδηγήσει σε ανάλογη αύξηση και των εκροών τους. Δηλαδή, οι μικρού μεγέθους μονάδες μπορούν να παράγουν με την ίδια αναλογία εισροών και εκροών όπως και οι μεγαλύτερες μονάδες καθώς δεν υφίσταται η έννοια της οικονομίας κλίμακας εξαιτίας του μεγέθους της μονάδας απόφασης.

Στις περιπτώσεις των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας κάτι τέτοιο δεν έχει ισχύ. Για παράδειγμα, σε μια αύξουσα οικονομία κλίμακας διπλασιάζοντας τις εισόδους σε μια μονάδα απόφασης, τότε θα παράγει περισσότερο από το διπλάσιο στις εξόδους της δεδομένου ότι θα είναι σε θέση να κατανείμει τους πόρους της πιο αποτελεσματικά. Όταν όμως το μέγεθος της μονάδας είναι πολύ μεγάλο είναι δυνατό να επέλθει φθίνουσα οικονομία κλίμακας σύμφωνα με την οποία διπλασιάζοντας τις εισόδους θα παράγονται λιγότερα από το διπλάσιο στις εξόδους της.

Παρατηρούμε λοιπόν πως η επιλογή του βέλτιστου μεγέθους για τις μονάδες απόφασης είναι μια σημαντική παράμετρος, ούτε πολύ μικρό στην περίπτωση που βρίσκεται σε περιοχή αύξουσας απόδοσης ούτε και πολύ μεγάλο εάν βρίσκεται σε περιοχή φθίνουσας απόδοσης. Συμπεραίνουμε επομένως πως αν το μέγεθος της μονάδας απόφασης επηρεάζει την απόδοση της (με αύξοντα ή φθίνοντα ρυθμό) το μοντέλο CRS κρίνεται ακατάλληλο και μόνο το VRS μπορεί να αποδώσει την σχέση μεγέθους και αποδοτικότητας.

Ενώ το μοντέλο CCR αναδεικνύει τη Συνολική Τεχνική Ανεπάρκεια της κάθε μονάδας, το μοντέλο BCC διακρίνει μεταξύ τους την Τεχνική Αποδοτικότητα και την Αποδοτικότητα

Κλίμακας. Με δεδομένη αυτή τη διάκριση, θεωρώντας ότι η αποδοτικότητα οφείλεται σε διαφορετικά προσόντα και στο μέγεθος της μονάδας και με την επίπτωση του μεγέθους κλίμακας να αποδίδεται από την Αποδοτικότητα Κλίμακας, καταλήγουμε πως ο δείκτης αποδοτικότητας ΡΤΕ μπορεί να ερμηνευτεί ως ικανότητα διοίκησης της μονάδας απόφασης.

Όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα στο κείμενο η αποδοτικότητα μιας μονάδας μπορεί να είναι προσανατολισμένη στις εισροές είτε στις εκροές, ανάλογα με τον στόχο που επιθυμεί να επιτύχει η εξεταζόμενη μονάδα.

Η προσανατολισμένη στις εισόδους (input oriented) αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας A , είναι η σχετική παραγωγικότητα της μονάδας ως προς την παραγωγικότητα της ιδανικής μονάδας A^* , η οποία παράγει την ίδια ποσότητα εκροής με την A ενώ λειτουργεί στο ανώτατο όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων της.

Η προσανατολισμένη στις εξόδους (output oriented) αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας A , είναι η σχετική αποδοτικότητα της μονάδας ως προς την ιδανική μονάδα A^* , η οποία χρησιμοποιεί την ίδια ποσότητα εισροής με την A ενώ λειτουργεί στο ανώτατο όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων της.

Η αποδοτικότητα στα output oriented μοντέλα αρμόζει καλύτερα για τις περιπτώσεις κρατικών φορέων, ειδικά όσων παρέχουν υπηρεσίες, όπου το ζητούμενο είναι η αύξηση της απόδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμός για τις εισροές (πχ. προϋπολογισμός). Από την άλλη πλευρά, σε παραγωγικούς κλάδους όπως η βαριά βιομηχανία εφαρμόζεται με καλύτερα αποτελέσματα η input oriented αποδοτικότητα καθώς βασικό μέλημα των μονάδων είναι ο προσδιορισμός του επιθυμητού επιπέδου εκροών και σε δεύτερη φάση οι ποσότητες αυτές να παράγονται με όσο το δυνατόν λιγότερες εισροές.

Ο προσανατολισμός που θα εφαρμοστεί στο μοντέλο σχετίζεται με την κατεύθυνση που μια μη αποδοτική μονάδα προσεγγίζει το αποδοτικό όριο (καμπύλη CRS ή VRS) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Αν σκοπός της μονάδας απόφασης είναι η αύξηση των εξόδων διατηρώντας τις εισόδους σταθερές έχουμε output orientation και αν στοχεύει στη μείωση των εισόδων με σταθερές τις εξόδους έχουμε input orientation κατά τη διαδικασία βελτιστοποίησης της μονάδας.

Ο προσανατολισμός δεν έχει τον ίδιο αντίκτυπο στα δυο μοντέλα. Στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων κλίμακας (μοντέλο CCR) και οι δυο προσανατολισμοί οδηγούν στα ίδια αποτελέσματα στην περίπτωση όμως των μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (μοντέλο

BCC) ο προσανατολισμός επιλέγεται με βάση το εάν μια παραγωγική μονάδα επηρεάζει πρωτίστως τις εισροές ή τις εκροές της.

Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μοντέλων CCR και BCC

Ένα ζήτημα που χρήζει προσοχής είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης των μοντέλων και τα βασικά στοιχεία που πρέπει να εμφανίζονται κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αξιολόγησης για κάθε μοντέλο παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα

Μοντέλο CCR	Μοντέλο BCC
Τεχνική Αποδοτικότητα για κάθε μονάδα απόφασης	Βέλτιστο μέγεθος για κάθε μονάδα απόφασης
Ποσοστιαίες αυξήσεις των εξόδων ή μειώσεις των εσόδων ώστε η μη αποδοτική μονάδα απόφασης να γίνει αποδεκτή σε σύγκριση με τις ομότιμές της	Καθαρή Τεχνική Αποδοτικότητα για κάθε μονάδα απόφασης (διαφέρει ανάλογα με τον προσανατολισμό του μοντέλου input/output oriented)
Πλήρως αποδοτικές ομότιμες μονάδες απόφασης για τις μη αποδοτικές	Αποδοτικότητα Κλίμακας για κάθε μονάδα απόφασης (με τη βοήθεια του CCR)
Συντελεστές βαρύτητας των μεταβλητών του γραμμικού μοντέλου της DEA, όπως προκύπτουν από την επίλυση των γραμμικών εξισώσεων και καταδεικνύουν τις σημαντικές μεταβλητές για κάθε μονάδα απόφασης	

Πίνακας 2.1: Αποτελέσματα των μοντέλων CCR και BCC

Συνοπτικά, σε κάθε μοντέλο θα πρέπει να παρουσιάζεται η κατάταξη των μονάδων απόφασης με βάση το αποτέλεσμα αποδοτικότητας, καθώς και η συχνότητα εμφάνισης των πρωτευσάντων μονάδων σε όλα τα μοντέλα ώστε να βεβαιώνεται ποιες μονάδες είναι πλήρως αποδοτικές ανεξαρτήτως του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση τους.

2.5 Βελτιστοποίηση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Προκειμένου να καταλήξει η DEA στη βέλτιστη κατάταξη των μονάδων απόφασης, υπάρχουν οι ακόλουθες τεχνικές που επιτυγχάνουν καλύτερη διάκριση μεταξύ των μονάδων, καθώς και συμμετοχή όσο το δυνατόν περισσότερων μεταβλητών στο τελικό αποτέλεσμα.

Τεχνική Πίνακα Διασταυρούμενων Αποδόσεων (Cross Efficiency Matrix)

Πρόκειται για έναν πίνακα $N \times N$ (N το πλήθος των μονάδων απόφασης), οποίος δίνει μια συσχέτιση της σχετικής αποδοτικότητας μιας μονάδας με τις υπόλοιπες μονάδες του προβλήματος. Υπολογίζοντας την μέση τιμή αποδοτικότητας κάθε στήλης του πίνακα, προκύπτει ένα μέτρο αξιολόγησης της μονάδας της στήλης από τις υπόλοιπες μονάδες. Στην περίπτωση που μια πλήρως αποδοτική μονάδα παρουσιάζει μικρή μέση τιμή στήλης, είναι πιθανό να έχει χρησιμοποιήσει κάποια ιδιαιτερότητα των συντελεστών βαρύτητας ώστε να χαρακτηριστεί πλήρως αποδοτική. Ενώ, αν η ίδια μονάδα εμφανίζει μεγάλο μέσο όρο στήλης πιθανότατα έχει χρησιμοποιήσει πολλές καλές πρακτικές.

Κατανομή Εικονικών Εισόδων και Εξόδων

Η εικονική εισόδος/εξόδος μιας μονάδας απόφασης ισούται με το γινόμενο της τιμής εισόδου/εξόδου και του αντίστοιχου βέλτιστου συντελεστή βαρύτητας. Οι τιμές αυτές μεταφέρουν πληροφορία για την σημαντικότητα που αποδίδει μια μονάδα απόφασης σε συγκεκριμένες εισόδους και εξόδους προκειμένου να επιτύχει την μέγιστη αποδοτικότητα της. Οι υψηλές εικονικές τιμές δίνουν ενδείξεις ύπαρξης επιμέρους καλής πρακτικής στη συγκεκριμένη μεταβλητή της μονάδας, αλλά και συνολικής καλής πρακτικής. Όταν δυο διαφορετικές πλήρως αποδοτικές μονάδες απόφασης έχουν υψηλές εικονικές τιμές σε διαφορετικές εισόδους και εξόδους συμπεραίνουμε πως έχουν καλές πρακτικές σε διαφορετικό σημείο της λειτουργίας τους. Σε μια τέτοια περίπτωση καλό θα ήταν να ανταλλάξουν τις καλές τους πρακτικές ώστε να γίνουν ακόμη πιο αποδοτικές.

Περιορισμοί Συντελεστών Βαρύτητας

Προκειμένου να επιτευχθεί επιπλέον διακριτότητα (ταξινόμηση) στα αποτελέσματα της σχετικής αποδοτικότητας των μονάδων και να αποκαλυφθούν ποιες μονάδες είναι πραγματικά πλήρως αποδοτικές, προτείνεται η χρήση πρόσθετων περιορισμών. Συχνές περιπτώσεις περιορισμών έχουμε στις εξής καταστάσεις:

- Υπάρχει μια γνωστή σχέση μεταξύ των συντελεστών βαρύτητας των μεταβλητών εισόδου.
- Υπάρχει μια κατευθυντική σχέση μεταξύ των μεταβλητών εξόδου, αφού υπάρχει καθαρή προτίμηση μιας εξόδου έναντι κάποιας άλλης.
- Περιορίζεται το εύρος χρήσης των συντελεστών βαρύτητας σε μερικές μόνο μεταβλητές. Όταν δεν τίθενται όρια στους συντελεστές βαρύτητας, κάποιες μονάδες μπορεί να αξιολογηθούν από ένα υποσύνολο των μεταβλητών εισόδων και εξόδων καλύπτοντας ενδεχομένως σοβαρές ελλείψεις αποδοτικότητας.

Πρέπει να έχουμε υπόψη πως εισάγοντας περιορισμούς στην DEA ενδέχεται να υπάρξει μείωση των αποτελεσμάτων σχετικής αποδοτικότητας σε σχέση με την απουσία των περιορισμών, καταλήγουμε όμως σε ένα δικαιότερο αποτέλεσμα δεδομένου ότι στη διαμόρφωση της τελικής αξιολόγησης λαμβάνονται υπόψη περισσότερες μεταβλητές εισόδου-εξόδου. Βέβαια η αυξημένη χρήση περιορισμών μπορεί να οδηγήσει το γραμμικό σύστημα της DEA σε μη εφικτή λύση.

2.6 Πεδίο εφαρμογών της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Η DEA παρουσιάζει σαν μεθοδολογία ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής. Για παράδειγμα, έχουν γίνει διάφορες μελέτες σχετικά με τις τράπεζες, τη βιοποιέσηχανία, τις παροχές υγείας, την ανάπτυξη λογισμικού, την αξιολόγηση της διοίκησης οργανισμών, εμπορικά καταστήματα ακόμη και αλυσίδες εστιατορίων. Αξίζει να σημειωθεί πως στο βιβλίο «Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications» των Charnes, Cooper, Lewin και Seiford παρουσιάζονται αρκετές εφαρμογές της DEA.

2.6.1 Πλεονεκτήματα της DEA

Μετά την παρουσίαση της το 1978 και την εφαρμογή της σε πολλά διαφορετικά πεδία, η DEA αναγνωρίστηκε ως μια εύχρηστη μεθοδολογία για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας λειτουργικών διαδικασιών λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει.

- Μας επιτρέπει να διαχειριστούμε μεγάλο όγκο δεδομένων με πολλές εισόδους και εξόδους.
- Οι εισροές και οι εκροές που θα χρησιμοποιηθούν μπορούν να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης (πχ χρόνος, ενέργεια, χρηματικές μονάδες κλπ.).
- Σαν μεθοδολογία δεν χρειάζεται να θεσπίσει φόρμα συσχέτισης των εισροών και εκροών ή εκ των προτέρων βάρη σε αυτές.
- Απαιτούνται λίγες παραδοχές και η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιπτώσεις μελετών κατά τις οποίες είναι πολύπλοκη η φύση και η σχέση μεταξύ των εισροών και εκροών της μονάδας απόφασης.
- Στην εκτίμηση δεν επιδρούν καθόλου υποκειμενικοί παράγοντες, ούτε υπάρχει ανάγκη μετατροπής των δεδομένων σε κάποιο σύστημα αξιών.
- Αναγνωρίζονται οι αποδοτικές μονάδες απόφασης (DMUs) που καθορίζουν το άνω όριο αποδοτικότητας.
- Οι μονάδες απόφασης (DMUs) συγκρίνονται απευθείας με ανταγωνιστικές DMUs.
- Ποσοτικοποιείται η έλλειψη αποδοτικότητας των υπόλοιπων μονάδων απόφασης, αναγνωρίζοντας τις ομότιμες αποδοτικές, δίνοντας πληροφορίες για τις απαιτούμενες αλλαγές στις εισόδους και εξόδους ώστε να γίνουν αποδοτικές.

- Η μέθοδος χρησιμοποιεί κοινές μεθόδους γραμμικού προγραμματισμού για τον καθορισμό και σύγκριση ομοειδών συνόλων για το κάθε σύστημα που αποτιμάται.

2.6.2 Μειονεκτήματα της DEA

Κάποια από τα πλεονεκτήματα παράλληλα μπορεί να λειτουργούν και σαν μειονεκτήματα της μεθοδολογίας. Για να αποτελέσει η DEA ένα χρήσιμο εργαλείο θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων και ο ερευνητής να λάβει υπόψη του τις παρακάτω παραμέτρους στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Cooper, Seiford and Tone) . Πιο αναλυτικά:

- Ο υπολογισμός που γίνεται αφορά τις τιμές σχετικής αποδοτικότητας, καθώς γίνεται συγκριτική αξιολόγηση των μονάδων λήψης αποφάσεων, επομένως συγκλίνει δύσκολα σε μια ακριβή εκτίμηση της απόλυτης αποτελεσματικότητας. Ενδέχεται αποδοτικές μονάδες του δείγματος ενώ αποδίδουν ικανοποιητικά σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους, στην πραγματικότητα να αποδίδουν μέτρια και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεν είναι εφικτό να γενικευτούν με ασφάλεια.
- Η μέθοδος δεν μπορεί να προτείνει με ποιο τρόπο θα μπορούσαν να ανακατανεμηθούν οι συνολικοί πόροι μιας επιχείρησης μεταξύ των μονάδων λήψης αποφάσεων της επιχείρησης ώστε η συνολική αποδοτικότητα της επιχείρησης να είναι η μέγιστη δυνατή για τα δεδομένα εισόδου – εξόδου της.
- Τέλος, επειδή η DEA είναι μια μη παραμετρική τεχνική, η πραγματοποίηση τεστ στατιστικών υποθέσεων είναι δύσκολη και σ' αυτό τον τομέα έχει στραφεί το ερευνητικό ενδιαφέρον.

2.7 Γενικές παρατηρήσεις για την Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων

Συμπερασματικά ανακεφαλαιώνοντας όσα έχουν αναφερθεί ως τώρα, προκύπτει πως η DEA αποτελεί μια πρωτοποριακή προσέγγιση για τη μέτρηση της σχετικής

αποτελεσματικότητας παραγωγικών μονάδων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητο να συνυπολογιστούν στο μαθηματικό μοντέλο πολλές μεταβλητές εισροών / εκροών ή όταν οι μονάδες αξιολογούν με διαφορετικό τρόπο τις εισροές / εκροές. Αν ξεπεραστεί το αρχικό στάδιο της δημιουργίας του συνόλου των μεταβλητών μέτρησης, τότε η DEA βασιζόμενη στο κοινό σύνολο συντελεστών βαρύτητας που έχουμε επιλέξει για την εκτίμηση των μεταβλητών μέτρησης, αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για την αξιολόγηση της σχετικής απόδοσης μιας μονάδας απόφασης. Πρόσθετα, μέσα από το σύνολο των υπό ανάλυση μονάδων, μπορεί να προσδιορίσει για κάθε αναποτελεσματική μονάδα απόφασης, ποιες από τις υπόλοιπες μονάδες αποτελούν το σύνολο μονάδων ταιριάσματος για αυτήν (αποτελεσματικές μονάδες των οποίων την απόδοση μπορεί να προσεγγίσει) καθώς και τους στόχους που πρέπει να έχει αυτή η μονάδα για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η ευελιξία που παρέχει η DEA, όσον αφορά την επιλογή των βαρών από κάθε μονάδα απόφασης, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα. Μια μονάδα μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική όχι λόγω του αποδοτικού τρόπου λειτουργίας της, αλλά διότι αυτό προέκυψε από μια ευνοϊκή επιλογή βαρών κατά τη διαδικασία επίλυσης με βάση την προσέγγιση DEA, τοποθετώντας το μέγιστο βάρος στον υψηλότερο δείκτη αποδοτικότητας για ένα ζεύγος εισροών / εκροών και το ελάχιστο στις υπόλοιπες μεταβλητές της. Το εν λόγω ζήτημα μπορεί να αντιμετωπιστεί περιορίζοντας τις τιμές των βαρών. Πιο συγκεκριμένα, ορίζοντας τόσο ένα ελάχιστο βάρος για κάθε μεταβλητή εισροών/εκροών (διασφαλίζοντας έτσι ότι κάθε μεταβλητή του προβλήματος θα διαδραματίζει κάποιο ρόλο στον προσδιορισμό του μέτρου αποτελεσματικότητας των μονάδων) όσο και ένα μέγιστο όριο στα βάρη, αποκλείοντας έτσι το ενδεχόμενο υπερεκτίμησης κάποιας από τις μεταβλητές εισροών / εκροών. Ζητούμενο βέβαια παραμένει η εξασφάλιση ενός κοινού συνόλου βαρών για όλες τις μονάδες απόφασης.

Η DEA διακρίνει τις μονάδες απόφασης σε αποδοτικές και μη αποδοτικές. Βέβαια ο χαρακτηρισμός μιας μονάδας ως αποδοτικής είναι δυνατόν να αμφισβητηθεί αφού κάθε διαχειριστής μπορεί να σταθμίσει τις εισροές και τις εκροές με διαφορετικά βάρη, σύμφωνα με την εμπειρία του και τις προσωπικές του εκτιμήσεις όσον αφορά την σημαντικότητα τους. Έτσι μια μη αποδοτική μονάδα για την DEA μπορεί να φαίνεται ως αποδοτική. Αντίθετα, ο χαρακτηρισμός μιας μονάδας ως μη αποδοτικής δεν μπορεί να είναι αμφισβητήσιμος, αφού η αποδοτικότητα της υπολογίζεται πάντοτε υπό τους πιο ευνοϊκούς όρους για την μονάδα της οποίας υπολογίζεται η αποδοτικότητα.

Πρόσθετα, όταν ο αριθμός των μονάδων είναι μικρός σε σχέση με τον αριθμό των εισροών και των εκροών η DEA δεν μπορεί να διαχωρίσει με αποτελεσματικό τρόπο ποιες μονάδες είναι αποδοτικές και ποιες όχι. Γενικά, σε μια ανάλυση που περιλαμβάνει t μεταβλητές εισόδου και m μεταβλητές εξόδου θα έχουμε τουλάχιστον $t \times m$ αποτελεσματικές μονάδες. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι προκειμένου η μέθοδος να έχει κάποια διακριτική ικανότητα θα πρέπει ο αριθμός των υπό ανάλυση μονάδων απόφασης να είναι σημαντικά μεγαλύτερος από $t \times m$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Διυλιστήριο Πετρελαίου

3.1 Εισαγωγή

Το διυλιστήριο πετρελαίου είναι μια βαριά εγκατάσταση βιομηχανικής επεξεργασίας όπου επεξεργάζεται αργό πετρέλαιο. Το αργό πετρέλαιο διυλίζεται σε πιο χρήσιμα προϊόντα (παράγωγα) όπως νάφθα, βενζίνη, καύσιμο ντίζελ, άσφαλτος, πετρέλαιο θέρμανσης, κηροζίνη και υγραέριο. Τα διυλιστήρια πετρελαίου είναι τυπικά μεγάλα, εκτεταμένα βιομηχανικά συγκροτήματα με εκτεταμένες σωληνώσεις που μεταφέρουν ρευστά μεταξύ μεγάλων μονάδων χημικής επεξεργασίας. Τα διυλιστήρια πετρελαίου χρησιμοποιούν υψηλή τεχνολογία και μπορούν να θεωρηθούν ως τύποι χημικών εγκαταστάσεων. Η τροφοδοσία του αργού (ακατέργαστου) πετρελαίου επεξεργάζεται τυπικά από μια εγκατάσταση παραγωγής πετρελαίου. Υπάρχει συνήθως μια δεξαμενή καυσίμου στο διυλιστήριο πετρελαίου ή κοντά σε αυτό για αποθήκευση του εισερχομένου αργού πετρελαίου καθώς και των χύμα υγρών προϊόντων. Ένα διυλιστήριο πετρελαίου θεωρείται ως βασικό τμήμα της καθετοποιημένης πετρελαϊκής βιομηχανίας.

3.2 Αργό πετρέλαιο

Το αργό πετρέλαιο (Crude Oil) είναι ένα πολυσύνθετο μίγμα πάρα πολλών ουσιών, συνήθως υδρογονανθρακικού τύπου, που καλύπτουν μία πολύ μεγάλη περιοχή χημικών ενώσεων, από τον ελαφρύτερο παραφινικό υδρογονάνθρακα με ένα άτομο άνθρακα, το

μεθάνιο, μέχρι τις πολύπλοκες ασφατικές ενώσεις. Ως εκ τούτου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές, αφού πρέπει πρώτα να επεξεργαστούν στο διυλιστήριο με τις κατάλληλες διεργασίες, για να παράγουν μία σειρά προϊόντων συγκεκριμένων ποιοτικών προδιαγραφών. Αυτά τα προϊόντα χρησιμοποιούνται ως καύσιμα κίνησης (βενζίνες, κηροζίνη, ντίζελ), για λόγους θέρμανσης (ντίζελ, LPG), για την πετροχημική βιομηχανία, καθώς επίσης και σαν ειδικά προϊόντα (διαλύτες, κοκ κ.α).

Τα Αργό πετρέλαιο έχει τις ακόλουθες φυσικές ιδιότητες:

- Είναι ελαιώδες και γενικά είναι λεπτόρρευστο.
- Είναι εύφλεκτο με flash point μικρότερο των 22°C.
- Έχει βαριά χαρακτηριστική μυρωδιά.
- Το χρώμα του κυμαίνεται ανάλογα με την προέλευση του και είναι συνήθως καστανόμαυρο (μπορεί να ποικίλει από κίτρινο, σκούρο κόκκινο, έως μαύρο).
- Είναι ελαφρύτερο από το νερό και δεν διαλύεται σε αυτό.

Μερικές από τις βασικές ιδιότητες του αργού πετρελαίου είναι:

- Το ειδικό του βάρος είναι πάντα μικρότερο από 1 (0,80 – 0,90). Μικρό ειδικό βάρος έχουν τα αργά με μεγάλη περιεκτικότητα σε ελαφρά κλάσματα (παραφινικής βάσης), ενώ μεγάλο ειδικό βάρος αυτά με μικρή περιεκτικότητα σε ελαφριά (ασφαλτικής βάσης).
- Το ιξώδες του κυμαίνεται σε μεγάλη κλίμακα ανάλογα με την σύστασή του.
- Το σημείο ροής του είναι συνήθως κάτω του μηδενός.
- Η τάση ατμών του είναι από ασήμαντη μέχρι περίπου εκείνης των βενζινών.
- Το τελικό σημείο βρασμού του χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της απόδοσης των προϊόντων που διαχωρίζονται κατά την απόσταξη του αργού.

Οι υδρογονάνθρακες είναι κυρίως παραφινικού τύπου που συγκεντρώνονται συνήθως στους χαμηλού σημείου βρασμού υδρογονάνθρακες, ναφθενικού και αρωματικού τύπου στους μέσου σημείου βρασμού και ασφαλτικού τύπου στους υψηλού σημείου βρασμού υδρογονάνθρακες. Στο αργό πετρέλαιο υπάρχουν επίσης μικρές συγκεντρώσεις και άλλων ενώσεων όπως, θειούχων, αζωτούχων, οξυγονούχων και ενώσεις μετάλλου. Τα περισσότερα

από αυτά τα συστατικά είναι ανεπιθύμητα είτε γιατί δημιουργούν προβλήματα στην επεξεργασία του αργού, είτε γιατί υποβαθμίζουν την ποιότητα των προϊόντων και για αυτό πρέπει με κατάλληλες κατεργασίες να αφαιρεθούν.

- **Θειούχες ενώσεις** όπως υδρόθειο, мерκαπτάνες, σουλφίδια και άλλες, μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση του εξοπλισμού, δηλητηρίαση των καταλυτών και δυσάρεστη οσμή στα προϊόντα. Επί πλέον συμβάλουν με την καύση τους στην ρύπανση του περιβάλλοντος με τον σχηματισμό διοξειδίου του θείου. Οι ενώσεις αυτές αφαιρούνται με τις διεργασίες της αποθείωσης.
- **Αζωτούχες ενώσεις** που είναι εξίσου ανεπιθύμητες όσο και οι θειούχες, σημαντικό μέρος τους αφαιρούνται με τις διεργασίες της αποθείωσης, ωστόσο ειδικές απαζωτώσεις είναι απαραίτητες στα ρεύματα τροφοδοσίας καταλυτικής πυρόλυσης και υδρογονοπυρόλυσης για να αποφευχθεί η υποβάθμιση των καταλυτών.
- **Οξυγονούχες ενώσεις** μπορεί να είναι παρούσες σαν ναφθενικά οξέα και φαινόλες. Τα ναφθενικά οξέα είναι συστατικά των ναφθενικών αργών πετρελαίων και είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά. Οι φαινόλες προκαλούν προβλήματα οσμής και σχηματίζονται στην διεργασία της καταλυτικής πυρόλυσης.
- **Τα μέταλλα** ενεργούν σαν δηλητήρια κατά των καταλυτών, προκαλούν σημαντικά προβλήματα διάβρωσης και μπορούν να αφαιρεθούν σε ένα στάδιο αφαίρεσης μετάλλων, πριν τις διεργασίες μετατροπής των ατμοσφαιρικών υπολειμμάτων.

Ένας γενικά αποδεκτός τρόπος ταξινόμησης των διαφόρων τύπων των αργών πετρελαίων είναι είτε α) σύμφωνα με τον τύπο των υδρογονανθράκων, β) την απόδοση τους σε προϊόντα και γ) την περιεκτικότητά τους σε θειάφι. Οι μέθοδοι αυτές είναι χρήσιμες για την επιλογή των αργών, σύμφωνα με την δομή του κάθε διυλιστηρίου και τις προσδοκώμενες απαιτήσεις σε προϊόντα.

A) Τύποι υδρογονανθράκων

- Παραφινικής βάσης που περιέχουν παραφινικούς, κορεσμένους μη κυκλικούς, υδρογονάνθρακες μεγάλου μοριακού βάρους, κρυσταλλικής μορφής και λευκού χρώματος που είναι σε στερεή κατάσταση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- Ναφθενικής βάσης που περιέχουν ναφθενικούς, αρωματικούς και ασφαλικούς υδρογονάνθρακες. Είναι μη κρυσταλλικής μορφής, καστανόμαυρου χρώματος που σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι σε στερεή - ημιστερεή κατάσταση.
- Μικτής βάσης που περιέχουν μια ομοιόμορφη κατανομή παραφινικών και ναφθενικών υδρογονανθράκων, που αποτελούν την μεγαλύτερη κατηγορία αργών πετρελαίων.

B) Απόδοση προϊόντων

- Ελαφριά αργά που είναι πλούσια σε βενζίνη, μέσα αποστάγματα και αέριο, με αντίστοιχη χαμηλή περιεκτικότητα σε υπόλειμμα.
- Βαριά αργά που είναι πλούσια και με υψηλό ποσοστό σε υπόλειμμα και αντίστοιχα με χαμηλό ποσοστό σε ελαφριά αποστάγματα.
- Μέσου τύπου που παρουσιάζουν μια πιο ισορροπημένη κατανομή κλασμάτων.

Ο συγκεκριμένος τρόπος ταξινόμησης αργού πετρελαίου αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα στην αξιολόγηση της εμπορικής του αξίας. Οι ελαφρύτεροι τύποι αργού πετρελαίου είναι συνήθως ακριβότεροι από αυτούς με υψηλότερα ποσοστά υπολείμματος.

Γ) Περιεκτικότητα σε θειάφι

- Χαμηλού θείου με περιεκτικότητα έως 0,5% κατά βάρος.
- Μέσου θείου με περιεκτικότητα από 0,5 – 2% κατά βάρος.
- Υψηλού θείου με περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 2% κατά βάρος.

Αυτός ο τρόπος ταξινόμησης έχει επίσης σχέση με την εμπορική αξία του αργού πετρελαίου και καθορίζει σε σημαντική έκταση την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας του στο διυλιστήριο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό σε θείο στο ακατέργαστο αργό, τόσο περισσότερο είναι το θείο και στα προϊόντα που λαμβάνονται κατά την ατμοσφαιρική απόσταξη και τόσο μεγαλύτερο το κόστος επεξεργασίας του για την απομάκρυνση του. Τα αργά μεγαλύτερου ειδικού βάρους έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο και δίνουν περισσότερο υπόλειμμα (μαύρα προϊόντα). Το θείο συγκεντρώνεται κυρίως στα βαρύτερα κλάσματα, πράγμα που οδηγεί σε περιεκτικότητα σε θείο στο υπόλειμμα σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του αργού πετρελαίου.

3.3 Λειτουργία Διυλιστηρίου

Το ακατέργαστο αργό πετρέλαιο δεν είναι γενικά χρήσιμο σε βιομηχανικές εφαρμογές, αν και "ελαφρύ, γλυκό" (με χαμηλό ιξώδες, χαμηλό θείο) αργό πετρέλαιο έχει χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καύσιμο για την παραγωγή ατμού για την προώθηση υπερωκεάνιων πλοίων. Τα

ελαφρύτερα στοιχεία, όμως, σχηματίζουν εκρηκτικούς ατμούς στις δεξαμενές καυσίμων και είναι συνεπώς επικίνδυνα, ειδικά σε πολεμικά πλοία. Τα εκατοντάδες είδη διαφορετικών ενώσεων υδρογονανθράκων στο αργό πετρέλαιο διαχωρίζονται σε ένα δυλιστήριο σε συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, λιπαντικά και ως πρώτες ύλες για πετροχημικές διεργασίες που παράγουν προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά όπως πλαστικά, απορρυπαντικά, διαλύτες ελαστομερή καθώς και ίνες όπως νάιλον και πολυεστέρες.

Πετρελαϊκά ορυκτά καύσιμα καίγονται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για να παράσχουν την απαραίτητη ενέργεια για πλοία, αυτοκίνητα, κινητήρες αεροσκαφών, αλυσοπρίονα και άλλα μηχανήματα. Διαφορετικά σημεία βρασμού επιτρέπουν στους υδρογονάνθρακες να διαχωρίζονται με απόσταξη. Επειδή τα ελαφρύτερα υγρά προϊόντα είναι σε μεγάλη ζήτηση για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης, ένα σύγχρονο δυλιστήριο μετατρέπει βαρύς υδρογονάνθρακες και ελαφρύτερες αέριες ενώσεις σε αυτά τα υψηλότερης αξίας καύσιμα.

Το πετρέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους επειδή περιέχει υδρογονάνθρακες ποικίλων σχετικών μοριακών μαζών, μορφών και μεγεθών. Ενώ τα μόρια στο αργό πετρέλαιο περιλαμβάνουν διάφορα άτομα όπως θείο και άζωτο, οι υδρογονάνθρακες είναι η πιο συνηθισμένη μορφή μορίων, που είναι μόρια ποικίλων μεγεθών και πολυπλοκότητας αποτελούμενα από άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Οι διαφορές στη δομή αυτών των μορίων είναι η αιτία για τις διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες και αυτή η ποικιλία είναι που κάνει το αργό πετρέλαιο χρήσιμο σε μια ευρεία περιοχή διαφόρων εφαρμογών.

Μόλις διαχωριστεί και καθαριστεί από προσμίξεις και ακαθαρσίες, το καύσιμο ή το λιπαντικό μπορεί να πουληθεί χωρίς παραπέρα επεξεργασία. Μικρότερα μόρια όπως ισοβουτάνιο και προπίνιο ή βουτένια μπορούν να ανασυνδυαστούν για να καλύψουν ειδικές απαιτήσεις αριθμού οκτανίου με επεξεργασίες όπως αλκυλίωση, ή λιγότερο συχνά, διμερισμού. Ο αριθμός οκτανίου της βενζίνης μπορεί επίσης να βελτιωθεί με καταλυτική αναμόρφωση, η οποία περιλαμβάνει την αφαίρεση υδρογόνου από υδρογονάνθρακες για την παραγωγή ενώσεων με υψηλότερο αριθμό οκτανίου όπως αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Ενδιάμεσα προϊόντα όπως αερίαια μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία για να διασπαστεί ένα βαρύ με ενώσεις μεγάλης αλυσίδας πετρέλαιο σε ελαφρύτερο με μικρές αλυσίδες, με διάφορες μορφές πυρόλυσης όπως ρευστή καταλυτική πυρόλυση, θερμική πυρόλυση και υδρογονοπυρόλυση. Το τελικό βήμα στην

παραγωγή βενζίνης είναι η ανάμειξη των καυσίμων με διαφορετικό αριθμό οκτανίων, τάση ατμών και άλλων ιδιοτήτων για να καλύπτουν τις προδιαγραφές του προϊόντος.

Τα πετρελαϊκά προϊόντα ομαδοποιούνται συνήθως σε τρεις κατηγορίες: ελαφρά αποστάγματα (υγραέριο, βενζίνη, νάφθα), μεσαία αποστάγματα (κηροζίνη, ντίζελ), βαριά αποστάγματα και υπόλειμμα (βαρύ καύσιμο έλαιο, λιπαντικά λάδια, κερί, άσφαλτος). Αυτή η κατηγοριοποίηση βασίζεται στον τρόπο απόσταξης του αργού πετρελαίου καθώς και στον τρόπο διαχωρισμού σε κλάσματα.

Τα διωλιστήρια πετρελαίου παράγουν επίσης ποικίλα ενδιάμεσα προϊόντα όπως υδρογόνο, ελαφρύς υδρογονάνθρακες, αναμορφωμένη και πυρολυμένη βενζίνη. Αυτά δεν μεταφέρονται συνήθως, αλλά αναμειγνύονται και επεξεργάζονται παραπέρα επί τόπου. Οι χημικές εγκαταστάσεις είναι συνεπώς συχνά γειτονικές με διωλιστήρια πετρελαίου. Παραδείγματος χάριν, ελαφρύς υδρογονάνθρακες πυρολύονται με ατμό σε εγκατάσταση αιθενίου και το παραγόμενο αιθένιο πολυμερίζεται για να παράξει πολυαιθέλιο.

3.4 Μονάδες διύλισης, η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου.

3.4.1 Συνηθισμένες μονάδες επεξεργασίας ενός διωλιστηρίου

Οι συνηθισμένες μονάδες επεξεργασίας που βρίσκονται σε ένα διυλιστήριο είναι οι ακόλουθες:

- Η μονάδα αφαλάτωσης αφαιρεί το αλάτι από το αργό πετρέλαιο πριν να μπει στη μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης.
- Η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης αποστάζει το αργό πετρέλαιο σε κλάσματα.
- Η μονάδα απόσταξης σε κενό αποστάζει παραπέρα τα υπολείμματα μετά την ατμοσφαιρική απόσταξη.
- Η μονάδα υδρογονοεπεξεργασίας νάφθας χρησιμοποιεί υδρογόνο για αποθείωση της νάφθας από την ατμοσφαιρική απόσταξη. Η νάφθα πρέπει να υδρογονοεπεξεργαστεί πριν αποσταλεί στη μονάδα καταλυτικής αναμόρφωσης.
- Η μονάδα καταλυτικής αναμόρφωσης χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τα μόρια της περιοχής βρασμού της νάφθας σε αναμόρφωμα με υψηλότερα οκτάνια. (Το αναμόρφωμα έχει υψηλότερο περιεχόμενο αρωματικών και κυκλικών υδρογονανθράκων). Ένα σημαντικό παραπροϊόν της αναμόρφωσης είναι η απελευθέρωση υδρογόνου κατά τη διάρκεια της καταλυτικής αντίδρασης. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται είτε από την υδρογονοεπεξεργασία ή από την υδρογονοπυρόλυση.
- Η υδρογονοαποθείωση αποθειώνει αποστάγματα (όπως το ντίζελ) μετά την ατμοσφαιρική απόσταξη.
- Η μονάδα ρευστής καταλυτικής πυρόλυσης (FCC) αναβαθμίζει βαρύτερα κλάσματα σε ελαφρύτερα, πιο πολύτιμα προϊόντα.
- Η μονάδα υδρογονοπυρόλυσης χρησιμοποιεί υδρογόνο για να αναβαθμίσει βαρύτερα κλάσματα σε ελαφρύτερα, πιο πολύτιμα προϊόντα.
- Η μονάδα ιξωδύλυσης αναβαθμίζει βαριά υπολειμματικά προϊόντα με θερμική πυρόλυση σε ελαφρύτερα, πιο πολύτιμα προϊόντα με μειωμένο ιξώδες.
- Η μονάδα οξειδωσης μερκαπτανών κατεργάζεται υγραέριο, κηροζίνη ή καύσιμο αεροσκαφών οξειδώνοντας μερκαπτάνες σε οργανικά δισουλφίδια.
- Υπάρχουν εναλλακτικές διεργασίες για αφαίρεση μερκαπτανών, π.χ. καυστική πλύση.

- Στη διεργασία της μονάδας οπτανθρακοποίησης πολύ βαριά υπολειμματικά προϊόντα μετατρέπονται σε βενζίνη και ντίζελ, αφήνοντας πετρελαϊκό οπτάνθρακα (κωκ) ως υπολειμματικό προϊόν.
- Η μονάδα αλκυλίωσης χρησιμοποιεί θειικό οξύ ή υδροφθορικό οξύ για να παράξει ενώσεις με υψηλά οκτάνια για ανάμειξη με βενζίνη.
- Η μονάδα διμερισμού μετατρέπει αλκένια σε ενώσεις ανάμειξης με βενζίνη υψηλότερων οκτανίων. Παραδείγματος χάριν, τα βουτένια μπορούν να διμεριστούν σε ισοοκτένια που στη συνέχεια μπορούν να υδρογονωθούν για να σχηματίσουν ισοοκτάνιο. Υπάρχουν επίσης άλλες χρήσεις για τον διμερισμό. Η παραγόμενη βενζίνη μέσα από διμερισμό είναι υψηλά ακόρεστη και έντονα δραστική. Τείνει να σχηματίσει αυθόρμητα κόμματα. Για αυτόν τον λόγο το απόβλητο από τον διμερισμό χρειάζεται να αναμειχθεί στη δεξαμενή της τελικής βενζίνης αμέσως ή να υδρογονωθεί.
- Η μονάδα ισομερείωσης μετατρέπει γραμμικά μόρια σε διακλαδισμένα μόρια με υψηλότερα οκτάνια για ανάμειξη στη βενζίνη ή τροφοδοσία σε μονάδες αλκυλίωσης.
- Η μονάδα ατμοαναμόρφωσης παράγει υδρογόνο για υδρογονοεπεξεργασία ή υδρογονοπυρόλυση.
- Τα δοχεία αποθήκευσης υγραερίου αποθηκεύουν προπάνιο και παρόμοια αέρια καύσιμα σε ικανή πίεση για να τα διατηρήσει σε υγρή μορφή. Αυτά είναι συνήθως σφαιρικά δοχεία ή οριζόντια δοχεία με στρογγυλεμένα άκρα.
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης αποθηκεύουν αργό πετρέλαιο και έτοιμα προϊόντα, συνήθως κυλινδρικά, με κάποιο είδος ελέγχου εκπομπής ατμών και περιβάλλονται από μια χωμάτινη αναβαθμίδα για να κρατάει τις πιτσιλιές.
- Οι επεξεργασίες αμίνης και Κλάους, καθώς και η επεξεργασία αερίου ουράς μετατρέπουν υδρόθειο με υδρογονοαποθείωση σε στοιχειακό θείο.
- Βοηθητικές μονάδες όπως πύργοι ψύξης κυκλοφορούν νερό ψύξης, λέβητες δημιουργούν ατμό και συστήματα αέρα περιλαμβάνουν πνευματικά χειριζόμενες βαλβίδες ελέγχου και έναν ηλεκτρικό υποσταθμό.
- Η συλλογή απόνερων και τα συστήματα επεξεργασίας αποτελούνται από διαχωριστές API, επίπλευση με διαλυμένο αέρα και παραπέρα μονάδες επεξεργασίας όπως μία

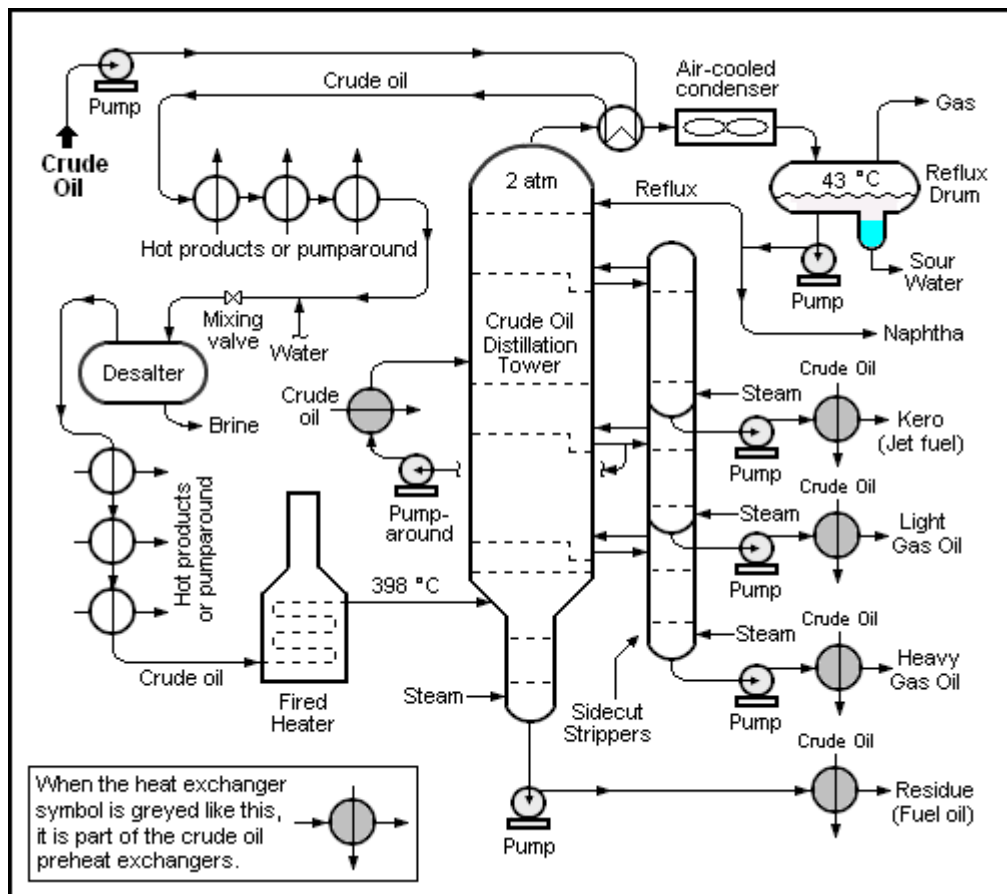
βιοεπεξεργασία ενεργής ιλύος για να κάνει το νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση ή διάθεση.

- ο Μονάδες εξευγενισμού διαλυτών χρησιμοποιούν διαλύτες όπως κρεσόλη ή φουρφουράλη για να αφαιρέσουν ανεπιθύμητες, κυρίως αρωματικές ενώσεις από το απόθεμα λιπαντικών ή ντίζελ.
- ο Μονάδες αποκήρωσης διαλύτη αφαιρούν τις βαριές κηρώδεις ενώσεις κηρώδους βαζελίνης από τα προϊόντα απόσταξης κενού.

3.4.2 Μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης

Η μονάδα απόσταξης του αργού πετρελαίου (CDU) είναι η πρώτη μονάδα επεξεργασίας ουσιαστικά σε όλα τα διυλιστήρια πετρελαίου. Αυτή αποστάζει το εισερχόμενο αργό πετρέλαιο σε διάφορα κλάσματα διαφορετικών περιοχών βρασμού, που καθεμιά τους επεξεργάζεται παραπέρα σε άλλες μονάδες επεξεργασίας του διυλιστηρίου. Η CDU αναφέρεται συχνά ως η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης επειδή λειτουργεί σε ελαφρά μεγαλύτερη πίεση από την ατμοσφαιρική πίεση.

Παρακάτω είναι ένα σχηματικό διάγραμμα ροής μιας τυπικής μονάδας απόσταξης αργού πετρελαίου. Το εισερχόμενο αργό πετρέλαιο προθερμαίνεται ανταλλάσσοντας θερμότητα με κάποιο από τα θερμά, αποσταγμένα κλάσματα και άλλα ρεύματα. Στη συνέχεια αφαιρούνται για να αφαιρεθούν τα ανόργανα άλατα (κυρίως το χλωριούχο νάτριο).



Διάγραμμα 3.1: Σχηματικό διάγραμμα ροής μιας τυπικής μονάδας απόσταξης αργού πετρελαίου.

Μετά την αφαλάτωση, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται παραπέρα ανταλλάσσοντας θερμότητα με κάποιο θερμό απεσταγμένο κλάσμα και με άλλα ρεύματα. Έπειτα θερμαίνεται σε έναν φούρνο σε μια θερμοκρασία περίπου 398 °C και παροχετεύεται στον πυθμένα της αποστακτικής μονάδας.

Η ψύξη και η συμπύκνωση του πύργου απόσταξης της κορυφής απόσταξης παρέχεται μερικώς με ανταλλαγή θερμότητας με το εισερχόμενο αργό πετρέλαιο και μερικώς από έναν αερόψυκτο ή υδρόψυκτο συμπυκνωτή. Πρόσθετη θερμότητα αφαιρείται από την αποστακτική στήλη με σύστημα άντλησης.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής, το κορυφαίο κλάσμα απόσταξης από την αποστακτική στήλη είναι νάφθα. Τα κλάσματα αφαιρούνται πλευρικά από την στήλη απόσταξης σε διάφορα σημεία μεταξύ της κεφαλής και του πυθμένα της στήλης και λέγονται πλευρικά κλάσματα. Καθένα από τα πλευρικά κλάσματα (δηλαδή, η κηροζίνη,

ελαφρύ αερίελλαιο και βαρύ αερίελλαιο) ψύχεται ανταλλάσσοντας θερμότητα με το εισερχόμενο αργό πετρέλαιο. Όλα τα κλάσματα (δηλαδή, η νάφθα κορυφής, τα πλευρικά κλάσματα και το υπόλειμμα του πυθμένα) στέλνονται σε ενδιάμεσες δεξαμενές αποθήκευσης πριν να επεξεργαστούν παραπέρα.

3.4.3 Ατμοσφαιρική απόσταξη

Σε ένα μίγμα με δύο συστατικά συνυπάρχουν:

- Το ελαφρύτερο συστατικό – πτητικό – με χαμηλό σημείο βρασμού και υψηλή τάση ατμών
- Το βαρύτερο συστατικό – λιγότερα πτητικό – με υψηλό σημείο βρασμού και χαμηλή τάση ατμών.

Όταν το μίγμα θερμανθεί μέχρι το σημείο βρασμού του, θα αρχίσει να παράγει ατμούς των οποίων η σύσταση είναι εντελώς διαφορετική από την φάση του υγρού. Η διαφορά αυτή της σύστασης των δύο φάσεων, είναι η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η διεργασία της απόσταξης. Οι ατμοί θα είναι πλουσιότεροι σε ελαφριά συστατικά (πτητικά) και το υγρό σε βαρύτερα συστατικά (λιγότερο πτητικά).

Το πρώτο βήμα στην Διύλιση του αργού πετρελαίου είναι ο διαχωρισμός του σε κλάσματα διαφορετικών περιοχών βρασμού. Η ατμοσφαιρική απόσταξη (atmospheric distillation) είναι μία φυσική διεργασία, που διαχωρίζει το μίγμα των υδρογονανθράκων σε κλάσματα που καλύπτουν το καθένα μια διαφορετική περιοχή θερμοκρασιών βρασμού. Είναι μία συνεχή διεργασία εξάτμισης και συμπύκνωσης κλασμάτων, προϊόντων που χαρακτηρίζονται από βασικές ιδιότητες, όπως το τελικό σημείο βρασμού τους, το ιξώδες τους, το σημείο ανάφλεξης τους κ.ά. Στο διυλιστήριο η διεργασία της κλασματικής απόσταξης λαμβάνει χώρα σε αποστακτική στήλη με δίσκους, σε πίεση που πλησιάζει την ατμοσφαιρική.

Τα αποστάγματα, δηλαδή τα προϊόντα της ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου είναι:

- **Βενζίνη** που περιέχει υδρογονάνθρακες C6 – C12, έχει όρια βρασμού 50 – 200 °C, ειδικό βάρος 0,700 – 0,750 και χρησιμοποιείται για καύσιμο, διαλύτες κλπ.
- **Κηροζίνη** έχει όρια βρασμού 150 – 280 °C, ειδικό βάρος 0,780 – 0,820 και χρησιμοποιείται για καύσιμο αεριωθουμένων, φωτιστικό πετρέλαιο κλπ.

- **Gas oil** έχει όρια βρασμού 250 – 380 °C, ειδικό βάρος 0,840 – 0,860 και χρησιμοποιείται για καύσιμο diesel κίνησης, θέρμανσης κλπ.

Μαζούτ είναι το υπόλειμμα της απόσταξης και χρησιμοποιείται για καύσιμο, παραγωγή ορυκτελαίων, δευτερεύουσες διεργασίες κλπ.

Οι σύγχρονες στήλες κλασμάτωσης σχεδιάζονται για να παράγουν ένα ή περισσότερα πλευρικά ρεύματα εκτός των προϊόντων κορυφής και πυθμένα. Πριν οδηγηθεί στον πύργο, το αργό προθεμαίνεται σε εναλλάκτες (preheating train) εναλλάσσοντας θερμότητα με τα προϊόντα και τα ρεύματα ανακυκλοφορίας (pump around) και οδηγείται στον αφαλατωτή (desalter). Στην συνέχεια το αργό συνεχίζει να προθεμαίνεται εναλλάσσοντας θερμότητα με τα προϊόντα της μονάδος, μέχρι την τελική του θέρμανση στο φούρνο σε υψηλή θερμοκρασία, με το μίγμα ατμών-υγρού να εισάγεται (transfer line) στην αποστακτική στήλη κάτω από το σημείο απόληξης του βαρύτερου πλευρικού αποστάγματος, στην ζώνη εκτόνωσης (flash zone). Η θερμοκρασία στην flash zone είναι αρκετά υψηλή, ώστε να προκαλέσει εξάτμιση όλων των προϊόντων που λαμβάνονται πάνω από την ζώνη εκτόνωσης, συν ένα 10-20% περίπου του προϊόντος του πυθμένα.

Το επιπλέον αυτό ποσοστό που εξατμίζεται (over flash) συμπυκνώνεται και ρέει σαν εσωτερική αναρροή από την flash zone προς την stripping section, αντισταθμίζοντας ποσοστό της απόληξης του βαρύτερου πλευρικού προϊόντος και επιτυγχάνοντας κλασμάτωση στους δίσκους του πυθμένα. Το over flash πρέπει να είναι περίπου το 3% της τροφοδοσίας του αργού. Άλλο ενδεικτικό στοιχείο της εσωτερικής αναρροής είναι διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της Flash zone και της stripping section. Όσο μεγαλύτερο είναι το ΔT τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός εσωτερικής αναρροής.

Η πίεση της στήλης επιδρά σε ένα μεγάλο ποσοστό στην απαιτούμενη ενέργεια για την κλασματική απόσταξη. Η αύξηση της πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα να εμποδίζει τα ελαφρύτερα συστατικά να διαφύγουν από την υγρή φάση και έτσι να απαιτείται μεγαλύτερη θερμοκρασία εξάτμισης άρα και περισσότερη ενέργεια. Η αύξηση της πίεσης χωρίς αύξηση της θερμοκρασίας θα χειροτερέψει τον διαχωρισμό και κατά συνέπεια την ποιότητα των κλασμάτων. Μειώνοντας την πίεση έχουμε και εξοικονόμηση ενέργειας σε μία αποστακτική στήλη.

Οι δίσκοι κάτω από την flash zone, κάτω από την τροφοδοσία του πύργου, με την εισαγωγή ζωντανού ατμού απογυμνώνουν, απομακρύνουν τα ελαφρύτερα συστατικά ώστε το προϊόν του πυθμένα να έχει όσο το δυνατόν λιγότερη συγκέντρωση σε ελαφριά συστατικά,

δηλαδή υψηλό σημείο ανάφλεξης (flash point). Η εισαγωγή ατμού, μειώνει την μερική πίεση των υδρογονανθράκων, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη θερμοκρασία εξάτμισης στην Flash zone και κατά συνέπεια το φορτίο του φούρνου.

Η στήλη περιέχει 30-50 δίσκους πάνω στους οποίους γίνεται ο διαχωρισμός των ελαφρύτερων από τα βαρύτερα συστατικά του αργού. Ο υπολογισμός του αριθμού των δίσκων είναι σχετικά εύκολος και γενικά απαιτούνται 5-8 δίσκοι για κάθε πλευρικό προϊόν συν ο ίδιος αριθμός πάνω και κάτω από την flash zone. Έτσι μια στήλη ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού με τέσσερα πλευρικά προϊόντα θα χρειασθεί περίπου 50 δίσκους. Οι δίσκοι περιέχουν μεγάλο αριθμό οπών - βαλβίδων μέσω των οποίων διέρχονται οι ατμοί από το κάτω μέρος του δίσκου και έρχονται σε επαφή με τους υγρούς υδρογονάνθρακες που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του δίσκου. Αυτή η επαφή μεταξύ ατμών και υγρού προκαλεί την συνεχή εξάτμιση των πτητικών συστατικών του υγρού και την συμπύκνωση των βαρύτερων συστατικών των ατμών.

Τα ελαφριά συστατικά που βράζουν σε χαμηλές θερμοκρασίες οδεύουν προς το πάνω μέρος του πύργου σε μορφή ατμών όπου αργότερα συμπυκνώνονται και τα βαρύτερα συστατικά που βράζουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες οδεύουν προς τον πυθμένα του πύργου σε υγρή μορφή. Οι ατμοί με τα ελαφριά συστατικά ανέρχονται μέσα από τις βαλβίδες των δίσκων, περνώντας μέσα από το υγρό του προσδίδοντας σε αυτό θερμότητα βοηθώντας το έτσι στην εξαέρωση του προς τον ανώτερο δίσκο, ενώ το ψυχρότερο υγρό απορροφά την θερμότητα και βοηθά στην συμπύκνωση των ατμών για να υπερχειλίσει βαρύτερο στον κατώτερο δίσκο. Με αυτήν την διεργασία, οι ανερχόμενοι ατμοί εμπλουτίζονται συνεχώς με ελαφρύτερα συστατικά, ενώ η υγρή φάση με βαρύτερα συστατικά.

Το Τελικό Σημείο Βρασμού (Final Boiling Point) καθορίζεται από την θερμοκρασία απόληξης του κάθε πλευρικού ρεύματος, και το Αρχικό Σημείο Βρασμού (Initial Boiling Point) από το βαθμό απογύμνωσης των ελαφρύτερων συστατικών στους απογυμνωτές (strippers).

Τα πλευρικά προϊόντα της αποστακτικής στήλης θα περιέχουν και συστατικά χαμηλού σημείου βρασμού τα οποία μειώνουν το flash point. Αυτά τα ελαφρύτερα συστατικά απομακρύνονται από κάθε πλευρικό προϊόν σε μία μικρή στήλη απογύμνωσης (stripper) με 4 έως 10 δίσκους, με εισαγωγή ατμού κάτω από τον δίσκο του πυθμένα. Ο ατμός και τα ελαφρύτερα συστατικά που απογυμνώνονται, επιστρέφουν στην στήλη πάνω από τον δίσκο απόληξης.

Ο διαχωρισμός των κλασμάτων μπορεί να γίνει καλύτερος εάν αυξηθεί ο αριθμός των δίσκων ή και εάν αυξηθεί ο βαθμός ροής της επαναρροής (rump around). Όσο μεγαλύτερος

είναι ο αριθμός των δίσκων τόσο πιο καθαρό από βαριά συστατικά είναι το ελαφρύτερο κλάσμα διότι τα βαρύτερα συμπυκνώνονται σε κάθε δίσκο που διαχωρίζονται.

Όσο μεγαλύτερος ο βαθμός της επαναρροής τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός και τόσο λιγότερο βαριά συστατικά βρίσκονται μέσα στο απόσταγμα. Ανάλογα με τον επιθυμητό διαχωρισμό απαιτείται και ο ανάλογος αριθμός δίσκων με τον ανάλογο βαθμό επαναρροής. «Στεγνοί» δίσκοι υποδηλώνουν αύξηση της θερμοκρασίας ή και μείωση της πίεσης της στήλης και σαν αιτία μπορεί να είναι υψηλός βαθμός απόληψης κλασμάτων ή και φτωχή εσωτερική αναρροή. Ενώ «πλημμυρισμένοι» δίσκοι υποδηλώνουν μείωση της θερμοκρασίας ή και αύξηση της πίεσης της στήλης και σαν αιτίες μπορεί να είναι ο υψηλός βαθμός των pump around, υψηλή στάθμη στον πυθμένα και υψηλός βαθμός τροφοδοσίας,

Η αποστακτική στήλη λειτουργεί κανονικά, μόνον τότε όταν τα λαμβανόμενα προϊόντα έχουν την επιθυμητή ποιότητα. Εάν ο διαχωρισμός σε κλάσματα είναι ακριβής, αυτό σημαίνει ότι δεν θα υπάρξουν κοινά συστατικά σε διαδοχικά κλάσματα. Ο βαθμός απόδοσης της κλασμάτωσης μεταξύ των προϊόντων, καθορίζεται από το άνοιγμα (gap) της θερμοκρασίας, μεταξύ του 5% της απόσταξης του βαρύτερου κλάσματος και του 95% του ελαφρύτερου. Η διαφορά των θερμοκρασιών αυτών πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 0 °C για να μιλάμε για καλό διαχωρισμό. Στην περίπτωση που η διαφορά αυτή είναι μικρότερη των 0 °C τότε μιλάμε για φτωχό διαχωρισμό και επικάλυψη (over lap) του εύρους βρασμού των δύο κλασμάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το gap, τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός μεταξύ των παρακείμενων κλασμάτων.

Η αναρροή παρέχεται με την συμπύκνωση των ατμών που εξέρχονται από την κορυφή του πύργου και επιστροφή του υγρού στην κορυφή της στήλης, αλλά και με πλευρικές ανακυκλοφορίες από και προς συγκεκριμένα σημεία της στήλης. Κάθε ένα από τα πλευρικά προϊόντα της στήλης που απομακρύνεται, μειώνει την ποσότητα του υγρού ρεύματος που οδηγείται προς τον κατώτερο δίσκο μετά τον δίσκο απόληψης του πλευρικού προϊόντος.

Η μέγιστη κλασμάτωση και η μέγιστη αναρροή επιτυγχάνεται απομακρύνοντας όλη την θερμότητα από την κορυφή της στήλης, αλλά αυτό δημιουργεί μεγάλο φορτίο υγρού που απαιτεί μεγάλη διάμετρο της στήλης. Το reflux κορυφής επιστρέφει για να συμπυκνώσει τα ελαφρύτερα συστατικά της κορυφής και να ελέγξει έτσι την θερμοκρασία της. Όταν επιστρέφει στην στήλη, η συνολική ποσότητα που συμπυκνώνεται στην κορυφή και όχι μέρος αυτής, λέγεται total reflux.

Για να μειωθεί η διάμετρος της στήλης και το φορτίο της αναρροής ισοκατανεμηθεί καθ' όλο το ύψος της στήλης χρησιμοποιούνται ενδιάμεσα ρεύματα που απομακρύνουν την θερμότητα, ψύχονται και επιστρέφουν υγρά στην στήλη. Αυτό το ψυχρό ρεύμα συμπυκνώνει το μεγαλύτερο μέρος των ατμών που ανέρχονται από το κάτω μέρος της στήλης, αυξάνοντας έτσι την αναρροή κάτω από αυτό το σημείο. Οι πλευρικές ανακυκλοφορίες είναι σημαντικές για την κλασμάτωση των προϊόντων. Χρησιμοποιώντας πλευρικές ανακυκλοφορίες στα χαμηλότερα σημεία της στήλης, οι θερμοκρασίες εναλλαγής θερμότητας είναι μεγαλύτερες και μπορεί να ανακτηθεί το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας προθερμαίνοντας το αργό πετρέλαιο.

Μια τυπική κατανομή των κλασμάτων που λαμβάνονται από την αποστακτική στήλη είναι: από την κορυφή ακατέργαστη νάφθα (Straight Run Gasoline) και αέριο καύσιμο (Fuel gas) και σαν πλευρικά κλάσματα κηροζίνη (Kerosene), Light Gas Oil (L.G.O), Heavy Gas Oil (H.G.O) και Heavy Heavy Gas Oil (H.H.G.O). Από τον πυθμένα της στήλης λαμβάνεται ότι δεν μπορεί να αποστάξει σαν υπόλειμμα, Residue Gas Oil (R.G.O).

Τα κλάσματα οδηγούνται για περαιτέρω επεξεργασία είτε σε μονάδες είτε σε δεξαμενές για αποθήκευση:

- Το Fuel gas αποτελείται από μεθάνιο και αιθάνιο και αποτελεί αέριο καύσιμο που χρησιμοποιείται σε διάφορες διεργασίες στο διυλιστήριο. Μερικές φορές και ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες το προπάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης σαν καύσιμο.
- Η S.R.G σε μονάδα αποθείωσης-επεξεργασίας με υδρογόνο (Hydro treating), όπου παρουσία καταλύτη διασπώνται οι θειούχες και αζωτούχες ενώσεις της νάφθας και απομακρύνονται με την μορφή υδρόθειου (H₂S) και αμμωνίας (NH₃). Η απομάκρυνση του υδρόθειου είναι απαραίτητη για την προστασία του καταλύτη στην περαιτέρω επεξεργασία της βαριάς νάφθας Heavy Straight Run (H.S.R) ή αλλιώς ονομαζόμενη κατεργασμένη νάφθα Treated Run Gasoline (T.R.N) στην μονάδα καταλυτικής αναμόρφωσης για παραγωγή νάφθας υψηλών οκτανίων. Με μία διάταξη από δοχεία και αποστακτικές στήλες, λαμβάνουμε τελικά την ελαφριά νάφθα Light Straight Run (L.S.R) για περαιτέρω επεξεργασία σε μονάδα ισομερισμού για αύξηση του αριθμού οκτανίων και υγραέρια Liquid Petroleum Gas (L.P.G) που οδηγείται σε μονάδα απομάκρυνσης θειούχων ενώσεων και σε δεξαμενή για αποθήκευση.
- Η Kerosene τροφοδοτεί την μονάδα γλύκανσης Merox όπου οι θειούχες ενώσεις όπως οι μερκαπτάνες, είτε απομακρύνονται, είτε μετατρέπονται σε λιγότερο δραστικές

ενώσεις, με κύριο σκοπό την μείωση της διαβρωτικότητας και την απομάκρυνση της οσμής.

- Το L.G.O και το H.G.O τροφοδοτούν την μονάδα υδρογονοαποθείωσης του ντήζελ (Hydrodesulphurization) όπου παρουσία καταλύτη διασπώνται οι θειούχες και αζωτούχες ενώσεις της νάφθας και απομακρύνονται με την μορφή υδρόθειου (H₂S) και αμμωνίας (NH₃). Η μονάδα συμπληρώνεται από δοχεία και στήλες, απομάκρυνσης του H₂S, καθαρισμού αερίου, απομάκρυνσης υγρασίας τελικού προϊόντος και διαχωρισμού μικρής ποσότητας ασταθούς νάφθας.
- Το H.H.G.O τροφοδοτείται σε μονάδα υδρογονοδιάσπασης (Hydro cracking) για αφαίρεση των θειούχων ενώσεων ή όταν αυτές οι ενώσεις είναι σε χαμηλή περιεκτικότητα τροφοδοτεί απευθείας την μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης F.C.C.
- Το R.G.O οδηγείται σαν τροφοδοσία της μονάδος απόσταξης υπό κενό για περαιτέρω επεξεργασία και παραγωγή κλασμάτων που τροφοδοτούν τις μονάδες μετατροπής – καταλυτικής πυρόλυσης και ιξωδιάλυσης, για παραγωγή λευκών προϊόντων.

3.5 Τα διωλιστήρια της εταιρείας Ελληνικά Πετρέλαια (σύντομη περιγραφή).

Η ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ (ΕΛΠΕ) ιδρύθηκε το 1998 (συγχώνευση των θυγατρικών του Ομίλου ΔΕΠ και μετονομασία σε ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ) και αποτελεί έναν από τους κορυφαίους Ομίλους στον τομέα της ενέργειας στη Νοτιοανατολική Ευρώπη, με δραστηριότητες σε 6 χώρες.

Η αρχή της εταιρείας είναι το 1955 όπου με απόφαση της τότε κυβέρνησης, υπογράφεται η σύμβαση κατασκευής του διυλιστηρίου Ασπροπύργου, του πρώτου διυλιστηρίου πετρελαίου στην Ελλάδα. Η κατασκευή άρχισε το 1956 και δυο χρόνια αργότερα, το 1958, εγκαινιάζεται το νέο διυλιστήριο στον Ασπρόπυργο.

Ο τομέας διύλισης στις μέρες μας αποτελεί την κύρια δραστηριότητα, αντιπροσωπεύοντας περίπου 75% του συνολικού ενεργητικού του Ομίλου. Ο Όμιλος διαθέτει τα τρία από τα τέσσερα διυλιστήρια που λειτουργούν στην Ελλάδα (Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Θεσσαλονίκη), με συνολική δυναμικότητα 340 kbpd, κατέχοντας μερίδιο περίπου 65% της ελληνικής αγοράς στον τομέα του χονδρικού εμπορίου πετρελαιοειδών.

Ο Όμιλος, την πενταετία 2007-2012 υλοποίησε ένα επενδυτικό πρόγραμμα ύψους €3 δις περίπου, στο πλαίσιο του οποίου εντάσσεται και η ολοκλήρωση της μεγαλύτερης ιδιωτικής βιομηχανικής επένδυσης στην Ελλάδα, που αφορά τον εκσυγχρονισμό και την αναβάθμιση του διυλιστηρίου Ελευσίνας. Το 2013 ήταν η πρώτη πλήρης χρονιά εμπορικής λειτουργίας του αναβαθμισμένου διυλιστηρίου της Ελευσίνας, το οποίο αφού ολοκλήρωσε επιτυχώς τη διαδικασία αριστοποίησης, είχε σημαντική συνεισφορά στην κερδοφορία του Ομίλου και την αύξηση των εξαγωγών του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Προτεινόμενη Μέθοδος – Μελέτη

Περίπτωσης

4.1 Εισαγωγή

Για να μπορέσει κάθε επιχείρηση-οργανισμός να επιτύχει τους σκοπούς και τους στόχους που έχει θέσει θα πρέπει να επιβεβαιώνει συνεχώς κατά την πορεία της λειτουργίας της τον στρατηγικό σχεδιασμό της. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται οργανωσιακός έλεγχος και κύριο συστατικό του είναι η μέτρηση και η αξιολόγηση της απόδοσης της επιχείρησης.

Με την διαδικασία της μέτρησης και της αξιολόγησης της απόδοσης οι άνθρωποι της διοίκησης παρακολουθούν τι συμβαίνει στην επιχείρηση και κρίνουν αξιολογώντας τα στοιχεία που λαμβάνουν, αν εκπληρούνται οι στόχοι που έχουν τεθεί και σε ποιο βαθμό. Τα στοιχεία θα πρέπει να έχουν ληφθεί και επεξεργαστεί με ορθές και αντικειμενικές πρακτικές έτσι ώστε η διοίκηση να μπορεί να εξάγει ορθά συμπεράσματα για το τι συμβαίνει στην επιχείρηση, γιατί συμβαίνει και το αν θα συνεχίσει να συμβαίνει αυτό. Επίσης η αντικειμενική και σωστή διαδικασία θα δώσει την δυνατότητα στην διοίκηση για ορθή λήψη αποφάσεων για την πορεία της επιχείρησης, η οποία θα μπορεί να επαναπροσδιορίζει τους στόχους της, με βάση πραγματικών αντικειμενικών στοιχείων, για την μεγιστοποίηση του κέρδους της.

4.2 Αποδοτικότητα, αναγκαιότητα της μέτρησης της.

Η αποδοτικότητα αφορά κυρίως την εσωτερική λειτουργία της επιχείρησης και εκφράζει τις θυσίες (κόστη) που γίνονται για την επίτευξη ενός αποτελέσματος. Η αποδοτικότητα μετράτε ως το πηλίκο που έχει αριθμητή το πραγματοποιηθέν αποτέλεσμα (εκροή) και ως παρονομαστή τα κόστη ή τις θυσίες που έγιναν για την πραγματοποίηση του αποτελέσματος (εισροές).

Η μέτρηση και η αξιολόγηση της απόδοσης είναι απαραίτητη για τον σωστό και αποδοτικό προγραμματισμό της κάθε επιχείρησης καθώς και για τον αποτελεσματικό έλεγχο και αξιολόγηση της χρήσης του. Η ανάλυση των μετρήσεων της αποδοτικότητας θα πρέπει να

υποστηρίζουν την λήψη κάθε απόφασης της διοίκησης. Η μελέτη της αποδοτικότητας τμημάτων της επιχείρησης συνεισφέρει ουσιαστικά στην βελτίωση των εργασιών και λειτουργιών της επιχείρησης. Επίσης η μέτρηση της απόδοσης βοηθά μια επιχείρηση να καταναίμει τους πόρους με τον καλύτερο-αποδοτικότερο τρόπο, ενώ παράλληλα αποτελεί και το έναυσμα για ορθότερη διαχείριση αυτών.

Η μέτρηση της απόδοσης επηρεάζει και την παροχή κινήτρων στους εργαζομένους μιας επιχείρησης. Η συνολική απόδοση ενός τμήματος ανεβαίνει όταν τίθενται ατομικοί στόχοι και βελτιστοποιείται όταν οι στόχοι αυτοί εκλαμβάνονται ως πρόκληση από τους εργαζομένους και είναι εφικτοί. Ακόμη η χρήση από την επιχείρηση συγκεκριμένων αριθμών που δηλώνουν την απόδοση βοηθάει στην επικοινωνία και πληροφόρηση μεταξύ των εργαζομένων. Επίσης η μέτρηση της αποδοτικότητας έχει καθοριστική σημασία στην μείωση των εντάσεων και προστριβών μεταξύ των μελών μιας επιχείρησης και αυξάνει την δημιουργική επίλυση τους με επιρροή από τα υψηλότερα ιεραρχικά επίπεδα προς τα χαμηλότερα. Συμπληρωματικά συμβάλλει στην παρακολούθηση της προόδου των εργαζομένων.

Καθοριστικής σημασίας στην επιχείρηση είναι η συνεισφορά της παρακολούθησης και αξιολόγησης της απόδοσης στο μακροχρόνιο σχεδιασμό και προγραμματισμό των στόχων και σκοπών της. Οι διοικήσεις συνήθως κριτικάρονται για τον βραχυπρόθεσμο και μη τεκμηριωμένο σχεδιασμό των επιχειρήσεων τους, γι' αυτό κάθε επιχείρησης θα πρέπει να καταστρώνει και να υλοποιεί μακροχρόνιους σχεδιασμούς βασιζόμενους σε αντικειμενικά στοιχεία, οι οποίοι θα είναι αποδεκτοί από όλους τους εμπλεκόμενους στην προσπάθεια της υλοποίησής τους.

4.3 Δεδομένα υπολογισμού της αποδοτικότητας βασικής γραμμής.

Στην παρούσα διατριβή θα πραγματοποιηθεί η μελέτη της απόδοσης λειτουργίας της μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης του αργού πετρελαίου που βρίσκεται στο διυλιστήριο των Ελληνικών πετρελαίων στον Ασπρόπυργο. Είναι η σημαντικότερη μονάδα της εγκατάστασης, διότι σε αυτήν πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του Αργού πετρελαίου στα κύρια παράγωγα - προϊόντα που περικλείει.

Για την εκτίμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης μονάδας λειτουργίας διυλιστηρίου θα εξαχθεί το μέγεθος "Παραγωγικότητας Βάσης" (Baseline Productivity). Η

εκτίμηση της παραγωγικότητας βάσης θα γίνει με την χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA).

Για κάθε μονάδα λειτουργίας του διυλιστηρίου Ασπροπύργου οι Χημικοί μηχανικοί οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την λειτουργία της καταγράφουν σε ημερήσια βάση τις δαπάνες λειτουργίας της όπως επίσης και τα προϊόντα που έχει παράγει η μονάδα στην συγκεκριμένη μέρα. Η καταγραφή είναι λεπτομερής και συμπεριλαμβάνει αναλυτικά όλων των ειδών τις δαπάνες. Στον πίνακα που ακολουθεί (4.1) φαίνονται οι δαπάνες λειτουργίας οι οποίες καταγραφάκαν για την μονάδα που θα μελετήσουμε στις 1/1/2019.

<u>Κατηγορία Δαπάνης</u>	<u>Δαπάνες 1/1/2019 (€)</u>
<i>Κόστος Υγρών Καυσίμων (Fuel Oil Cost)</i>	54660,31
<i>Κόστος Αερίων Καυσίμων (Fuel Gas Cost)</i>	20264,88
<i>Κόστος Ατμού Ποιότητας S2 (Steam S2 Cost)</i>	1708,92
<i>Κόστος Ατμού Ποιότητας S5 (Steam S5 Cost)</i>	484,77
<i>Κόστος Νερού (Water Cost)</i>	473,96
<i>Κόστος Χημικών - Καταλυτών (Chemicals Cost)</i>	2774,08
<i>Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Consumption Cost)</i>	2973,58
<i>Δαπάνες Ημερομισθίων Εργαζ. της Μονάδας (Daily Labor Cost)</i>	2841,96

Πίνακας 4.1: Δαπάνες λειτουργίας στις 1/1/2019 για την μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης του διυλιστηρίου Ασπροπύργου.

Στόχος της μονάδας που μελετάμε είναι ο διαχωρισμός και η μετατροπή του αργού πετρελαίου σε προϊόντα (παράγωγα) τα οποία θα οδηγηθούν σε διαφορετικές μονάδες το καθένα και με διαφορετικές τεχνικές να υποστούν περεταίρω επεξεργασία-διύλιση έτσι ώστε να παραχθούν τα τελικά προϊόντα που είναι κατάλληλα για τελική χρήση από τον καταναλωτή.

Στην συγκεκριμένη μονάδα που μελετάμε καθ' όλη την διάρκεια που έχουν ληφθεί τα στοιχεία (από 1/1/2019 έως 2/3/2019) η σύσταση του Αργού πετρελαίου είναι ίδια. Η σύσταση αργού πετρελαίου είναι καθορισμένη όπως και η αναλογία κάθε υποπροϊόντος που θα παραχθεί αφού εξαρτάται άμεσα από την σύσταση του αργού πετρελαίου που επεξεργάζεται. Επίσης η ποσότητα μάζας αργού πετρελαίου που θα εισαχθεί στην μονάδα για επεξεργασία θα είναι ίση με το άθροισμα των μαζών των υποπροϊόντων.

Αυτό το ισοζύγιο ισχύει για τις μάζες των προϊόντων και του αργού πετρελαίου, δεν ισχύει όμως και για τους όγκους διότι υπάρχει διαφοροποίηση στα ειδικά βάρη κάθε παραγώγου και του πετρελαίου που εισέρχεται για επεξεργασία. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις ποσότητες μάζας που παρήχθησαν στην συγκεκριμένη μονάδα για κάθε

υποπροϊόν στις 1/1/2019. Η ποσότητα μάζας αργού πετρελαίου που μετατράπηκε σε υποπροϊόντα ήταν 9907,417 τόνους.

<u>Παραθέν Προϊόν 1/1/2019</u>	<u>Ποσότητα Μάζας (tn)</u>
<i>Προϊόν Naphtha</i>	1910,530
<i>Προϊόν Kero</i>	1668,379
<i>Προϊόν LGO</i>	1462,869
<i>Προϊόν HGO</i>	712,271
<i>Προϊόν HHGO</i>	536,878
<i>Προϊόν SRAR</i>	3613,963
<i>Προϊόν Off Gases</i>	2,527

Πίνακας 4.2: Οι ποσότητες μάζας των προϊόντων που παρήχθησαν από την μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης του διυλιστηρίου Ασπροπύργου στις 1/1/2019.

Όπως παρατηρούμε, αν αθροίσουμε τις ποσότητες μάζας των προϊόντων της συγκεκριμένης ημέρας το άθροισμα που προκύπτει είναι ίσο με 9901,417 τόνους που είναι η ποσότητα του αργού πετρελαίου που διαλύθηκε.

4.4 Εφαρμογή μεθόδου

Αντικείμενο στην παρούσα διατριβή όπως έχουμε προαναφέρει είναι η μελέτη και η εκτίμηση της απόδοσης μονάδας λειτουργίας διυλιστηρίου με μελέτη εφαρμογής την μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης στο διυλιστήριο των Ελληνικών Πετρελαίων στην Ασπρόπυργο.

Για αν μελετήσουμε την συγκεκριμένη μονάδα θα λάβουμε υπόψιν μας τα στοιχεία των δαπανών (εισροές) της σε καθημερινή βάση όπως επίσης και την ποσότητα των προϊόντων που διύλιζε κάθε μέρα. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε την πορεία της απόδοσης της συγκεκριμένης μονάδας θα θεωρήσουμε ότι κάθε μέρα αποτελεί μια Παραγωγική Μονάδα - Μονάδα Απόφασης (DMU). Έτσι συγκρίνοντας τα DMUs της μονάδας συγκρίνουμε κάθε μέρα λειτουργίας και μπορούμε να ανακαλύψουμε ποιες μέρες είναι παραγωγικές και ποιες όχι, όπως επίσης και το ποσοστό απόδοσης των μη παραγωγικών ημερών σε σχέση με τις παραγωγικές. Τα παραγωγικά DMUs που θα προκύψουν από την εφαρμογή της DEA, τα οποία θα έχουν

ποσοστό 100%, θα είναι οι μέρες από της οποίες θα υπολογίσουμε την Παραγωγικότητα-Απόδοση Βάσης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε τις εισόδους (εισροές) και τις εξόδους (εκροές) που πρέπει να εισαχθούν στους υπολογισμούς μας για κάθε DMU. Όπως είδαμε στην 4.3 τα είδη των δαπανών της μονάδας είναι 8 όπως φαίνονται παρακάτω

- Κόστος Υγρών Καυσίμων (Fuel Oil Cost)
- Κόστος Αερίων Καυσίμων (Fuel Gas Cost)
- Κόστος Ατμού Ποιότητας S2 (Steam S2 Cost)
- Κόστος Ατμού Ποιότητας S5 (Steam S5 Cost)
- Κόστος Νερού (Water Cost)
- Κόστος Χημικών - Καταλυτών (Chemicals Cost)
- Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Electric Consumption Cost)
- Δαπάνες Ημερομισθίων Εργαζομένων της Μονάδας (Daily Labor Cost)

Για να καθορίσουμε τις μεταβλητές εισόδου που είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας των μονάδων απόφασης (DMUs) έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε μια σωστή εφαρμογή, αποφασίστηκε ύστερα από εκτενή συζήτηση με τους αρμόδιους μηχανικούς λειτουργίας της μονάδας ότι το κόστος των υγρών και αερίων καυσίμων θα πρέπει να ληφθεί ως μια ενιαία είσοδος με ονομασία κόστος καυσίμων που να περιλαμβάνει το άθροισμα των δυο επιμέρους κοστών. Η ενσωμάτωση αυτή σε μια μεταβλητή εισόδου γίνεται διότι τα κόστη αυτά είναι εξαρτημένα μεταξύ τους κατά την λειτουργία της μονάδας. Το ίδιο θα συμβεί και για τα κόστη σε ατμό ποιότητας S2, σε ατμό ποιότητας S5 και σε νερό τα οποία θα προστεθούν και θα ληφθούν ως μία εισροή (Κόστος Ατμού-Νερού). Τα υπόλοιπα κόστη είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους γι' αυτό το λόγο θα ληφθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές εισόδου. Επομένως οι μεταβλητές εισόδους μας για τους υπολογισμούς θα είναι 5.

Η περίοδος που έχει επιλεγεί για την συγκέντρωση και επεξεργασία των στοιχείων είναι από 1/1/2019 έως και 2/3/2019. Τα δεδομένα τα οποία θα είναι και οι εισοδοί μας για της μεταβλητές εισροών στους υπολογισμούς μας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα σύμφωνα με όσα αναφέραμε παραπάνω.

Ημέρα Αναφοράς	Κόστος Καυσίμων (€)	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (€)	Δαπάνη Ημερομισθίων (€)	Κόστος Ατμού-Νερού (€)	Κόστος Χημικών (€)
1/1/2019	74925,19	2973,58	2841,96	2667,65	2774,08
2/1/2019	73403,66	2975,51	2841,96	2661,10	2773,74
3/1/2019	73499,04	2975,23	2841,96	2677,25	2772,58

4/1/2019	74362,80	2975,95	2841,96	2650,19	2771,95
5/1/2019	72302,53	2974,18	2841,96	2665,72	2772,26
6/1/2019	73982,07	2977,81	2841,96	2658,84	2772,03
7/1/2019	68573,00	2947,06	2841,96	2668,18	2635,05
8/1/2019	63001,21	2932,79	2841,96	2549,08	2571,46
9/1/2019	68820,48	2979,44	2841,96	2546,90	2778,80
10/1/2019	71260,55	2992,03	2841,96	2676,51	2839,88
11/1/2019	76201,36	3022,88	2841,96	2676,75	2840,49
12/1/2019	75865,57	3035,00	2841,96	2683,26	2839,29
13/1/2019	77127,69	3019,00	2841,96	2693,73	2840,12
14/1/2019	78109,25	3010,51	2841,96	2710,11	2859,28
15/1/2019	78960,60	3105,61	2841,96	2600,10	2859,48
16/1/2019	78415,50	3071,70	2841,96	2715,26	2858,44
17/1/2019	77476,83	3079,69	2841,96	2728,94	2864,97
18/1/2019	77358,50	3083,80	2841,96	2739,12	2867,35
19/1/2019	75393,05	3117,52	2841,96	2736,80	2867,37
20/1/2019	74687,54	3043,79	2841,96	2698,58	2867,08
21/1/2019	75330,58	3035,35	2841,96	2739,19	2889,26
22/1/2019	75073,85	3087,60	2841,96	2699,72	2889,48
23/1/2019	74921,85	3104,51	2841,96	2744,63	2859,25
24/1/2019	70809,30	3007,30	2841,96	2732,69	2741,23
25/1/2019	70809,30	3007,30	2841,96	2726,32	2741,23
26/1/2019	72357,52	3183,34	2841,96	2743,40	2697,21
27/1/2019	71674,99	3212,92	2841,96	2716,35	2697,74
28/1/2019	72753,86	3215,67	2841,96	2714,58	2681,39
29/1/2019	74059,14	3215,33	2841,96	2690,97	2682,18
30/1/2019	75888,33	3214,90	2841,96	2677,87	2682,15
31/1/2019	74066,29	3159,72	2841,96	2658,22	2614,31
1/2/2019	61516,65	2267,23	2841,96	2702,14	2248,39
2/2/2019	70339,95	3278,04	2841,96	3101,01	2602,43
3/2/2019	69156,06	3300,04	2841,96	2798,93	2516,92
4/2/2019	67427,80	3282,47	2841,96	2832,31	2515,03
5/2/2019	65911,63	3311,42	2841,96	2798,51	2515,37
6/2/2019	67321,53	3233,25	2841,96	2783,72	2517,77
7/2/2019	67872,58	3244,22	2841,96	2835,39	2520,79
8/2/2019	68135,01	3243,22	2841,96	2841,54	2520,60
9/2/2019	67150,35	3240,64	2841,96	3167,50	2498,61
10/2/2019	67758,94	3235,96	2841,96	3176,50	2486,02
11/2/2019	67803,96	3239,87	2841,96	2403,46	2486,30
12/2/2019	67087,98	3246,32	2841,96	2301,64	2486,72
13/2/2019	68561,46	3242,55	2841,96	2286,93	2494,89
14/2/2019	67721,71	3244,62	2841,96	2856,92	2493,83
15/2/2019	68112,94	3269,51	2841,96	2855,22	2494,07
16/2/2019	68608,54	3300,09	2841,96	2843,93	2504,39
17/2/2019	68203,60	3304,81	2841,96	2834,76	2508,35
18/2/2019	67439,49	3301,20	2841,96	2840,44	2508,82
19/2/2019	67688,77	3295,48	2841,96	2871,64	2509,47
20/2/2019	67925,06	3282,52	2841,96	2806,65	2520,77
21/2/2019	67926,55	3287,38	2841,96	2806,78	2520,76
22/2/2019	67673,86	3289,89	2841,96	2794,39	2521,02
23/2/2019	71874,13	3378,87	2841,96	2799,10	2750,33
24/2/2019	72784,84	3386,43	2841,96	2831,58	2801,88

25/2/2019	70929,55	3667,82	2841,96	2814,44	2829,87
26/2/2019	73412,31	3497,60	2841,96	2784,12	2865,43
27/2/2019	73876,31	3436,80	2841,96	2890,23	2910,44
28/2/2019	74222,24	3463,31	2841,96	2907,57	2910,65
1/3/2019	74049,87	3472,59	2841,96	2896,31	2908,61
2/3/2019	74293,07	3470,13	2841,96	2888,18	2910,40

Πίνακας 4.3: Οι τιμές των μεταβλητών εισόδου από 1/1/2019 έως 2/3/2019 για τον υπολογισμό των αποδοτικών ημερών.

Ως παραγόμενο αποτέλεσμα από την λειτουργία της μονάδας θα θεωρήσουμε την ποσότητα του αργού πετρελαίου η οποία διυλίζεται. Αυτός είναι άλλωστε και ο σκοπός λειτουργίας της μονάδας. Η επιλογή των επιμέρους προϊόντων ως εκροές της λειτουργίας της μονάδας δεν θα εξυπηρετούσε στην εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων διότι το ποσοστό κάθε προϊόντος στο σύνολό της παραγωγής των προϊόντων δεν εξαρτάται από την λειτουργία της μονάδας αλλά από την σύσταση του αργού πετρελαίου. Κατά την διάρκεια που έχουν ληφθεί τα στοιχεία στην εφαρμογή μας η σύσταση του αργού πετρελαίου παραμένει σταθερή όπως προαναφέραμε. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι ποσότητες αργού πετρελαίου που διαλύθηκαν κάθε μέρα της περιόδου που εξετάζουμε στην συγκεκριμένη μονάδα.

Ημέρα Αναφοράς	Ποσότητα Αργού Πετρελαίου που διαλύθηκε (tn)
1/1/2019	9907,417
2/1/2019	9906,203
3/1/2019	9902,070
4/1/2019	9899,825
5/1/2019	9900,937
6/1/2019	9900,099
7/1/2019	9410,898
8/1/2019	9183,791
9/1/2019	9924,275
10/1/2019	10142,427
11/1/2019	10144,610
12/1/2019	10140,336
13/1/2019	10143,276
14/1/2019	10211,720
15/1/2019	9912,413
16/1/2019	10208,717
17/1/2019	10232,039
18/1/2019	10240,525
19/1/2019	10140,614
20/1/2019	10139,569
21/1/2019	10318,803

22/1/2019	10319,562
23/1/2019	10211,600
24/1/2019	9690,119
25/1/2019	9636,267
26/1/2019	9632,900
27/1/2019	9632,900
28/1/2019	9576,394
29/1/2019	9579,213
30/1/2019	9579,118
31/1/2019	9336,810
1/2/2019	7194,243
2/2/2019	9294,404
3/2/2019	8989,002
4/2/2019	8982,266
5/2/2019	8983,482
6/2/2019	8992,047
7/2/2019	9002,834
8/2/2019	9002,137
9/2/2019	8923,609
10/2/2019	8878,630
11/2/2019	8879,652
12/2/2019	9281,135
13/2/2019	9530,331
14/2/2019	8906,532
15/2/2019	8907,380
16/2/2019	8944,266
17/2/2019	8958,397
18/2/2019	8960,071
19/2/2019	8962,387
20/2/2019	9002,746
21/2/2019	9002,711
22/2/2019	9003,645
23/2/2019	9822,601
24/2/2019	10006,720
25/2/2019	9996,669
26/2/2019	10033,690
27/2/2019	10194,419
28/2/2019	10295,166
1/3/2019	10187,908
2/3/2019	10194,277

Πίνακας 4.4: Ποσότητες αργού πετρελαίου που διωλίσθησαν από την μονάδα κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Η ημερήσια αποδοτικότητα προκύπτει, όπως έχουμε αναφέρει, ως το πηλίκο που έχει αριθμητή το πραγματοποιηθέν αποτέλεσμα (εκροή) και ως παρονομαστή τα κόστη ή τις θυσίες που έγιναν για την πραγματοποίηση του αποτελέσματος (εισροές). Επομένως με την διαίρεση της ποσότητας αργού πετρελαίου που διαλύθηκε κάθε ημέρα με το σύνολο των δαπανών, έχουμε την αποδοτικότητα κάθε ημέρας συνολικά όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5 που ακολουθεί. Παρατηρώντας τον πίνακα 4.5 βρίσκουμε ότι η καλύτερη ημερήσια επίδοση (μεγαλύτερη τιμή αποδοτικότητας) είναι

της 8/1/2019 στην οποία διαλύθηκαν 0,124279 τόνοι αργού πετρελαίου για κάθε ευρώ που δαπανήθηκε. Η χειρότερη ημερήσια επίδοση παρατηρείται της 1/2/2019 στην οποία διαλύθηκαν 0,100511 τόνοι αργού πετρελαίου για κάθε ευρώ που δαπανήθηκε

Αν προσθέσουμε όλες τις ημερήσιες ποσότητες αργού πετρελαίου που διαλύθηκε μπορούμε πολύ εύκολα να βρούμε την συνολική ποσότητα που διαλύθηκε την περίοδο που εξετάζουμε η οποία είναι 584418,806 τόνους. Επίσης μπορούμε να υπολογίσουμε και τις συνολικές δαπάνες που απαιτήθηκαν για την διύλιση της συνολικής ποσότητας αργού πετρελαίου, οι οποίες με πρόσθεση των επιμέρους δαπανών όλων των ημερών είναι 5062748,96€. Αν διαιρέσουμε την συνολική ποσότητα που διαλύθηκε ως προς τις συνολικές δαπάνες παίρνουμε την σωρευτική αποδοτικότητα η οποία είναι $584418,806/5062748,96= 0,115435\text{tn}/\text{€}$

<u>Ημέρα Αναφοράς</u>	<u>Ημερήσιο Σύνολο Δαπανών (€)</u>	<u>Ημερήσια Ποσότητα Αργού Πετρελαίου που διαλύθηκε (tn)</u>	<u>Ημερήσια Αποδοτικότητα (tn/€)</u>
1/1/2019	86182,46	9907,417	0,114959
2/1/2019	84655,96	9906,203	0,117017
3/1/2019	84766,06	9902,070	0,116816
4/1/2019	85602,85	9899,825	0,115648
5/1/2019	83556,65	9900,937	0,118494
6/1/2019	85232,72	9900,099	0,116154
7/1/2019	79665,25	9410,898	0,118131
8/1/2019	73896,50	9183,791	0,124279
9/1/2019	79967,58	9924,275	0,124104
10/1/2019	82610,94	10142,427	0,122773
11/1/2019	87583,44	10144,610	0,115828
12/1/2019	87265,08	10140,336	0,116202
13/1/2019	88522,49	10143,276	0,114584
14/1/2019	89531,11	10211,720	0,114058
15/1/2019	90367,76	9912,413	0,109690
16/1/2019	89902,86	10208,717	0,113553
17/1/2019	88992,39	10232,039	0,114977
18/1/2019	88890,72	10240,525	0,115204
19/1/2019	86956,70	10140,614	0,116617
20/1/2019	86138,95	10139,569	0,117712
21/1/2019	86836,35	10318,803	0,118830

22/1/2019	86592,61	10319,562	0,119174
23/1/2019	86472,20	10211,600	0,118091
24/1/2019	82132,48	9690,119	0,117982
25/1/2019	82126,11	9636,267	0,117335
26/1/2019	83823,44	9632,900	0,114919
27/1/2019	83143,97	9632,900	0,115858
28/1/2019	84207,46	9576,394	0,113724
29/1/2019	85489,57	9579,213	0,112051
30/1/2019	87305,21	9579,118	0,109720
31/1/2019	85340,50	9336,810	0,109407
1/2/2019	71576,37	7194,243	0,100511
2/2/2019	82163,39	9294,404	0,113121
3/2/2019	80613,91	8989,002	0,111507
4/2/2019	78899,58	8982,266	0,113844
5/2/2019	77378,89	8983,482	0,116097
6/2/2019	78698,24	8992,047	0,114260
7/2/2019	79314,94	9002,834	0,113507
8/2/2019	79582,32	9002,137	0,113117
9/2/2019	78899,06	8923,609	0,113102
10/2/2019	79499,38	8878,630	0,111682
11/2/2019	78775,55	8879,652	0,112721
12/2/2019	77964,62	9281,135	0,119043
13/2/2019	79427,80	9530,331	0,119987
14/2/2019	79159,04	8906,532	0,112514
15/2/2019	79573,69	8907,380	0,111939
16/2/2019	80098,91	8944,266	0,111665
17/2/2019	79693,48	8958,397	0,112411
18/2/2019	78931,91	8960,071	0,113516
19/2/2019	79207,32	8962,387	0,113151
20/2/2019	79376,96	9002,746	0,113418
21/2/2019	79383,43	9002,711	0,113408
22/2/2019	79121,13	9003,645	0,113796
23/2/2019	83644,39	9822,601	0,117433
24/2/2019	84646,69	10006,720	0,118218
25/2/2019	83083,63	9996,669	0,120321
26/2/2019	85401,42	10033,690	0,117489
27/2/2019	85955,73	10194,419	0,118601
28/2/2019	86345,73	10295,166	0,119232
1/3/2019	86169,34	10187,908	0,118231
2/3/2019	86403,74	10194,277	0,117984

Πίνακας 4.5: Ημερήσιες αποδοτικότητες της υπό εξέταση μονάδας κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

4.5 Υπολογισμοί (DEA και BP)

Ο υπολογισμός των δεικτών σχετικής αποδοτικότητας για τις ημερήσιες αποδοτικότητες κάθε ημέρας και ο προσδιορισμός των ημερών που συνθέτουν το υποσύνολο ημερών βασικής γραμμής θα πραγματοποιηθεί με το δωρεάν λογισμικό Efficiency Measurement System (EMS) που έχει δημιουργηθεί από το πανεπιστήμιο του Dortmund.

Στην συνέχεια θα κάνουμε εφαρμογή του προγράμματος EMS στα δεδομένα που φαίνονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Ημέρα Αναφοράς	Είσοδοι					Έξοδος
	Κόστος Καυσίμων (€)	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (€)	Δαπάνη Ημερομισθίων (€)	Κόστος Ατμού-Νερού (€)	Κόστος Χημικών (€)	Ημερήσια Ποσότητα Αργού Πετρελαίου που διαλύθηκε (tn)
1/1/2019	74925,19	2973,58	2841,96	2667,65	2774,08	9907,417
2/1/2019	73403,66	2975,51	2841,96	2661,10	2773,74	9906,203
3/1/2019	73499,04	2975,23	2841,96	2677,25	2772,58	9902,070
4/1/2019	74362,80	2975,95	2841,96	2650,19	2771,95	9899,825
5/1/2019	72302,53	2974,18	2841,96	2665,72	2772,26	9900,937
6/1/2019	73982,07	2977,81	2841,96	2658,84	2772,03	9900,099
7/1/2019	68573,00	2947,06	2841,96	2668,18	2635,05	9410,898
8/1/2019	63001,21	2932,79	2841,96	2549,08	2571,46	9183,791

9/1/2019	68820,48	2979,44	2841,96	2546,90	2778,80	9924,275
10/1/2019	71260,55	2992,03	2841,96	2676,51	2839,88	10142,427
11/1/2019	76201,36	3022,88	2841,96	2676,75	2840,49	10144,610
12/1/2019	75865,57	3035,00	2841,96	2683,26	2839,29	10140,336
13/1/2019	77127,69	3019,00	2841,96	2693,73	2840,12	10143,276
14/1/2019	78109,25	3010,51	2841,96	2710,11	2859,28	10211,720
15/1/2019	78960,60	3105,61	2841,96	2600,10	2859,48	9912,413
16/1/2019	78415,50	3071,70	2841,96	2715,26	2858,44	10208,717
17/1/2019	77476,83	3079,69	2841,96	2728,94	2864,97	10232,039
18/1/2019	77358,50	3083,80	2841,96	2739,12	2867,35	10240,525
19/1/2019	75393,05	3117,52	2841,96	2736,80	2867,37	10140,614
20/1/2019	74687,54	3043,79	2841,96	2698,58	2867,08	10139,569
21/1/2019	75330,58	3035,35	2841,96	2739,19	2889,26	10318,803
22/1/2019	75073,85	3087,60	2841,96	2699,72	2889,48	10319,562
23/1/2019	74921,85	3104,51	2841,96	2744,63	2859,25	10211,600
24/1/2019	70809,30	3007,30	2841,96	2732,69	2741,23	9690,119
25/1/2019	70809,30	3007,30	2841,96	2726,32	2741,23	9636,267
26/1/2019	72357,52	3183,34	2841,96	2743,40	2697,21	9632,900
27/1/2019	71674,99	3212,92	2841,96	2716,35	2697,74	9632,900
28/1/2019	72753,86	3215,67	2841,96	2714,58	2681,39	9576,394
29/1/2019	74059,14	3215,33	2841,96	2690,97	2682,18	9579,213
30/1/2019	75888,33	3214,90	2841,96	2677,87	2682,15	9579,118
31/1/2019	74066,29	3159,72	2841,96	2658,22	2614,31	9336,810
1/2/2019	61516,65	2267,23	2841,96	2702,14	2248,39	7194,243
2/2/2019	70339,95	3278,04	2841,96	3101,01	2602,43	9294,404
3/2/2019	69156,06	3300,04	2841,96	2798,93	2516,92	8989,002
4/2/2019	67427,80	3282,47	2841,96	2832,31	2515,03	8982,266
5/2/2019	65911,63	3311,42	2841,96	2798,51	2515,37	8983,482
6/2/2019	67321,53	3233,25	2841,96	2783,72	2517,77	8992,047
7/2/2019	67872,58	3244,22	2841,96	2835,39	2520,79	9002,834
8/2/2019	68135,01	3243,22	2841,96	2841,54	2520,60	9002,137
9/2/2019	67150,35	3240,64	2841,96	3167,50	2498,61	8923,609
10/2/2019	67758,94	3235,96	2841,96	3176,50	2486,02	8878,630
11/2/2019	67803,96	3239,87	2841,96	2403,46	2486,30	8879,652
12/2/2019	67087,98	3246,32	2841,96	2301,64	2486,72	9281,135
13/2/2019	68561,46	3242,55	2841,96	2286,93	2494,89	9530,331
14/2/2019	67721,71	3244,62	2841,96	2856,92	2493,83	8906,532
15/2/2019	68112,94	3269,51	2841,96	2855,22	2494,07	8907,380
16/2/2019	68608,54	3300,09	2841,96	2843,93	2504,39	8944,266
17/2/2019	68203,60	3304,81	2841,96	2834,76	2508,35	8958,397
18/2/2019	67439,49	3301,20	2841,96	2840,44	2508,82	8960,071
19/2/2019	67688,77	3295,48	2841,96	2871,64	2509,47	8962,387
20/2/2019	67925,06	3282,52	2841,96	2806,65	2520,77	9002,746
21/2/2019	67926,55	3287,38	2841,96	2806,78	2520,76	9002,711
22/2/2019	67673,86	3289,89	2841,96	2794,39	2521,02	9003,645
23/2/2019	71874,13	3378,87	2841,96	2799,10	2750,33	9822,601
24/2/2019	72784,84	3386,43	2841,96	2831,58	2801,88	10006,720
25/2/2019	70929,55	3667,82	2841,96	2814,44	2829,87	9996,669
26/2/2019	73412,31	3497,60	2841,96	2784,12	2865,43	10033,690
27/2/2019	73876,31	3436,80	2841,96	2890,23	2910,44	10194,419
28/2/2019	74222,24	3463,31	2841,96	2907,57	2910,65	10295,166
1/3/2019	74049,87	3472,59	2841,96	2896,31	2908,61	10187,908

2/3/2019	74293,07	3470,13	2841,96	2888,18	2910,40	10194,277
----------	----------	---------	---------	---------	---------	-----------

Πίνακας 4.6: Δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα EMS για την υπό εξέταση μονάδα κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Για την εφαρμογή της DEA, κάθε ημέρα λειτουργίας λαμβάνεται ως ένα DMU που έχει πέντε εισόδους, οι οποίες είναι οι πέντε κατηγορίες δαπανών που προκύπτουν για την λειτουργία της μονάδας και μία εξόδους που είναι οι ποσότητα αργού πετρελαίου που διυλίσθησε κάθε μέρα. Με την εφαρμογή του λογισμικού EMS στα δεδομένα μας με χρήση του μοντέλου CCR και προσανατολισμό στις εκροές, έχουμε:

<u>DMU</u>	<u>Score</u>
1/1/2019	99,41%
2/1/2019	99,38%
3/1/2019	99,37%
4/1/2019	99,36%
5/1/2019	99,39%
6/1/2019	99,34%
7/1/2019	98,18%
8/1/2019	100,00%
9/1/2019	100,00%
10/1/2019	100,00%
11/1/2019	99,69%
12/1/2019	99,50%
13/1/2019	99,65%
14/1/2019	99,94%
15/1/2019	97,98%
16/1/2019	99,53%
17/1/2019	99,63%
18/1/2019	99,66%
19/1/2019	98,69%
20/1/2019	98,88%
21/1/2019	100,00%
22/1/2019	100,00%
23/1/2019	99,54%
24/1/2019	97,75%
25/1/2019	97,21%
26/1/2019	96,96%
27/1/2019	97,01%
28/1/2019	96,70%
29/1/2019	96,71%
30/1/2019	96,71%
31/1/2019	95,77%
1/2/2019	93,34%
2/2/2019	95,37%
3/2/2019	93,89%
4/2/2019	94,89%

5/2/2019	96,18%
6/2/2019	95,05%
7/2/2019	94,68%
8/2/2019	94,46%
9/2/2019	94,75%
10/2/2019	93,96%
11/2/2019	93,92%
12/2/2019	98,82%
13/2/2019	100,00%
14/2/2019	94,16%
15/2/2019	93,84%
16/2/2019	93,70%
17/2/2019	94,11%
18/2/2019	94,73%
19/2/2019	94,55%
20/2/2019	94,63%
21/2/2019	94,63%
22/2/2019	94,84%
23/2/2019	98,05%
24/2/2019	98,86%
25/2/2019	98,87%
26/2/2019	98,00%
27/2/2019	99,19%
28/2/2019	100,00%
1/3/2019	99,04%
2/3/2019	99,00%

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα από την εφαρμογή στο πρόγραμμα EMS στα δεδομένα της υπό εξέτασης μονάδας.

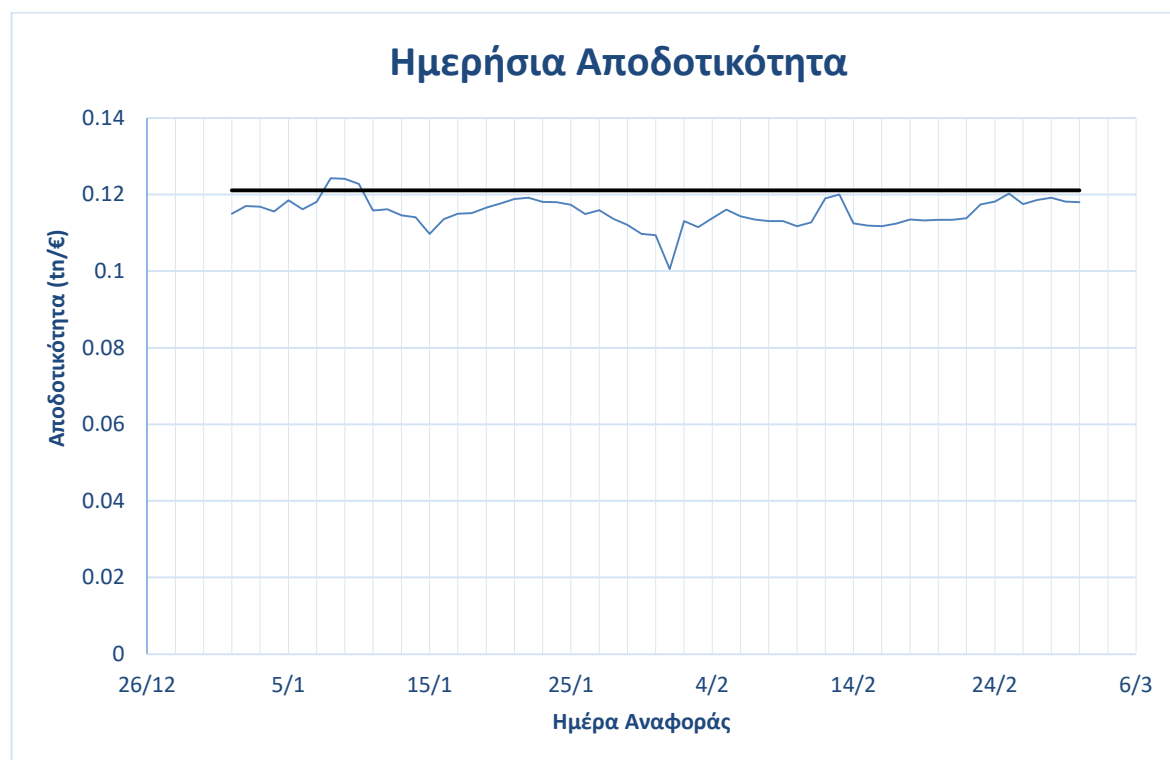
Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι εργάσιμες ημέρες (DMU) με ημερομηνίες 8/1/2019, 9/1/2019, 10/1/2019, 21/1/2019, 22/1/2019, 13/2/2019 και 28/2/2019 αποτελούν το υποσύνολο ημερών βασικής γραμμής αφού για αυτές τις ημέρες ισχύει Score = 100%. Από τις αποδοτικότητες αυτών των ημερών θα ανακτηθεί η αποδοτικότητα βασικής γραμμής, που είναι το άθροισμα των τόνων αργού πετρελαίου που διυλίσθηκαν σε αυτές τις ημέρες προς το άθροισμα των συνολικών δαπανών των συγκεκριμένων ημερών. Η αποδοτικότητα βασικής γραμμής για την δραστηριότητα του παραδείγματός μας είναι 0,1211 tn/€όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

<u>Ημέρα Αναφοράς</u>	<u>Ημερήσιο Σύνολο Δαπανών (€)</u>	<u>Ημερήσια Ποσότητα Αργού Πετρελαίου που διαλύθηκε (tn)</u>	<u>Ημερήσια Αποδοτικότητα (tn/€)</u>
8/1/2019	73896,50	9183,791	0,124279
9/1/2019	79967,58	9924,275	0,124104
10/1/2019	82610,94	10142,427	0,122773
21/1/2019	86836,35	10318,803	0,118830
22/1/2019	86592,61	10319,562	0,119174
13/2/2019	79427,80	9530,331	0,119987
28/2/2019	86345,73	10295,166	0,119232

<u>Σύνολο</u>	<u>575677,51</u>	<u>69714,36</u>	<u>0,121100</u>
---------------	------------------	-----------------	-----------------

Πίνακας 4.8: Ημέρες του συνόλου αποδοτικότητας βασικής γραμμής της εξεταζόμενης μονάδας κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Παρατηρώντας τον πίνακα 4.7 ο οποίος δείχνει τα αποτελέσματα κάθε ημέρας που εξετάζουμε, διαπιστώνουμε ότι στο σύνολο τους οι ημέρες έχουν πολύ καλά αποτελέσματα, αφού τα scores που κατέχουν δεν απέχουν πολύ από το 100% που έχουν οι αποδοτικές ημέρες της Βασικής Γραμμής. Διαπιστώνουμε έτσι ότι στην περίοδο που εξετάζουμε δεν υπάρχει ημέρα λειτουργίας η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως διαταραγμένη. Για να χαρακτηρίσουμε μια ημέρα λειτουργίας ως διαταραγμένη (λόγω αφύσικων-απρόβλεπτων καταστάσεων), θα πρέπει η αποδοτικότητα της ημέρας αυτής να είναι μικρότερη από την μισή τιμή της αποδοτικότητας βάσης. Δηλαδή η τιμή της να είναι μικρότερη από $0,5 \cdot 0,1211 = 0,6055 \text{ tn/€}$. Στο διάγραμμα 4.1 που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές της ημερήσια αποδοτικότητας κάθε ημέρας λειτουργίας που εξετάζουμε σε σχέση με την αποδοτικότητα βάσης (έντονη μαύρη γραμμή) που έχουμε υπολογίσει.



Διάγραμμα 4.1: Ημερήσιες αποδοτικότητες κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την αποδοτικότητα βασικής γραμμής κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Αφού προσδιορίστηκαν οι ημέρες της βασικής γραμμής αποδοτικότητας της εξεταζόμενης μονάδας και υπολογίσαμε την τιμή της αποδοτικότητας βασικής γραμμής που είναι 0,1211 tn/€ θα πρέπει να υπολογίσουμε και τις τμηματικές ημερήσιες αποδοτικότητες για κάθε δαπάνη. Η τμηματική αποδοτικότητα κάθε δαπάνης ορίζεται ως το πηλίκο που έχει αριθμητή το πραγματοποιηθέν αποτέλεσμα (εκροή) και ως παρονομαστή το κόστος της συγκεκριμένης δαπάνης. Ο υπολογισμός των τμηματικών αποδόσεων μπορεί να γίνει διότι τα κόστη των επιμέρους δαπανών είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, δηλαδή το κόστος κάποιας εκ των δαπανών δεν μπορεί να αντικαταστήσει μέρος ή εξ' ολοκλήρου το κόστος μιας άλλης δαπάνης. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τμηματικές αποδοτικότητες κάθε δαπάνης, όπως επίσης και η ημερήσια αποδοτικότητα της μονάδας. Οι τιμές με έντονα γράμματα και περίγραμμα αποτελούν τις ημέρες λειτουργίας που ανήκουν στο σύνολο ημερών βασικής γραμμής.

<u>Ημέρα Αναφοράς</u>	<u>Τμημ. Αποδοτικ. Καυσίμων (tn/€)</u>	<u>Τμημ. Αποδοτικ. Ηλεκτρικής Ενέργειας (tn/€)</u>	<u>Τμημ. Αποδοτικ. Ημερομισθίων (tn/€)</u>	<u>Τμημ. Αποδοτικ. Ατμού-Νερού (tn/€)</u>	<u>Τμημ. Αποδοτικ. Χημικών (tn/€)</u>	<u>Ημερήσια Αποδοτικ. (tn/€)</u>
1/1/2019	0,1322	3,3318	3,4861	3,7139	3,5714	0,1150
2/1/2019	0,1350	3,3292	3,4857	3,7226	3,5714	0,1170
3/1/2019	0,1347	3,3282	3,4842	3,6986	3,5714	0,1168
4/1/2019	0,1331	3,3266	3,4834	3,7355	3,5714	0,1156
5/1/2019	0,1369	3,3290	3,4838	3,7142	3,5714	0,1185
6/1/2019	0,1338	3,3246	3,4835	3,7235	3,5714	0,1162
7/1/2019	0,1372	3,1933	3,3114	3,5271	3,5714	0,1181
8/1/2019	0,1458	3,1314	3,2315	3,6028	3,5714	0,1243
9/1/2019	0,1442	3,3309	3,4921	3,8966	3,5714	0,1241
10/1/2019	0,1423	3,3898	3,5688	3,7894	3,5714	0,1228
11/1/2019	0,1331	3,3559	3,5696	3,7899	3,5714	0,1158
12/1/2019	0,1337	3,3411	3,5681	3,7791	3,5714	0,1162
13/1/2019	0,1315	3,3598	3,5691	3,7655	3,5714	0,1146
14/1/2019	0,1307	3,3920	3,5932	3,7680	3,5714	0,1141
15/1/2019	0,1255	3,1918	3,4879	3,8123	3,4665	0,1097
16/1/2019	0,1302	3,3235	3,5921	3,7598	3,5714	0,1136
17/1/2019	0,1321	3,3224	3,6003	3,7495	3,5714	0,1150
18/1/2019	0,1324	3,3207	3,6033	3,7386	3,5714	0,1152
19/1/2019	0,1345	3,2528	3,5682	3,7053	3,5366	0,1166
20/1/2019	0,1358	3,3312	3,5678	3,7574	3,5365	0,1177
21/1/2019	0,1370	3,3995	3,6309	3,7671	3,5714	0,1188
22/1/2019	0,1375	3,3423	3,6311	3,8225	3,5714	0,1192

23/1/2019	0,1363	3,2893	3,5932	3,7206	3,5714	0,1181
24/1/2019	0,1368	3,2222	3,4097	3,5460	3,5350	0,1180
25/1/2019	0,1361	3,2043	3,3907	3,5345	3,5153	0,1173
26/1/2019	0,1331	3,0260	3,3895	3,5113	3,5714	0,1149
27/1/2019	0,1344	2,9982	3,3895	3,5463	3,5707	0,1159
28/1/2019	0,1316	2,9780	3,3696	3,5278	3,5714	0,1137
29/1/2019	0,1293	2,9792	3,3706	3,5598	3,5714	0,1121
30/1/2019	0,1262	2,9796	3,3706	3,5771	3,5714	0,1097
31/1/2019	0,1261	2,9549	3,2853	3,5124	3,5714	0,1094
1/2/2019	0,1169	3,1731	2,5314	2,6624	3,1997	0,1005
2/2/2019	0,1321	2,8354	3,2704	2,9972	3,5714	0,1131
3/2/2019	0,1300	2,7239	3,1630	3,2116	3,5714	0,1115
4/2/2019	0,1332	2,7364	3,1606	3,1714	3,5714	0,1138
5/2/2019	0,1363	2,7129	3,1610	3,2101	3,5714	0,1161
6/2/2019	0,1336	2,7811	3,1640	3,2302	3,5714	0,1143
7/2/2019	0,1326	2,7750	3,1678	3,1752	3,5714	0,1135
8/2/2019	0,1321	2,7757	3,1676	3,1680	3,5714	0,1131
9/2/2019	0,1329	2,7537	3,1399	2,8172	3,5714	0,1131
10/2/2019	0,1310	2,7437	3,1241	2,7951	3,5714	0,1117
11/2/2019	0,1310	2,7407	3,1245	3,6945	3,5714	0,1127
12/2/2019	0,1383	2,8590	3,2658	4,0324	3,7323	0,1190
13/2/2019	0,1390	2,9391	3,3534	4,1673	3,8199	0,1200
14/2/2019	0,1315	2,7450	3,1339	3,1175	3,5714	0,1125
15/2/2019	0,1308	2,7244	3,1342	3,1197	3,5714	0,1119
16/2/2019	0,1304	2,7103	3,1472	3,1450	3,5714	0,1117
17/2/2019	0,1313	2,7107	3,1522	3,1602	3,5714	0,1124
18/2/2019	0,1329	2,7142	3,1528	3,1545	3,5714	0,1135
19/2/2019	0,1324	2,7196	3,1536	3,1210	3,5714	0,1132
20/2/2019	0,1325	2,7426	3,1678	3,2076	3,5714	0,1134
21/2/2019	0,1325	2,7386	3,1678	3,2075	3,5714	0,1134
22/2/2019	0,1330	2,7368	3,1681	3,2220	3,5714	0,1138
23/2/2019	0,1367	2,9071	3,4563	3,5092	3,5714	0,1174
24/2/2019	0,1375	2,9549	3,5211	3,5340	3,5714	0,1182
25/2/2019	0,1409	2,7255	3,5175	3,5519	3,5326	0,1203
26/2/2019	0,1367	2,8687	3,5306	3,6039	3,5016	0,1175
27/2/2019	0,1380	2,9663	3,5871	3,5272	3,5027	0,1186
28/2/2019	0,1387	2,9726	3,6226	3,5408	3,5371	0,1192
1/3/2019	0,1376	2,9338	3,5848	3,5175	3,5027	0,1182
2/3/2019	0,1372	2,9377	3,5871	3,5297	3,5027	0,1180

Πίνακας 4.9: Οι τμηματικές αποδοτικότητες κάθε δαπάνης αποδοτικότητας της εξεταζόμενης μονάδας κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Από το σύνολο των ημερών της BP, θα ανακτηθούν οι τμηματικές αποδοτικότητες βασικής γραμμής, που είναι το άθροισμα των τόνων αργού πετρελαίου που διυλίσθησαν σε αυτές τις ημέρες προς το άθροισμα του κόστους της αντίστοιχης δαπάνης των συγκεκριμένων ημερών.

Οπότε έχουμε:

Για την τμηματική αποδοτικότητα των καυσίμων,

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{καυσίμων}} = \frac{69714,36}{496270,37} \text{ tn/€}$$

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{καυσίμων}} = 0,1405 \text{ tn/€}$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας,

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ηλεκτρικής ενέργειας}} = \frac{69714,36}{21733,07} \text{ tn/€}$$

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ηλεκτρικής ενέργειας}} = 3,2078 \text{ tn/€}$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των ημερομισθίων,

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ημερομισθίων}} = \frac{69714,36}{19893,72} \text{ tn/€}$$

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ημερομισθίων}} = 3,5043 \text{ tn/€}$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα ατμού-νερού,

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ατμού-νερού}} = \frac{69714,36}{18405,9} \text{ tn/€}$$

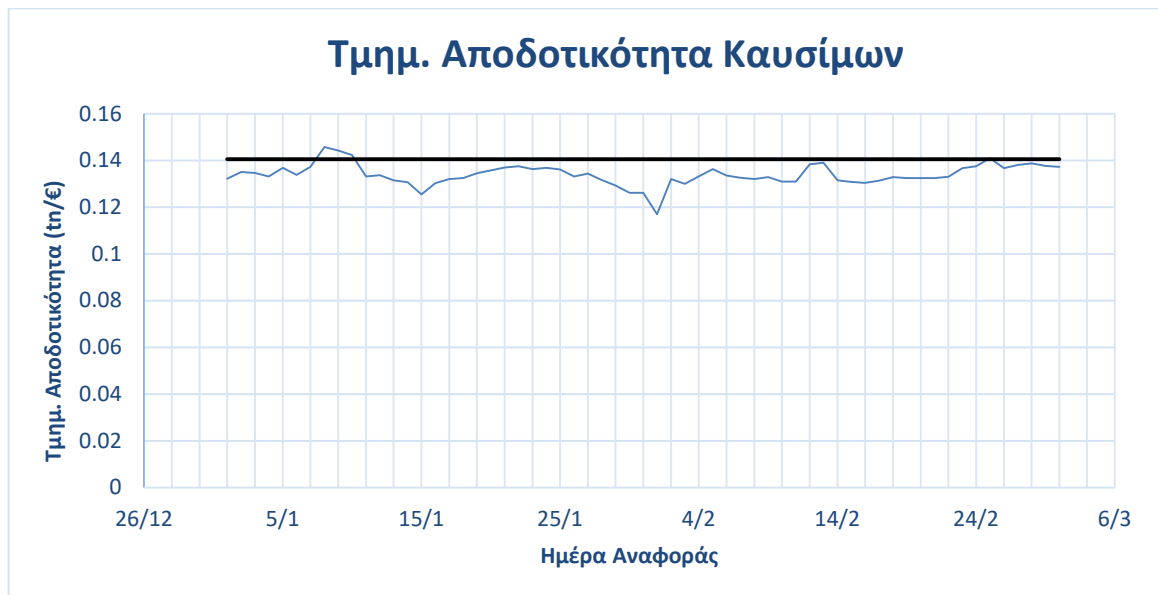
$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{ατμού-νερού}} = 3,7876 \text{ tn/€}$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των χημικών,

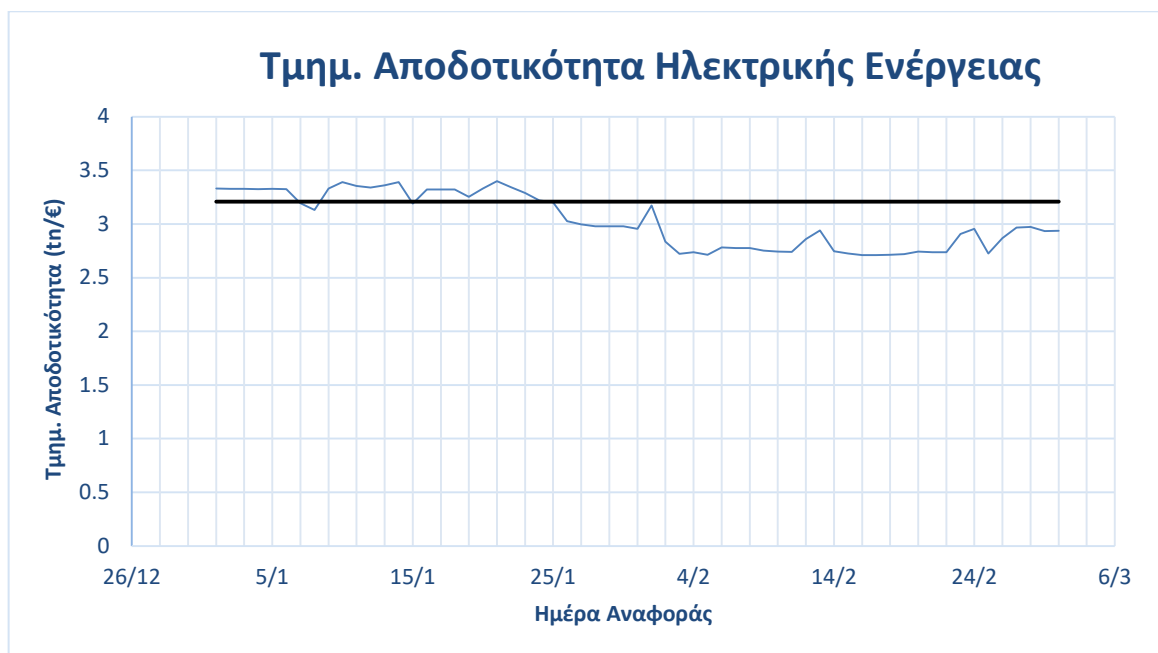
$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{χημικών}} = \frac{69714,36}{19374,42} \text{ tn/€}$$

$$\text{Αποδοτικότητα}_{\text{χημικών}} = 3,5983 \text{ tn/€}$$

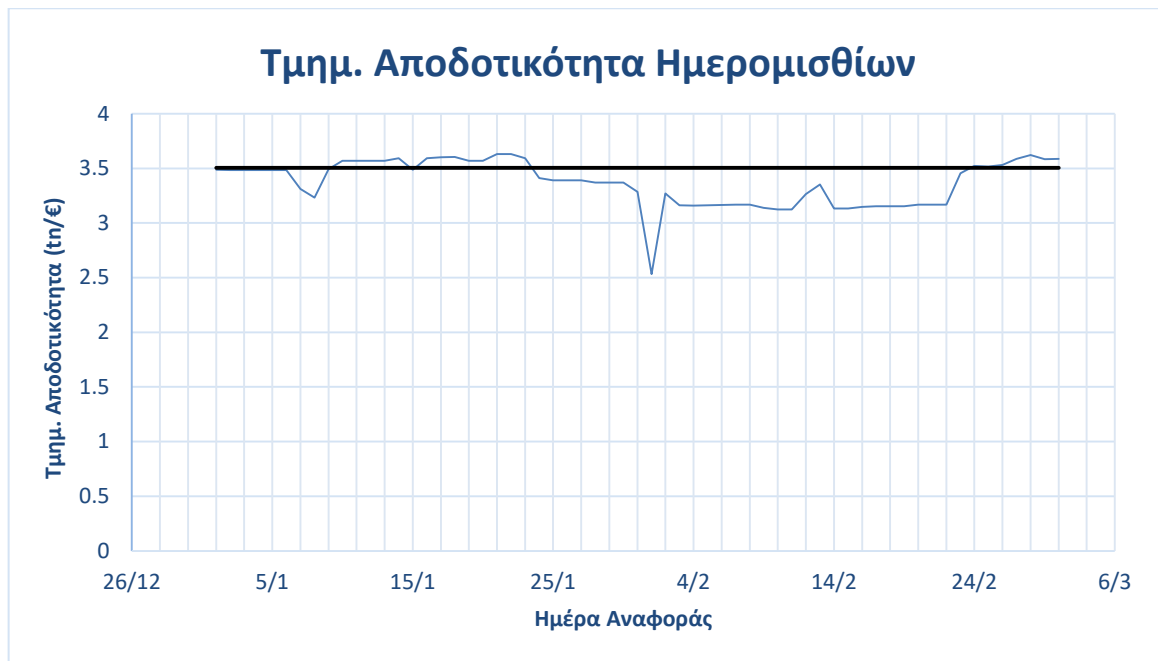
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η σχέση της τμηματικής αποδοτικότητας κάθε κόστους με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής που υπολογίσαμε για το αντίστοιχο κόστος.



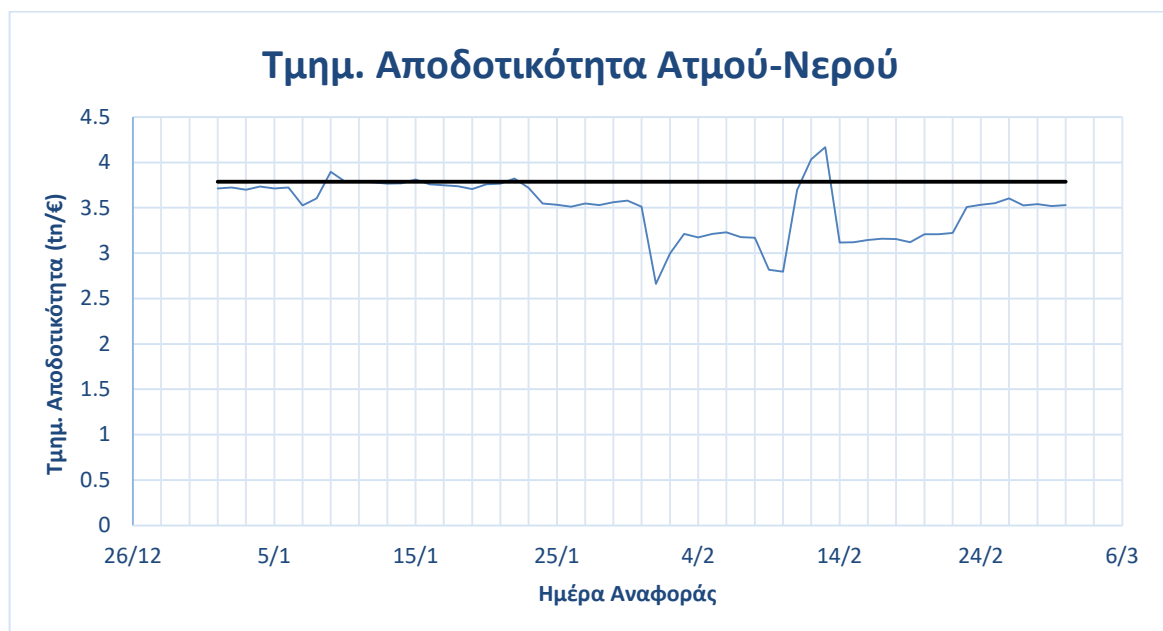
Διάγραμμα 4.2: Ημερήσιες τμηματικές αποδοτικότητες των καυσίμων κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής του συγκεκριμένου κόστους κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.



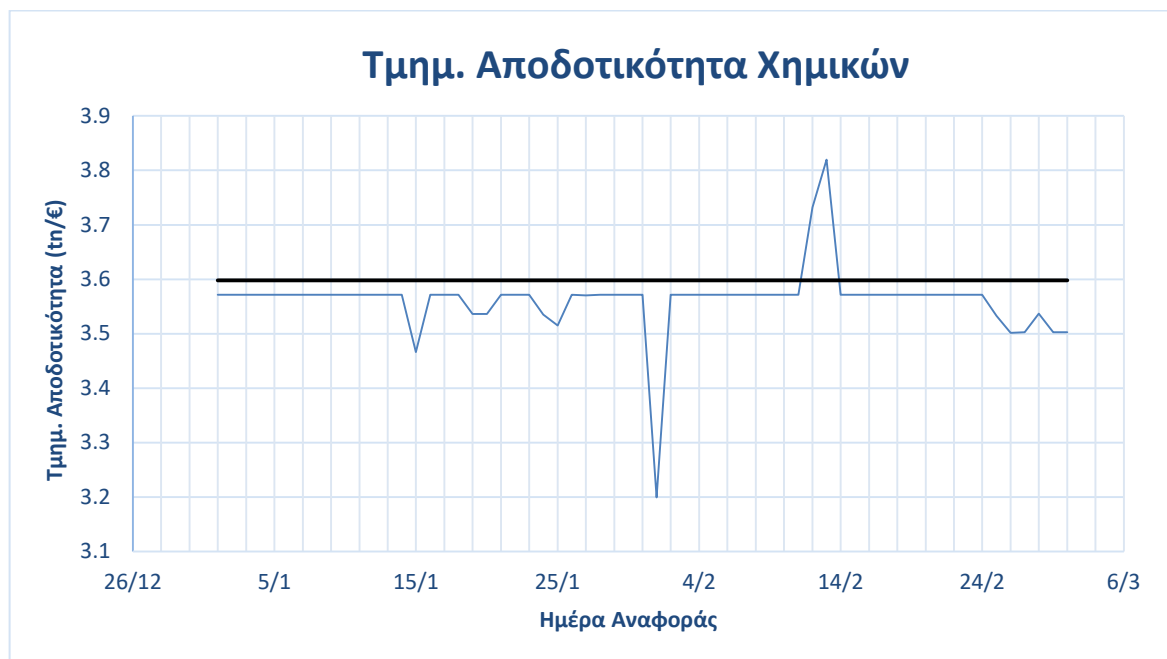
Διάγραμμα 4.3: Ημερήσιες τμηματικές αποδοτικότητες της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής του συγκεκριμένου κόστους κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.



Διάγραμμα 4.4: Ημερήσιες τμηματικές αποδοτικότητες των ημερομισθίων κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής του συγκεκριμένου κόστους κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.



Διάγραμμα 4.5: Ημερήσιες τμηματικές αποδοτικότητες του ατμού-νερού κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής του συγκεκριμένου κόστους κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.



Διάγραμμα 4.6: Ημερήσιες τμηματικές αποδοτικότητες των χημικών κάθε ημέρας λειτουργίας σε σχέση με την τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής του συγκεκριμένου κόστους κατά την περίοδο 1/1/2019 έως 2/3/2019.

Ως πρώτο βήμα κατά την αξιολόγηση και σύγκριση των ημερών λειτουργίας με τις ημέρες που αποτελούν την Βασική Γραμμή είναι η σύγκριση της ημερήσιας αποδοτικότητας. Αν παρατηρήσουμε στον πίνακα 4.9 που απεικονίζει την ημερήσια αποδοτικότητα διαπιστώνουμε για παράδειγμα ότι στις 25/2/2019, η οποία είναι ημέρα που δεν θεωρείται αποδοτική και επιδέχεται βελτίωσης, η ημερήσια αποδοτικότητα είναι 0,1203 tn/€ που είναι πολύ κοντά στην ημερήσια αποδοτικότητα που προέκυψε από τις ημέρες της βασικής γραμμής που είναι 0,1211 tn/€. Επίσης παρατηρούμε ότι η τιμή της ημερήσιας αποδοτικότητας στις 25/2/2019 είναι μεγαλύτερη από την ημερήσια αποδοτικότητά ημερών που ανήκουν στην Βασική Γραμμή και θεωρούνται αποδοτικές. Το παράδοξο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις 25/2/2019 η τμηματική αποδοτικότητα των δαπανών για ηλεκτρική ενέργεια είναι 2,7275 tn/€ η οποία υπολείπεται κατά πολύ από την τμηματική αποδοτικότητά της ηλεκτρικής ενέργειας που προέκυψε από την βασική Γραμμή και είναι 3,2078 tn/€. Γι' αυτό το λόγο κατά τους υπολογισμούς της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων η συγκεκριμένη ημέρα δεν συγκέντρωσε score 100%. Την Συγκεκριμένη ημέρα ενώ η διαχείριση όλων των δαπανών πλην της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν πάρα πολύ καλή σε σχέση με την ποσότητα αργού πετρελαίου που διυλίσθηκε, προκύπτει ότι έχουμε ουσιαστικά σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πιο αποδοτικές ημέρες λειτουργίας της μονάδας είναι οι μέρες του ανήκουν στην αποδοτικότητα βασικής γραμμής. Οι συγκεκριμένες ημέρες μας δίνουν την πληροφορία για τα εξάγουμε την βέλτιστη μέση ημερήσια απόδοση όπως επίσης και τις βέλτιστες τμηματικές αποδόσεις κάθε δαπάνης στην λειτουργία της μονάδας. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να ορίζονται ως αρχική στόχοι για την απόδοση της λειτουργίας της μονάδας για κάθε νέα ημέρα λειτουργίας.

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου για τον προσδιορισμό των τιμών των βέλτιστων αποδόσεων πρέπει να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, διότι με την βελτίωση των αποδόσεων των νέων ημερών που προστίθενται στους παραπάνω υπολογισμούς, διαμορφώνεται κατάλληλα και το νέο σύνολο των ημερών Βασικής Γραμμής.

Οι μηχανικοί οι οποίοι είναι επιφορτισμένοι με την επίβλεψη της λειτουργίας την μονάδας θα πρέπει να συγκρίνουν με τις βέλτιστες τις νέες αποδοτικότητες που προκύπτουν για την απόδοση της λειτουργίας και κατόπιν εξέτασης να προχωρούν στις ανάλογες διορθωτικές κινήσεις όπου είναι απαραίτητο. Επίσης θα πρέπει να εξεταστεί κάθε ημέρα από τις ημέρες της περιόδου που μελετήθηκαν για να διαπιστωθούν που υπάρχουν τυχόν λάθη και κακοδιαχείριση ώστε να μην επαναληφθεί ξανά στο μέλλον.

Θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ό,τι η επιλογή των εισροών και των εκροών θα μπορούσε να ήταν διαφορετική, δηλαδή σαν εισροή για κάθε DMU να είχαμε μόνο μια τιμή που θα ήταν το άθροισμα των δαπανών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάκτηση μιας πιο καλής BP που θα προέκυπτε από λιγότερες ημέρες λειτουργίας. Η καλύτερη BP δεν διαφέρει σημαντικά από τη BP που υπολογίσαμε για την εν λόγω περίοδο λειτουργίας της συγκεκριμένης μονάδας, έρχεται όμως σε πλήρη ρήξη με την μέθοδο ανάκτησης BP των Thomas και Zavrski στην οποία ο ελάχιστος αριθμός των ημερών λειτουργίας που προσδιορίζουν την αποδοτικότητα βασικής γραμμής δεν μπορεί να είναι μικρότερος από πέντε. Ο λόγος ύπαρξης του κανόνα αυτού, στην μεθοδολογία των Thomas και Zavrski, είναι η μείωση της πιθανότητας αλλοίωσης του αποτελέσματος της BP λόγω ασυνήθιστα χαμηλών ή υψηλών τιμών στις ημερήσιες των δραστηριοτήτων.

Ένας περιορισμός της DEA είναι ό,τι όταν εφαρμόζεται η DEA, προτείνεται ο ελάχιστος αριθμός των DMU να είναι τριπλάσιος του αριθμού των μεταβλητών. Στην μελέτη περίπτωσής μας ο αριθμός των DMU είναι 61 ο οποίος είναι πολύ μεγαλύτερος από 18 ($= 3 * 6$). Ακόμη θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το μοντέλο της DEA που έχει επιλεγεί μπορεί να δεχθεί εκροή με μηδενικές τιμές.

4.6 Συγκριτική αξιολόγηση περιόδων λειτουργίας μονάδας διωλιστηρίου.

4.6.1 Δείκτης επίδοσης PR (Performance Ratio)

Για να μπορούν οι μηχανικοί και οι υπεύθυνοι λειτουργίας μιας μονάδας διωλιστηρίου να ελέγχουν γρήγορα και ευκολά την πορεία της απόδοσης λειτουργίας της θα πρέπει να συγκρίνουμε μεταξύ τους τις διάφορες χρονικές περιόδους που λειτουργεί. Οι χρονικές περίοδοι αυτοί μπορεί να έχουν διάρκεια 15 ημέρες, 1 μήνας, 3 μήνες, 6 μήνες, 1 χρόνος ή μεγαλύτερες ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν αλλά και το λόγο και σκοπό που γίνεται η συγκριτική αξιολόγηση. Αξιολόγηση μεταξύ χρονικών περιόδων μικρότερων των 15 ημερών δεν είναι σκόπιμη διότι μεμονωμένοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν κατά πολύ τα αποτελέσματα και να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Στην μελέτη περίπτωσης μας έχει επιλεγεί ως χρονική διάρκεια το δεκαπενθήμερο, έτσι οι χρονικές περίοδοι λειτουργίας που θα συγκριθούν μεταξύ τους είναι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου και το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου.

Το 1999 οι Thomas και Zavrski ανέπτυξαν ένα εννοιολογικό μοντέλο αξιολόγησης, για τη διεθνή συγκριτική αξιολόγηση της παραγωγικότητας. Για τη αξιολόγηση των αποδοτικότητας χρησιμοποιείται ο δείκτης επίδοσης PR (Performance Ratio) από το μοντέλο συγκριτικής αξιολόγησης που αναπτύχθηκε από τους Thomas και Zavrski και είναι γνωστό και ως θεωρητικό (εννοιολογικό) πρότυπο για τη διεθνή συγκριτική αξιολόγηση της παραγωγικότητας. Ο δείκτης επίδοσης ορίζεται ως ο λόγος της σωρευτικής αποδοτικότητας προς την αναμενόμενη αποδοτικότητα βασικής γραμμής (όπου αναμενόμενη αποδοτικότητα βασικής γραμμής προκύπτει από την μελέτη όλης της περιόδου εξέτασης της μονάδας λειτουργίας, δηλαδή στην περίπτωση από τις 1/1/2019 έως 2/3/2019).

$$\text{Δείκτης επίδοσης} = \frac{\text{Σωρευτική αποδοτικότητα}}{\text{Αναμενόμενη αποδοτικότητα βασικής γραμμής}} \quad (4.1)$$

Όσο υψηλότερος είναι ο δείκτης PR, τόσο καλύτερη είναι η επίδοση του έργου. Ο δείκτης PR εντοπίζει της χρονικές περιόδους με χαμηλή απόδοση.

Επομένως για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου εφαρμόζοντας τον τύπο 4.1 ο δείκτης επίδοσης για την ημερήσια αποδοτικότητα θα είναι:

$$PR_{\alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,1171}{0,1211} = 0,967$$

Η σωρευτική αποδοτικότητα την υπολογίζουμε με την διαίρεση της συνολικής ποσότητας πετρελαίου που διυλίσθηκε με το σύνολο δαπανών του δεκαπενθήμερου.

Ομοίως για τα υπόλοιπα δεκαπενθήμερα για την ημερήσια αποδοτικότητα έχουμε:

$$PR_{\beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,1153}{0,1211} = 0,952$$

$$PR_{\alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1131}{0,1211} = 0,935$$

$$PR_{\beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1157}{0,1211} = 0,955$$

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω το πιο αποδοτικό δεκαπενθήμερο για την ημερήσια αποδοτικότητα είναι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, αφού ο δείκτης επίδοσης PR έχει την μεγαλύτερη τιμή.

Ο δείκτης επίδοσης μπορεί να εφαρμοστεί εκτός από τις ημερήσιες αποδοτικότητες και στις τμηματικές αποδοτικότητες κάθε κόστους για κάθε δεκαπενθήμερο.

Επομένως για την τμηματική αποδοτικότητα των καυσίμων, οι δείκτες επίδοσης για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$PR_{\text{Καυσίμων } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,1351}{0,1405} = 0,961$$

$$PR_{\text{Καυσίμων } \beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,1331}{0,1405} = 0,947$$

$$PR_{\text{Καυσίμων } \alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1322}{0,1405} = 0,941$$

$$PR_{\text{Καυσίμων } \beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1350}{0,1405} = 0,961$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, οι δείκτες επίδοσης για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$PR_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{3,3105}{3,2078} = 1,032$$

$$PR_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{3,1796}{3,2078} = 0,991$$

$$PR_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{2,7934}{3,2078} = 0,871$$

$$PR_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{2,8065}{3,2078} = 0,875$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των ημερομισθίων, οι δείκτες επίδοσης για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$PR_{\text{Ημερομισθίων } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{3,4866}{3,5043} = 0,995$$

$$PR_{\text{Ημερομισθίων β' Ιανουαρίου}} = \frac{3,4852}{3,5043} = 0,995$$

$$PR_{\text{Ημερομισθίων α' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,1375}{3,5043} = 0,895$$

$$PR_{\text{Ημερομισθίων β' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,3342}{3,5043} = 0,951$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα του ατμού-νερού, οι δείκτες επίδοσης για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$PR_{\text{Ατμού-Νερού α' Ιανουαρίου}} = \frac{3,7358}{3,7876} = 0,986$$

$$PR_{\text{Ατμού-Νερού β' Ιανουαρίου}} = \frac{3,6462}{3,7876} = 0,963$$

$$PR_{\text{Ατμού-Νερού α' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,2042}{3,7876} = 0,846$$

$$PR_{\text{Ατμού-Νερού β' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,3450}{3,7876} = 0,883$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των χημικών, οι δείκτες επίδοσης για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$PR_{\text{Χημικών α' Ιανουαρίου}} = \frac{3,5642}{3,5983} = 0,991$$

$$PR_{\text{Χημικών β' Ιανουαρίου}} = \frac{3,5611}{3,5983} = 0,990$$

$$PR_{\text{Χημικών α' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,5764}{3,5983} = 0,994$$

$$PR_{\text{Χημικών β' Φεβρουαρίου}} = \frac{3,5538}{3,5983} = 0,988$$

4.6.2 Διακυμάνσεις στη αποδοτικότητα

Ένας καλός προσδιοριστικός παράγοντάς της επίδοσης και σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με αυτή για μια χρονικής περιόδου λειτουργίας είναι σύμφωνα με τους Thomas και Zavrski (2002) η μεταβλητότητα (διακύμανση) στην καθημερινή αποδοτικότητα.

Η διακύμανση V_j στην ημερήσια αποδοτικότητα για κάθε χρονική περίοδο j μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(DP_{ij} - BP_j)^2}}{n} \quad (4.2)$$

όπου

DP_{ij} = η ημερήσια αποδοτικότητα για την i ημέρας λειτουργίας της χρονικής περιόδου j .

BP = η αποδοτικότητα βασικής γραμμής.

n = ο αριθμός των ημερών λειτουργίας της χρονικής περιόδου j .

Όσο μικρότερη είναι η τιμή της διακύμανσης, τόσο πιο μικρή είναι η μεταβλητότητα των τιμών της αποδοτικότητας. Στόχος για την βελτίωση των επιδόσεων θα πρέπει να είναι η μείωση των διακυμάνσεων.

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο και τα στοιχεία που έχουμε για την περίοδο λειτουργίας της μονάδας από 1/1/2019 έως 2/3/2019 υπολογίζουμε τις διακυμάνσεις της ημερήσιας αποδοτικότητας για τα δεκαπενθήμερα που συγκρίνουμε.

Για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου προκύπτει ότι η διακύμανση της ημερήσιας αποδοτικότητας θα είναι:

$$V_{\alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,0735}{15} = 0,0049$$

Για το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου προκύπτει ότι η διακύμανση της ημερήσιας αποδοτικότητας θα είναι:

$$V_{\beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,0924}{16} = 0,0058$$

Για το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου προκύπτει ότι η διακύμανση της ημερήσιας αποδοτικότητας θα είναι:

$$V_{\alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1197}{15} = 0,0080$$

Για το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου προκύπτει ότι η διακύμανση της ημερήσιας αποδοτικότητας θα είναι:

$$V_{\beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,0717}{13} = 0,0055$$

Παρατηρώντας τις διακυμάνσεις που προέκυψαν διαπιστώνουμε ότι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου είχε την μικρότερη διακύμανση των ημερησίων αποδοτικότητων, το οποίο έχει και την καλύτερη επίδοση όπως προέκυψε από τον υπολογισμό των δεικτών επίδοσης στην παράγραφο 4.6.1.

Ο τύπος της διακύμανσης μπορεί να εφαρμοστεί εκτός από τις ημερήσιες αποδοτικότητες και στις τμηματικές αποδοτικότητες κάθε κόστους για κάθε δεκαπενθήμερο.

Επομένως για την τμηματική αποδοτικότητα των καυσίμων, η διακύμανση για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$V_{\text{Καυσίμων } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,0994}{15} = 0,0066$$

$$V_{\text{Καυσίμων } \beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,1186}{16} = 0,0074$$

$$V_{\text{Καυσίμων } \alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,1262}{15} = 0,0084$$

$$V_{\text{Καυσίμων } \beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{0,0738}{13} = 0,0057$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, η διακύμανση για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$V_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{1,7522}{15} = 0,1168$$

$$V_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{2,2681}{16} = 0,1418$$

$$V_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{6,0979}{15} = 0,4065$$

$$V_{\text{Ηλεκτρικής Ενέργειας } \beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{5,2335}{13} = 0,4026$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των ημερομισθίων, η διακύμανση για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$V_{\text{Ημερομισθίων } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{0,9607}{15} = 0,06405$$

$$V_{\text{Ημερομισθίων } \beta' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{1,1814}{16} = 0,1132$$

$$V_{\text{Ημερομισθίων } \alpha' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{5,5029}{15} = 0,3669$$

$$V_{\text{Ημερομισθίων } \beta' \text{ Φεβρουαρίου}} = \frac{2,726}{13} = 0,2097$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα του ατμού-νερού, η διακύμανση για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$V_{\text{Ατμού-Νερού } \alpha' \text{ Ιανουαρίου}} = \frac{1,0506}{15} = 0,0700$$

$$V_{\text{Ατμού-Νερού β' Ιανουαρίου}} = \frac{2,3354}{16} = 0,1460$$

$$V_{\text{Ατμού-Νερού α' Φεβρουαρίου}} = \frac{9,4932}{15} = 0,63288$$

$$V_{\text{Ατμού-Νερού β' Φεβρουαρίου}} = \frac{5,754}{13} = 0,4426$$

Για την τμηματική αποδοτικότητα των χημικών, η διακύμανση για κάθε δεκαπενθήμερο θα είναι:

$$V_{\text{Χημικών α' Ιανουαρίου}} = \frac{0,5084}{15} = 0,03389$$

$$V_{\text{Χημικών β' Ιανουαρίου}} = \frac{0,5933}{16} = 0,3708$$

$$V_{\text{Χημικών α' Φεβρουαρίου}} = \frac{1,077}{15} = 0,0718$$

$$V_{\text{Χημικών β' Φεβρουαρίου}} = \frac{0,5613}{13} = 0,04318$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Η εκτίμηση και η σύγκριση της αποδοτικότητας σε ημερήσια βάση των μονάδων λειτουργίας των διυλιστηρίων είναι ο κύριος παράγοντας για την ορθή και αποτελεσματική λειτουργία τους. Το κενό της μη εμπειριστατωμένης εκτίμησης και σύγκρισης της αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδας διυλιστηρίου έρχεται να καλύψει η παρούσα εργασία. Από την μελέτη της εγχώριας και της διεθνή βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν έχει εφαρμοστεί μέχρι σήμερα στο τομέα της διύλισης του πετρελαίου και στην μελέτη της απόδοσης των μονάδων λειτουργίας διυλιστηρίου.

Στην παρούσα εργασία δόθηκε έμφαση στις δαπάνες που καταναλώνει η συγκεκριμένη μονάδα, οι οποίες αναλύθηκαν ομαδοποιήθηκαν και μελετήθηκαν για την εξαγωγή της τμηματικής αποδοτικότητας κάθε ανεξάρτητης δαπάνης. Έτσι ο αναγνώστης θα μπορεί να μελετήσει και να εξάγει συμπεράσματα όχι μόνο για την συνολική ημερήσια αποτελεσματικότητα της μονάδας αλλά και επιμέρους την ορθή και αποδοτική χρήση κάθε κόστους δαπάνης που απαιτείται για την λειτουργία. Ως δεδομένα για την συγκεκριμένη εφαρμογή της μεθοδολογία απαιτούνται οι δαπάνες λειτουργίας και η ποσότητα του αργού πετρελαίου που διυλίσθηκε. Όλα αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να καταγράφονται με ιδιαίτερη επιμέλεια κάθε ημέρα λειτουργίας της υπό εξέταση μονάδας για να μπορούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι σωστά και αξιόπιστα.

Για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, τα δεδομένα για την εκτίμηση και τη συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης της μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου προέρχονται από την εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ και συγκεκριμένα από το διυλιστήριο Ασπροπύργου. Η συλλογή των δεδομένων έγινε για την περίοδο από 1/1/2019 έως 2/3/2019, τα οποία περιλαμβάνουν όλες της δαπάνες λειτουργίας καθώς και την ποσότητα αργού πετρελαίου που διυλίσθησε σε ημερήσια βάση. Πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη ομαδοποίηση των δαπανών έτσι ώστε κάθε κατηγορία τους που θα εισαχθεί στους υπολογισμούς να είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες

Για την συγκριτική αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA) για την ανάκτηση της αποδοτικότητας βασικής γραμμής, που κατά τη διεθνή βιβλιογραφία, αποτελεί μέτρο για την συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων των βέλτιστων πρακτικών. Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων χρησιμοποιείται σε μοντέλα μέτρησης αποτελεσματικότητας πολλαπλών εισροών και πολλαπλών εκροών για τη μέτρηση της σχετικής αποτελεσματικότητας.

Οι πιο αποδοτικές ημέρες λειτουργίας της μονάδας είναι οι μέρες που ανήκουν στην αποδοτικότητα βασικής γραμμής. Οι συγκεκριμένες ημέρες μας δίνουν την πληροφορία για τα εξάγουμε την βέλτιστη μέση ημερήσια απόδοση όπως επίσης και τις βέλτιστες τμηματικές αποδόσεις κάθε δαπάνης στην λειτουργία της μονάδας. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να ορίζονται ως αρχική στόχοι για την απόδοση της λειτουργίας της μονάδας για κάθε νέα ημέρα λειτουργίας. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου για τον προσδιορισμό των τιμών των βέλτιστων αποδόσεων πρέπει να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, διότι με την βελτίωση των αποδόσεων των νέων ημερών που προστίθενται στους παραπάνω υπολογισμούς, διαμορφώνεται κατάλληλα και το νέο σύνολο των ημερών Βασικής Γραμμής.

Στην μελέτη περίπτωση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή εξετάστηκε αν υπήρχαν διαταραγμένες ημέρες λειτουργίας στην υπό εξέταση περίοδο. Αυτό μπόρεσε να γίνει ύστερα από την εξαγωγή της αποδοτικότητας βασικής γραμμής και της σύγκρισης των αποδοτικότητων όλων των ημερών με αυτή. Όπως διαπιστώθηκε δεν υπήρχαν διαταραγμένες ημέρες λόγω αφύσικων-απρόβλεπτων καταστάσεων στην περίοδο που εξετάσαμε.

Από το σύνολο των ημερών της αποδοτικότητας βασικής γραμμής, ανακτήθηκαν οι τμηματικές αποδοτικότητες βασικής γραμμής, που είναι το άθροισμα των τόνων αργού πετρελαίου που διωλίσθησαν σε αυτές τις ημέρες προς το άθροισμα του κόστους της αντίστοιχης δαπάνης των συγκεκριμένων ημερών. Στα διαγράμματα 4.2 έως 4,6 φαίνεται η σύγκριση των τμηματικών αποδοτικότητων κάθε δαπάνης με την αντίστοιχη τμηματική αποδοτικότητα βασικής γραμμής. Τα διαγράμματα δίνουν στον αναγνώστη πλήρη και σαφή εικόνα για την εξέλιξη της κάθε αποδοτικότητας κατά την διάρκεια της περιόδου εξέτασης. Για παράδειγμα ένα συμπέρασμα που προκύπτει από το διάγραμμα 4.3 είναι ότι από τις 25/1/2019 έως το τέλος της περιόδου πραγματοποιείται σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας, Η σπατάλη αυτή δεν είναι μεμονωμένη δηλαδή σε μια συγκεκριμένη μέρα που μπορεί να οφείλεται σε κάποιο συγκεκριμένο γεγονός που ενδεχομένως έχει διορθωθεί. Η σπατάλη αυτή είναι γενικευμένη και πρέπει να αναζητηθούν άμεσα οι αιτίες που την προκάλεσαν ώστε να διορθωθεί.

Για να μπορούν οι υπεύθυνοι λειτουργίας μιας μονάδας διωλιστηρίου να ελέγχουν γρήγορα και ευκολά την πορεία της απόδοσης λειτουργίας της θα πρέπει να συγκρίνουμε μεταξύ τους τις διάφορες χρονικές περιόδους που λειτουργεί. Στην μελέτη περίπτωση μας έχει επιλεγεί ως χρονική διάρκεια το δεκαπενθήμερο, έτσι οι χρονικές περιόδοι λειτουργίας που θα συγκριθούν μεταξύ τους είναι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου και το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου. Για τη αξιολόγηση των αποδοτικότητων χρησιμοποιείται ο δείκτης επίδοσης PR (Performance Ratio). Από την συγκριτική αξιολόγηση των δεκαπενθημέρων διαπιστώθηκε ότι το πιο αποδοτικό είναι το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου αφού ο δείκτης επίδοσης του είχε την μεγαλύτερη τιμή για την ημερήσια αποδοτικότητα όπως επίσης και στο σύνολο των τμηματικών αποδοτικότητων πλην της τμηματικής αποδοτικότητας των χημικών.

Ένας καλός προσδιοριστικός παράγοντάς της επίδοσης και σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με αυτή για μια χρονικής περιόδου λειτουργίας είναι η μεταβλητότητα (διακύμανση) στην καθημερινή αποδοτικότητα. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της διακύμανσης, τόσο πιο μικρή είναι η μεταβλητότητα των τιμών της αποδοτικότητας. Στόχος για την βελτίωση των επιδόσεων θα πρέπει να είναι η μείωση των διακυμάνσεων. Όπως διαπιστώθηκε και στην μελέτη περίπτωσης

μας την μικρότερη διακύμανση των ημερησίων αποδοτικότητων την είχε το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, το οποίο είχε και την καλύτερη επίδοση.

Το προσδοκώμενο αποτέλεσμα της εργασίας, που ήταν η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση και την συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης λειτουργίας μονάδας ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου, επετεύχθη και πλέον ο αναγνώστης μπορεί να εκτιμήσει τεκμηριωμένα και ορθά την απόδοση της λειτουργίας της εν λόγω μονάδας και εν συνεχεία να συγκρίνει τις διάφορες ημέρες λειτουργίας αποκομίζοντας χρήσιμα και ορθά συμπεράσματα, τα οποία θα του παρουσιάσουν την υφιστάμενη κατάσταση και θα τον βοηθήσουν στην λήψη ορθών αποφάσεων. Ημέρες λειτουργίας της μονάδας οι οποίες αρχικά έδιναν την εκτίμηση ότι είναι αποδοτικές, με την εφαρμογή της μεθοδολογίας αποδείχτηκε ότι δεν ήταν διότι συνέβαινε σπατάλη σε κάποια κατηγορία δαπάνης, την οποία οι αρμόδιοι επιβλέποντες θα πρέπει να διορθώσουν. Όλοι οι υπολογισμοί της παρούσας διατριβής μπορούν να αποτελέσουν βάση σύγκρισης για κάθε νέα ημέρα λειτουργίας της συγκεκριμένης μονάδας που μελετήθηκε, όπως επίσης θα μπορούσαν να αποτελούν βάση σύγκρισης για κάθε μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης, οποιουδήποτε διωλιστηρίου, παρόμοια με την συγκεκριμένη.

Η εκτίμηση της απόδοσης μέσω της δεδομένης μεθοδολογίας και ο καθορισμός των βέλτιστων ημερήσιων αποδόσεων λειτουργίας και των τμηματικών αποδόσεων κάθε δαπάνης βοηθάει καθοριστικά την επιχείρηση να θέτει υλοποιήσιμους στόχους βασισμένους σε σωστά και αντικειμενικά στοιχεία. Η παρούσα εργασία προσφέρει μία συστηματική και αξιόπιστη μέθοδο για την εκτίμηση και την συγκριτική αξιολόγηση της ημερήσιας αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδας διωλιστηρίου, η οποία θα μπορούσε να αποτελέσει πολύ χρήσιμο και επωφελές εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, αποκτώντας έτσι η εταιρεία που την χρησιμοποιεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων ανταγωνιστικών εταιρειών .

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα μπορούμε να τις συνοψίσουμε στις ακόλουθες κατευθύνσεις

- Ο επαναπροσδιορισμός της ημερήσιας και των τμηματικών αποδοτικότητων που προέκυψαν από τις αποδοτικές ημέρες της Βασικής Γραμμής αποδοτικότητας, λαμβάνοντας δεδομένα μεγαλύτερης χρονικής περιόδου του διωλιστηρίου

Ασπροπύργου αλλά και από άλλα διυλιστήρια παγκοσμίως που λειτουργεί αντίστοιχη μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου.

- Σε περαιτέρω έρευνα θα μπορούσαμε θεωρητικά να λάβουμε ως δαπάνη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της λειτουργίας της μονάδας που μελετήσαμε. Η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα μπορούσε να οδηγήσει σε χρηματική ποσοτικοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους των ρύπων που εκλύει προς το περιβάλλον η μονάδα κατά την λειτουργία της σε ημερήσια βάση. Η μελέτη αυτή δεν αποτελούσε το αντικείμενο της παρούσας διατριβής.
- Η συγκριτική αξιολόγηση μονάδων Ατμοσφαιρικής απόσταξης αργού πετρελαίου που ανήκουν σε διαφορετικά διυλιστήρια για τον εντοπισμό της μονάδας με την πιο αποδοτική λειτουργία.
- Η δημιουργία ενός λογισμικού που θα δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους των διυλιστηρίων να εκτιμούν και να συγκρίνουν την αποτελεσματικότητα κάθε μονάδας λειτουργίας ενός διυλιστηρίου, άμεσα χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια, έχοντας την δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της απόδοσης κάθε μονάδας αλλά και την δυνατότητα άμεσης αντίδρασης.
- Η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων σε εθνικό επίπεδο από κάποιο κρατικό φορέα με στοιχεία αποδοτικότητας λειτουργίας μονάδων διυλιστηρίου που υπολογίστηκαν με βάση την μεθοδολογία που αναπτύξαμε.
- Η επέκταση της εφαρμογής της μεθόδου σε μονάδες διυλιστηρίου που μετατρέπουν κάποιο προϊόν - παράγωγο πετρελαίου σε προϊόντα που απαιτούνται για να καλύψουν τις ανάγκες της αγοράς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Thomas, H. R. and Završki, I. (1999) " Construction baseline productivity: Theory and practice", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, vol 125-5, pp 295-303.
- 2 Lin, CL, Huang, HM (2010) "Improved Baseline Productivity Analysis Technique", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, vol. 136, issue 3, pp 367-376.
- 3 Farrell, M.J . (1957) " The Measurement of Productive Efficiency ," Journal of the Royal Statistical Society vol . 120, pp . 253–281
- 4 Καψής Γεώργιος (1995) "Χρήση της μεθόδου DEA για μέτρηση αποδοτικότητας διαφόρων μονάδων" Διπλωματική Πολυτεχνείου Κρήτης
- 5 Seiford LM and RM Thrall (1990) "Recent Developments in DEA: the Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis." J Econometrics 4, pp. 7-38

- 6 Λάππας Χ (1992) "Η χρήση των κατηγορηματικών μεταβλητών στη μέτρηση της αποδοτικότητας με τη μέθοδο DEA" Διπλωματική Πολυτεχνείου Κρήτης
- 7 Charnes, A ., W .W . Cooper, and E . Rhodes, (1978) "Measuring the efficiency of decision making Units . " European Journal of Operations Research pp. 429 -444
- 8 Banker, R .D ., R . F. Charnes, & W .W . Cooper (1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis" Management Science vol . 30, pp. 1078 –1092
- 9 Golani B., Roll Y., & Rybak D. (1994) "Measuring efficiency of power plants in israel by data envelopment analysis. " Engineering Management, IEEE Transactions on,(3), pp. 291-301
- 10 Cooper W.W. (2006) "Introduction to data envelopment analysis and its uses : with DEA solver software and references" New York Springer
- 11 Ioannis E. Tsolas (2010) "Assessing power stations performance using a DEA-bootstrap approach", International Journal of Energy Sector Management, Vol. 4 Issue: 3, pp. 337-355
- 12 Han Tai Wu, Pierre-Olivier Pineau, Gilles Caporossi (2010) "Efficiency evolution of coal-fired electricity generation in China, 1999-2007", International Journal of Energy Sector Management, Vol. 4 Issue: 3, pp.316-336
- 13 Chen-Fu Chien, Feng-Yu Lo, J.T. Lin (2003) "Using DEA to measure the relative efficiency of the service center and improve operation efficiency through reorganization", IEEE Transactions on Power Systems , Volume: 18, Issue: 1, pp. 366 – 373
- 14 Abraham Charnes, William W. Cooper, Arie Y. Lewin, Lawrence M. Seiford (1994) "Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications", Springer Science & Business Media
- 15 William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Kaoru Tone (2000) " Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications References and DEA-Solver Software" , Springer Science & Business Media

- 16 Thomas HR, Michael JH, Zavrski I., (2002), Reducing variability to improve performance as a lean construction principle, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol. 128(2),144-54.
- 17 Ibbs, W., and Liu, M., 2005, Improved measured mile analysis technique, *J. Constr. Eng. Manage*, vol 131-12, pp 1249-1256
- 18 Borcharding, J. D., (1976), Improving productivity in industrial construction, *Journal of theConstruction Division*, ASCE, vol. 102-4, pp 623-638.
- 19 Charnes, A ., Cooper, W. W., and Rhodes, E., (1981), Evaluating program and managerial efficiency: An application of data development analysis to program follow through, *Manage. Sci.*, vol. 27, pp 668-697.
- 20 Zink, D. A., (1986), The measured mile: Proving construction inefficiency costs, *Coast. Eng.*, vol. 28-4, pp 19-21.
- 21 Thomas, H. R. and Sakarcan, A. S.,(1994), Forecasting labor productivity using factor model, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol. 120-1, pp 228-239.
- 22 Abdel-Hamid, M., Abd Elshakour, H. and Abdel-Razek, R., (2004), Improving construction labor productivity in Egypt using benchmarking, *Banha Higher Institute of Technology*, Banha.
- 23 Enshassi, A., Mohamed, S., Mayer, P. and Abed, K., Benchmarking masonry labor productivity, (2007), *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol 56, No. 4, pp 358-368
- 24 Thomas HR, Zavrski I., (1999), Theoretical Model for International Benchmarking of Labor Productivity, *Tech. Rep. No. 9913*, Pennsylvania Transportation Institute, University Park, PA.
- 25 Thomas, R.H. and Sanders, S.R., 1991, Factors affecting masonry-labor productivity, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol. 117 No. 4, pp 626-44.

- 26 Thomas, H. R., Maloney, W. F., Smith, G. R., Sanders, S. R., Horner, R. M. W., and Handa, V. K., 1990, Modeling construction labor productivity, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol 116-4, pp 705-726.
- 27 Sanvido, V. E., 1988, Conceptual construction process model, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol. 114-2, pp 294-312.
- 28 Han, S.H., Park, S.H., Jin, E.J., Kim, H. and Seong, Y.K., 2008, Critical issues and possible solutions for motivating foreign construction workers, *Journal of Management in Engineering*, vol. 24 no. 4, pp 217-26.
- 29 Gulezian, R., and Samelian, F., 2003, Baseline determination in construction labor productivity-loss claims, *J. Manage. Eng.*, vol 19-4, pp 160-165.
- 30 Παπιγγιώτης Λάμπρος (2017) " Δημιουργία μοντέλου εκτίμησης παραγωγικότητας της εργασίας σε έργα κατασκευής σωληνώσεων στην βιομηχανία πετρελαιοειδών " Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- 31 Toloo, M., Sohrabi, B., and Nalchigar, S., 2009, A new method for ranking discovered rules from data mining by DEA, vol.36, issue 4, pp 8503-8508.
- 32 Sonmez, R., and Rowings, J. E., 1998, Construction labor productivity modeling with neural networks, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol 124-6, pp 498-504.
- 33 Thomas, H. R. and Yiakoumis, I., 1987, Factor model of construction productivity, *Journal of Construction, Engineering and Management*, ASCE, vol. 113-4, pp 623-638.
- 34 Thomas, H. R., and Napolitan, C. L., 1995, Quantitative effects of construction changes on labor productivity, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, vol. 121-3, pp 290-296.