

Εκτίμηση Κύκλου Ζωής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Τυπικό Ελληνικό Πετρελαϊκό Σταθμό

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α. ΠΥΡΟΒΟΛΑΚΗΣ

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.
Μ.Β.Α.-Τ.Ο.Μ. Παν. Πειραιώς

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΓΕΩΡΓΑΚΕΛΛΟΣ

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.
Επικ. Καθηγητής Παν. Πειραιώς

Περίληψη

Η παρούσα Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (Ε.Κ.Ζ.) περιλαμβάνει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής 1KWh ηλεκτρικής ενέργειας, προερχόμενη από το θερμοηλεκτρικό σταθμό των Χανίων, ο οποίος χρησιμοποιεί ως καύσιμο πετρέλαιο Diesel. Επίσης, αναλύει τα αποτελέσματα εισροών-εκροών του κάθε σταδίου και πραγματοποιεί εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με χρήση της μεθόδου Eco-Indicator '99. Το αργό πετρέλαιο, το οποίο διυλίζεται για την παραγωγή του Diesel, εξορύσσεται στο Ιράν και μεταφέρεται στο διυλιστήριο της Ελευσίνας, αλλά και στη συνέχεια υπό τη μορφή Diesel στα Χανιά, με τη βοήθεια πετρελαιοφόρου πλοίου. Στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων δίνεται έμφαση στις εκπομπές αερίων ρύπων, που συνεισφέρουν στην καταστροφή της ανθρώπινης υγείας και στην υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Ιδιαίτερη βαρύτητα, επίσης, δίνεται και στην κατανάλωση ενεργειακών πόρων, όπως πετρέλαιο, ηλεκτρική ενέργεια και θερμική ενέργεια. Για την ολοκλήρωση της εκτίμησης αυτής, εκτός από πρωτογενή στοιχεία, χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από το διαδίκτυο, από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, από ερευνητικά προγράμματα και από το λογισμικό πρόγραμμα G.E.M.I.S. (Global Emission Model of Integrated Systems).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ουσία της εκτιμήσεως του κύκλου ζωής – Ε.Κ.Ζ. (life cycle assessment – L.C.A.) είναι η αξιολόγηση των σχετικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνολογικών συνεπειών ενός υλικού, μιας διεργασίας ή ενός προϊόντος καθ' όλη τη ζωή του από τη δημιουργία ως την απόρριψη ή, σε ιδανική κατάσταση, στην αναδημιουργία του στην ίδια ή άλλη χρήσιμη μορφή.

Η Society of Environmental Toxicology And Chemistry (S.E.T.A.C.) ορίζει τη διαδικασία της Εκτίμησης Κύκλου Ζωής ως εξής:

«Η εκτίμηση του κύκλου ζωής είναι μια αντικειμενική μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φορτίων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια δραστηριότητα με αναγνώριση και υπολογισμό της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται και των εκπομπών τους στο περιβάλλον και η αξιολόγηση και η εκμετάλλευση ευκαιριών για επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η εκτίμηση καλύ-

πτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας, συμπεριλαμβάνοντας την παραλαβή και επεξεργασία πρώτων υλών, τη μεταποίηση, τη μεταφορά και τη διανομή, τη χρήση ή την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόθεση».

Το πρότυπο ISO δίνει τον ακόλουθο ορισμό για την Εκτίμηση του Κύκλου Ζωής:

«Εκτίμηση Κύκλου Ζωής είναι μία τεχνική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών θεμάτων και των πιθανών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, με:

- Υπολογισμό των εισροών και εκροών ενός συστήματος,
- Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εισροές και εκροές,
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων των φάσεων αναλύσεως των εισροών και εκροών και των επιπτώσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης.

Η Ε.Κ.Ζ. μελετά τα περιβαλλοντικά θέματα και τις πιθανές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του προϊόντος «από τη γέννηση ως το θάνατο» (cradle to grave), δηλαδή από την απόκτηση του υλικού ως την παραγωγή, τη χρήση και τη διάθεση. Οι γενικές κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που χρειάζονται θεώρηση, περιλαμβάνουν τη χρήση των πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες» [1,2].

Παρόλο που οι περισσότεροι αναλυτές άρχισαν να δείχνουν ενδιαφέρον για την Ε.Κ.Ζ. από το 1990, οι πρώτες προσπάθειες συνολικής εκτίμησης ενός παραγωγικού συστήματος εντοπίζονται στη δεκαετία του 1960. Οι πρώτες αυτές απόπειρες επικεντρώνονταν, κυρίως, στον υπολογισμό ενεργειακών απαιτήσεων. Αρκετές τέτοιες μελέτες σχετικές με κύκλο ζωής καυσίμων πραγματοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. από το Υπουργείο Ενέργειας. Αν και το ενδιαφέρον στρεφόταν, κυρίως, σε ενεργειακά χαρακτηριστικά, οι εργασίες αυτές περιλάμβαναν περιορισμένες εκτιμήσεις εκπομπών προς το περιβάλλον. Λόγω της έλλειψης πετρελαίου στις αρχές της δεκαετίας του 1970, οι κυβερνήσεις των Η.Π.Α. και της Βρετανίας ίδρυσαν επιτροπές με σκοπό τη διεξαγωγή τέτοιων λεπτομερών αναλύσεων.

Με την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης, το ενδι-

αφέρον για την εκπόνηση των παραπάνω μελετών εξασθέ- νισε. Ωσπου, στα μέσα της δεκαετίας του 1970, αρκετές πρωτοποριακές μελέτες, που επικεντρώνονταν σε περιβαλ- λοντικά ζητήματα, εκπονήθηκαν από τον Arthur D. Little και το Midwest Research Institute (MRI). Αργότερα, οι κύριοι ερευνητές, που διεξήγαγαν τις αναλύσεις στο MRI, συγκρό- τησαν την Franklin Associates, Ltd. Οι Εκτιμήσεις Κύκλου Ζωής συνεχίστηκαν στις Η.Π.Α. με τον αργό αλλά σταθερό ρυθμό των δύο ή τριών ετησίως. Ο ακριβής αριθμός δεν είναι γνωστός, διότι οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες εκπονήθηκαν για λογαριασμό ιδιωτών και δεν ανακοινώθη- καν στο ευρύ κοινό.

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις ο σκοπός μιας Ε.Κ.Ζ. είναι η σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων, σε κάθε περίπτωση παρέχει την ευκαιρία για αλλαγές και διορ- θώσεις σε κάποια στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος, ούτως ώστε αυτό να γίνει φιλικότερο προς το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια, μεγάλη έμφαση δίνεται σε αυτόν τον τομέα με σκοπό να γνωρίζουμε που και ποιες διορθωτικές κινήσεις χρειάζεται να γίνουν, ώστε να μειωθούν οι εκπο- μπές προς το περιβάλλον ή το κόστος ή οι ενεργειακές απαι- τήσεις ενός συστήματος [1].

2. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ Ε.Κ.Ζ.

Η μεθοδολογία της Ε.Κ.Ζ. αποτελείται από τέσσερα στάδια: του καθορισμού του σκοπού και των ορίων του συστήματος, της ανάλυσης εισροών-εκροών, της ανάλυσης επιπτώσεων και της ανάλυσης βελτιώσεων.

Στο πρώτο βήμα καθορίζεται, εκτός από το σκοπό της μελέτης, το προϊόν, τα όρια στα οποία περιορίζεται η μελέτη και οι διάφορες παραδοχές. Το στάδιο αυτό είναι πολύ ση- μαντικό, διότι ουσιαστικά μας υποδεικνύει την κατεύθυνση που θα ακολουθήσουμε στα επόμενα βήματα.

Το δεύτερο βήμα της Ε.Κ.Ζ. είναι η ανάλυση εισρο- ών- εκροών. Στο βήμα αυτό μετρούνται οι ποσότητες των πρώτων υλών, τα ποσά ενέργειας και οι περιβαλλοντικές εκπομπές που σχετίζονται με το υπό εξέταση σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, αν εξετάζουμε τον κύκλο ζωής ενός προϊό- ντος, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τη λήψη των πρώτων υλών από τη γη, τη λήψη των ενεργειακών πηγών από τη γη, την παραγωγή χρήσιμων υλικών από τις πρώτες ύλες, τη συναρμολόγηση, τη μεταφορά των υλικών σε κάθε βήμα της διαδικασίας, την κατασκευή του υπό μελέτη προϊόντος, τη διανομή, τη χρήση, την τελική διάθεση (που μπορεί να περι- λαμβάνει ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, αποτέφρωση ή ταφή). Το βήμα αυτό είναι σημαντικό, γιατί χωρίς αυτό δεν μπορούμε να κάνουμε ανάλυση επιπτώσεων. Σε περίπτωση που η ανάλυση επιπτώσεων δεν είναι αναγκαία, με τη βοή- θεια της ανάλυσης εισροών-εκροών, μπορούμε να κάνουμε ανάλυση βελτιώσεων, βασιζόμενοι στα αποτελέσματα ενερ- γειακών καταναλώσεων και εκπομπών.

Με το πέρας του δεύτερου σταδίου της Ε.Κ.Ζ., ακολου-

θεί η ανάλυση επιπτώσεων. Σε αυτό το στάδιο: α) πρέπει να εκτιμηθεί με ακρίβεια η επίδραση των δραστηριοτήτων που αποκαλύφθηκαν από την ανάλυση εισροών-εκροών της Ε.Κ.Ζ., σε συγκεκριμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και β) πρέπει η σχετική σοβαρότητα των αλλαγών στα πε- ριβαλλοντικά χαρακτηριστικά να δίνεται με κατάταξη προ- τεραιότητας. Αυτά τα δύο βήματα αποτελούν την ανάλυση επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Το τέταρτο βήμα της Ε.Κ.Ζ. είναι η ανάλυση βελτι- ώσεων. Η ανάλυση βελτιώσεων, όπως και ο καθορισμός του σκοπού και των ορίων του συστήματος, αποτελούσε πάντοτε μέρος των μελετών Ε.Κ.Ζ. Η επιθυμία για μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων, μεταβάλλοντας ένα προϊόν ή μια διεργασία, αποτελεί συχνά το στόχο μιας τέτοιας εκτί- μησης. Ένα άλλο κίνητρο είναι η σύγκριση ανταγωνιστικών προϊόντων, με σκοπό την ανάδειξη του προτιμότερου από περιβαλλοντικής απόψεως.

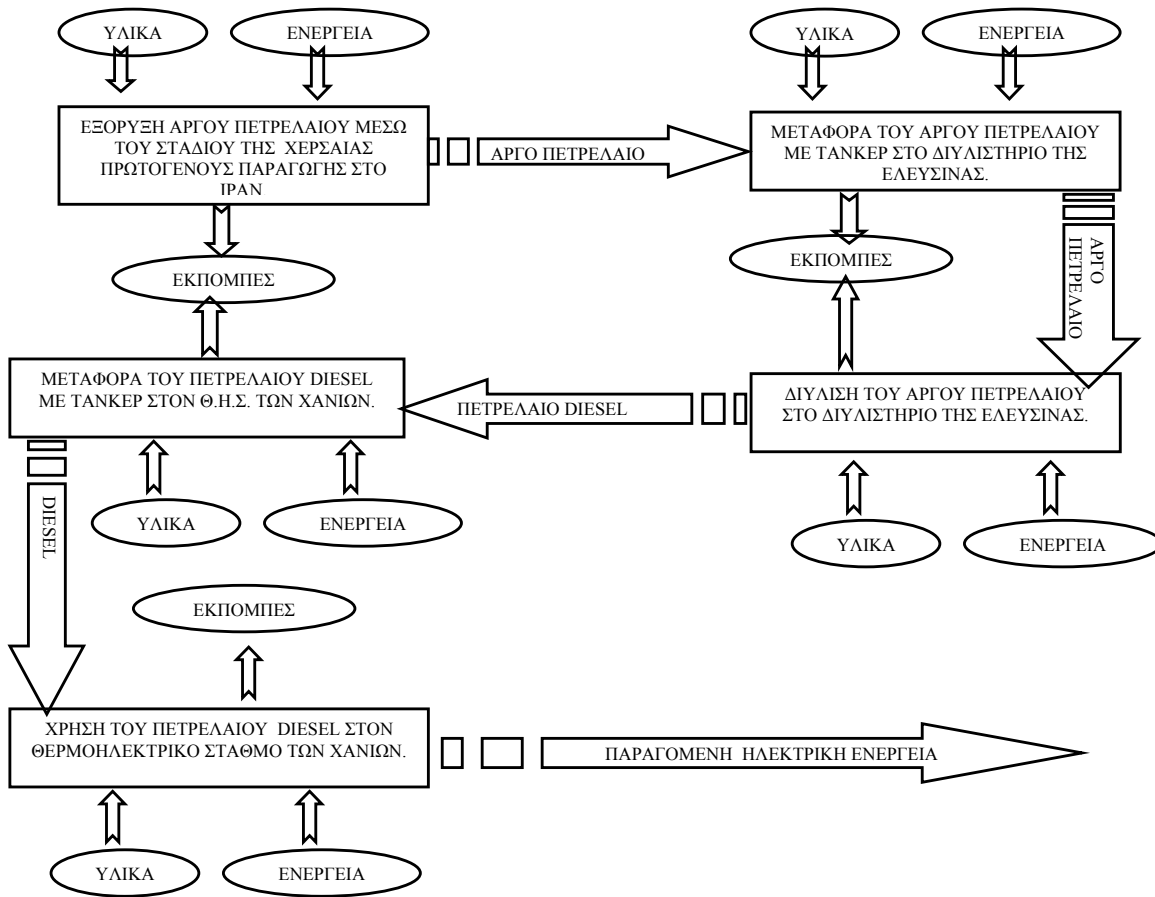
Ωστόσο, μία ολοκληρωμένη ανάλυση βελτιώσεων για όλο τον κύκλο ζωής, είναι δαπανηρή και χρονοβόρα, κυρίως λόγω της ανάγκης αποκτήσεως ποσοτικών πληροφοριών που μπορεί να απαιτούν επιτόπιες αναλυτικές μετρήσεις ή λεπτομερείς θεωρήσεις φακέλων και αρχείων. Επομένως, η έλλειψη δεδομένων, αλλά και η απουσία της απαιτούμενης τεχνογνωσίας, οδηγεί στην παράλειψη αυτού του σταδίου της Ε.Κ.Ζ. στην παρούσα εργασία [1,2].

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα Εκτίμηση Κύκλου Ζωής, σκοπός είναι η ανάλυση εισροών - εκροών και η εκτίμηση των περιβαλλο- ντικών επιπτώσεων, των σταδίων της πρωτογενούς παραγω- γής του αργού πετρελαίου, της μεταφοράς του από το Ιράν (Kharg Island) στην Ελλάδα μέσω θαλάσσης, της διύλισης του στην Ελλάδα στο διυλιστήριο της Ελευσίνας (πρώην Πετρόλα) και της μετατροπής του σε πετρέλαιο DIESEL, καθώς και της τελικής χρήσης του στο θερμοηλεκτρικό σταθμό (Θ.Η.Σ.) των Χανίων, για την παραγωγή 1 KWh ηλεκτρικής ενέργειας. Στο σχήμα 1 φαίνεται το διάγραμμα ροής για την Ε.Κ.Ζ. 1KWh ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση πετρελαίου, όπου ουσιαστικά καθορίζει και το υπό μελέτη σύστημα (τα διάφορα στάδια της Ε.Κ.Ζ.).

Στην πραγματικότητα, τα όρια ενός συστήματος δεν εί- ναι πεπερασμένα. Για παράδειγμα, για την εξόρυξη και διύ- λιση του πετρελαίου απαιτείται ενέργεια (ηλεκτρική ή με τη μορφή καυσίμων), η οποία με τη σειρά της για να παραχθεί χρειάζεται άλλες εισροές ενεργειακών πόρων π.χ.

λιγνίτη κ.ο.κ. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι δεν μπορούμε να περιλάβουμε όλες αυτές τις παραμέτρους στα όρια του συστήματος, γιατί έτσι αυξάνεται ο χρόνος και το κόστος της μελέτης, καθώς και τα απαιτούμενα δεδομένα και συν τοις άλλοις θα αποκλίναμε σημαντικά από τον αρχικό στόχο. Για το λόγο αυτό, αποκλείουμε επιλεκτικά κάποια στάδια κατά



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της Ε.Κ.Ζ.
Figure 1. Flow chart of the L.C.A.

τον καθορισμό των ορίων του συστήματος, εφόσον πάντα δε διακινδυνεύουμε την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Τα στάδια αυτά έχουν να κάνουν με τις ενεργειακές και υλικές εισροές για την παραγωγή της εισερχόμενης στα διάφορα στάδια ενέργειας, αλλά και για την παραγωγή των εισερχόμενων πρώτων υλών [1].

Εξωτερικά του συστήματος βρίσκεται το φυσικό περιβάλλον. Οι εισροές στο σύστημα είναι πρώτες ύλες, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών ενέργειας. Τα τελευταία στάδια του κύκλου ζωής (χρήση, ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και απόρριψη) δεν εξετάζονται, καθώς δεν αποτελούν μέρος του συστήματος. Επιπλέον, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που εξετάζεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές χρήσεις (βιομηχανικές, οικιακές, εμπορικές κ.λπ.), με συνέπεια περαιτέρω ανάλυση να έχει νόημα μόνο για συγκεκριμένη εφαρμογή. Άλλωστε, αυτή είναι μία βασική χρησιμότητα των συμπερασμάτων της παρούσας Ε.Κ.Ζ. Η λειτουργική μονάδα της παρούσας εργασίας, ως προς την οποία θα αναχθούν όλα τα αποτελέσματα της παρούσας Ε.Κ.Ζ., θα είναι η 1KWh ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται από το θερμοηλεκτρικό σταθμό των Χανίων, ο οποίος χρησιμοποιεί ως καύσιμο πετρέλαιο κίνησης Diesel.

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΣΡΟΩΝ-ΕΚΡΟΩΝ

4.1. Το στάδιο της παραγωγής-εξόρυξης του αργού πετρελαίου

Με τον όρο παραγωγή του πετρελαίου, εννοούμε τη μεταφορά του πετρελαίου από τα έγκατα της γης έως την επιφάνειά της και τη μέτρηση αυτού, καθώς και των εξερχόμενων αερίων. Το πετρέλαιο δε βρίσκεται εντός της γης σε τεράστιες κοιλάτες, αλλά εμποτισμένο εντός πορωδών πετρωμάτων, τα οποία δεν πρέπει να είναι μόνο πορώδη, αλλά και διαπερατά, ώστε το περιεχόμενό τους να μπορεί να κινείται εύκολα εντός αυτών. Η συγκέντρωση αυτή του πετρελαίου ορίζεται ως ταμιευτήρας πετρελαίου [3].

Η μέθοδος παραγωγής, που χρησιμοποιείται στην παρούσα Ε.Κ.Ζ., είναι η πρωτογενής ή μέθοδος φυσικής παραγωγής. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η απόληψη των υδρογονανθράκων από τον ταμιευτήρα γίνεται με αποκλειστική χρήση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος, χωρίς καμία εξωτερική παρέμβαση.

Η παραγωγή, επομένως, του πετρελαίου οφείλεται στην κατανάλωση της ενέργειας του νερού ή του στρώματος αε-

ρίων ή των αποχωριζόμενων και εκτονούμενων αερίων, τα οποία βρίσκονταν εν διαλύσει στο πετρέλαιο. Λαμβάνει χώρα στην αρχή της παραγωγικής ζωής του ταμειυτήρα και είναι επιθυμητό να διαρκέσει όσο το δυνατόν περισσότερο. Στην περίπτωση αυτή, το παραγόμενο πετρέλαιο εξέρχεται συνήθως με τη μορφή αφρού, λόγω των εν διαλύσει αερίων [3,4].

Πίνακας 1. Πίνακας Εισροών – Εκροών για τη Συμβατική Χερσαία Πρωτογενή Παραγωγή Πετρελαίου. (ανά kg παραγόμενου αργού πετρελαίου)

Table 1. Life Cycle Inventory table, for the conventional offshore crude oil extraction

	Μονάδες	ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΧΕΡΣΑΙΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ		
Ατσάλι	kg/kg	0,025
Τσιμέντο	kg/kg	0,022
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Μηχανική Ενέργεια (mechanical power)	MJ/kg	0,08
Θερμότητα (process heat)	MJ/kg	0,20
Σύνολο:	MJ/kg	0,28
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ		
CO ₂	kg/kg	0,028
NM VOC	kg/kg	113E-06
CH ₄	kg/kg	389E-05

Προκειμένου, λοιπόν, να γίνει η Ανάλυση Εισροών-Εκροών του σταδίου αυτού της Ε.Κ.Ζ., καταστρώνουμε τον πίνακα 1. Στον πίνακα αυτόν παρουσιάζονται οι εισροές υλικών και ενέργειας, καθώς και οι εκροές του συστήματος, που δεν είναι άλλες από τις αέριες εκπομπές προς το περιβάλλον. Όλα τα παρακάτω δεδομένα προέκυψαν από το λογισμικό G.E.M.I.S.

Πηγή των δεδομένων του προγράμματος είναι το Institute for Applied Ecology, με έτος αναφοράς το 2000 [5]. Όπως προκύπτει από τον πίνακα αυτό, για την παραγωγή ενός kg αργού πετρελαίου απαιτούνται, 0,08MJ μηχανικής ενέργειας (π.χ. για την πραγματοποίηση της γεώτρησης) και 0,2MJ θερμικής ενέργειας (π.χ. για το διαχωρισμό του αργού πετρελαίου από το φυσικό αέριο, το οποίο εξέρχεται κατά τη διάρκεια της εξόρυξης μαζί με το αργό πετρέλαιο).

Αρα, για την υπό εξέταση εγκατάσταση εξόρυξης αργού πετρελαίου απαιτούνται συνολικά 0,28MJ ενεργειακών εισροών για την παραγωγή 1kg αργού πετρελαίου. Όσον αφορά στις αέριες εκπομπές για την περίπτωση της συμβατικής χερσαίας εξόρυξης, αυτές προέρχονται από την ανάφλεξη του φυσικού αερίου κατά το διαχωρισμό του από το αργό πετρέλαιο, την καύση των λοιπών αερίων υδρογονανθράκων που συνοδεύουν το αργό πετρέλαιο και λόγω διαφυγόντων αερίων, όπως είναι οι μη μεθανούχες οργανικές ενώσεις (NMVOC-Non Methane Volatile Organic Compounds) [6].

4.2. Το στάδιο της μεταφοράς του αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο της Ελευσίνας

Με τον όρο Μεταφορά του Αργού Πετρελαίου, εννοούμε τη μεταφορά αυτού από την πετρελαιοπηγή στα διυλιστήρια. Πριν από τη μεταφορά του αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο, θα πρέπει να προηγηθεί μία διαδικασία επεξεργασίας του, καθώς και η ακριβής μέτρηση και αποθήκευση των προς μεταφορά ποσοτήτων του. Η μεγαλύτερη ποσότητα αργού πετρελαίου (62%), σήμερα, μεταφέρεται μέσω θαλάσσης. Οι θαλάσσιες μεταφορές γίνονται με τα πετρελαιοφόρα δεξαμενόπλοια, δηλαδή φορτηγά σκάφη ειδικά κατασκευασμένα για τη μεταφορά του πετρελαίου και των προϊόντων του. Τα δεξαμενόπλοια είναι εφοδιασμένα με αντλίες για την εκφόρτωση του φορτίου στο διυλιστήριο [3].

Όσον αφορά στον τύπο του χρησιμοποιούμενου τάνκερ της παρούσας εργασίας, με βάση τα δεδομένα του G.E.M.I.S., αυτό διανύει περί τα 80.000 km ετησίως, ενώ έχει δυναμικότητα μεταφοράς πετρελαίου 120.000 τόνους και μέση διάρκεια ζωής 16 χρόνια. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν 20.000 τόνοι ατσάλι για την κατασκευή του.

Το αργό πετρέλαιο, στην παρούσα εργασία, θεωρούμε ότι μεταφέρεται από το Ιράν και συγκεκριμένα από το νησί Kharg, αφού η μεγαλύτερη ποσότητα αργού πετρελαίου που διυλίζεται στο διυλιστήριο της Ελευσίνας είναι Ιρανικής προέλευσης (Iranian Light και Iranian Heavy) [7].

Επειδή τα δεδομένα της θαλάσσιας μεταφοράς του αργού πετρελαίου που παρέχει το G.E.M.I.S. είναι ανοιγμένα ανά km διανυόμενης απόστασης του πετρελαιοφόρου πλοίου, θα πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση από το νησί Kharg στο λιμάνι της Ελευσίνας. Για τον υπολογισμό της απόστασης αυτής, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του διαδικτυακού site www.distances.com (World Port Distances). Η απόσταση που προέκυψε αναφέρεται στο δρομολόγιο πετρελαιοφόρου πλοίου μέσω της διώρυγας του Σουέζ και ισούται με 3795 ναυτικά μίλια ή 7028 km. (1 ναυτικό μίλι = 1,852 km).

Λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση αυτή, παρουσιάζονται στον πίνακα 2 οι εισροές υλικών και ενέργειας του σταδίου αυτού της Ε.Κ.Ζ., καθώς και οι εκροές του συστήματος, που δεν είναι άλλες από τις αέριες εκπομπές προς το περιβάλλον. Τα δεδομένα για το στάδιο αυτό προέκυψαν από το λογισμικό G.E.M.I.S.

4.3. Το στάδιο της διύλισης του αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο της Ελευσίνας

Το διυλιστήριο της Ελευσίνας είναι ατμοσφαιρικής διύλισης ετήσιας ονομαστικής δυναμικότητας 5,0 εκατ. μετρικών τόνων αργού, που αντιστοιχεί στο 25% περίπου της διυλιστικής ικανότητας της χώρας. Διαθέτει, επίσης, μονάδα υδρογονοαποθείωσης δυναμικότητας 800 χιλ. τόνων ντήζελ ετησίως. Το διυλιστήριο της Ελευσίνας διαθέτει τεράστιους

αποθηκευτικούς χώρους, 3,35 εκατ. τόνων αργού και προϊόντων, μεγάλο ιδιωτικό λιμάνι, στο οποίο μπορούν ταυτόχρονα να προσεγγίζουν 17 μεγάλα πλοία για φορτοεκφόρτωση πετρελαιοειδών, καθώς επίσης και σύγχρονο σταθμό φόρτωσης βυτιοφόρων με 18 νησίδες φόρτωσης. Το διυλιστήριο είναι συνδεδεμένο με αγωγό, τόσο με τις εγκαταστάσεις στη Πάχη Μεγάρων, όσο και με το διυλιστήριο Ασπροπύργου. Το διυλιστήριο διαθέτει απλές μονάδες επεξεργασίας αργού πετρελαίου και λειτουργεί σε 24ωρη βάση [7].

Πίνακας 2. Πίνακας Εισροών–Εκροών για τη θαλάσσια μεταφορά του αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο της Ελευσίνας. (ανά kg μεταφερόμενου αργού πετρελαίου)

Table 2. Life Cycle Inventory table, for the crude's oil sea transport to the refinery of Eleusina

	Μονάδες	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ		
Ατσάλι	kg/kg	0,17
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Κατανάλωση Καυσίμου:	MJ/kg	0,663
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ		
SO ₂	kg/kg	6,53E-04
NO _x	kg/kg	7,028E-04
CO	kg/kg	1,124E-04
Στερεά Σωματίδια	kg/kg	7,028E-05
NM VOC	kg/kg	2,1E-05
CO ₂	kg/kg	0,052
N ₂ O	kg/kg	2,1E-07
CH ₄	kg/kg	2,1E-06

Τα προϊόντα της παραγωγικής διαδικασίας του διυλιστηρίου, ανά κατηγορία, είναι τα ακόλουθα:

1. Αέρια: προπάνιο, μίγμα υγραερίων (προπανίου–βουτανίου), 2. Νάφθες: νάφθα, 3. Καύσιμο αεροσκαφών: JET A-1, 4. Ντίζελ: ντίζελ κίνησης, ντίζελ θέρμανσης, ντίζελ ναυτιλίας, 5. Μαζούτ: μαζούτ υψηλού θείου 1500', μαζούτ χαμηλού θείου 1500', μαζούτ υψηλού θείου 3500', 6. Θειάφι: υγρό θείο, στερεό θείο [8].

Το παραγόμενο ντίζελ καταλαμβάνει το 13,8% της συνολικής παραγωγής και είναι εκείνο το καύσιμο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από το θερμοηλεκτρικό σταθμό του επόμενου σταδίου της Ε.Κ.Ζ.

Με βάση την ανάλυση της παραγωγής του διυλιστηρίου κατά το έτος 1999, προκύπτει ότι το σύνολο της ιδιοκατανάλωσης και των απωλειών του διυλιστηρίου αντιπροσωπεύει το 2,4% της συνολικής ποσότητας διυλισθέντος αργού. Άρα, ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης είναι 97,6% [8].

Προκύπτει, λοιπόν, ότι για να παραχθούν 97,6 kg πετρελαϊκών προϊόντων απαιτούνται 2,4 kg αργού πετρελαίου για εσωτερική κατανάλωση του διυλιστηρίου. Άρα, για την παραγωγή 1 kg Diesel απαιτούνται 0,0246 kg εσωτερικής κατανάλωσης αργού πετρελαίου, θεωρώντας ότι απαιτείται το ίδιο ποσό ενέργειας για την παραγωγή των διαφόρων πετρελαϊκών προϊόντων.

Επίσης, για κάθε kg παραγόμενου Diesel απαιτείται να εισέλθουν στο διυλιστήριο 1,0246 kg αργού πετρελαίου. Λαμβάνοντας υπόψη και την κατωτέρα θερμογόνο ικανότητα του αργού πετρελαίου, που ισούται με 42,833MJ/kg, προκύπτει ότι οι εισροές ενέργειας του διυλιστηρίου είναι 0,0246 kg * 40 MJ/kg = 0,986 MJ ανά kg παραγόμενου Diesel [9].

Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό των αέριων εκπομπών του διυλιστηρίου, θεωρούμε ότι το διυλιστήριο λειτουργεί 7.000 ώρες το χρόνο και παράγει 4.311.000 τόνους πετρελαϊκών προϊόντων το χρόνο (στοιχεία έτους 1999). Επίσης, θεωρούμε ότι η παραγωγή των διαφόρων πετρελαϊκών προϊόντων συμβάλλει το ίδιο στην παραγωγή των αέριων ρύπων. Οι μετρήσεις των αέριων εκπομπών του διυλιστηρίου προέρχονται από τη βιβλιογραφία [10].

Τέλος, για τον υπολογισμό των εισροών υλικών για την κατασκευή του υπό εξέταση διυλιστηρίου, χρησιμοποιούμε δεδομένα από το G.E.M.I.S. για αντίστοιχη περίπτωση ελληνικού διυλιστηρίου. Άρα, ο συγκεντρωτικός πίνακας για το στάδιο της διύλισης στο διυλιστήριο της Ελευσίνας είναι ο πίνακας 3.

Πίνακας 3. Πίνακας Εισροών–Εκροών για διύλιση του αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο της Ελευσίνας. (ανά kg παραγόμενου Diesel)

Table 3. Life Cycle Inventory table, for the crude's oil refining in the refinery of Eleusina

	Μονάδες	ΔΙΥΛΙΣΗ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΟ ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ		
Ατσάλι:	kg/kg	3,281E-04
Τσιμέντο:	kg/kg	4,101E-04
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Κατανάλωση αργού πετρελαίου (Εσωτερική κατανάλωση):	MJ/kg	0,986
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ		
SO ₂ :	kg/kg	1,051E-03
NO _x :	kg/kg	1,494E-04
Στερεά Σωματίδια:	kg/kg	7,307E-05
Υδρογονάνθρακες:	kg/kg	7,404E-04

4.4. Το στάδιο της μεταφοράς του πετρελαίου Diesel από το διυλιστήριο της Ελευσίνας στον Θ.Η.Σ. των Χανίων

Στο στάδιο αυτό εξετάζεται η θαλάσσια μεταφορά του παραγόμενου από το διυλιστήριο της Ελευσίνας πετρελαίου Diesel στον Θ.Η.Σ. των Χανίων. Γενικά, η μεταφορά αυτή μπορεί να γίνεται με διαφόρων μεγεθών πετρελαιοφόρα πλοία.

Για λόγους απλοποίησης της μελέτης, θεωρούμε ότι η μεταφορά του πετρελαίου Diesel, από το διυλιστήριο στον Θ.Η.Σ., γίνεται με ιδίου τύπου πετρελαιοφόρο τάνκερ, όπως και από το Ιράν στο διυλιστήριο της Ελευσίνας.

Όπως και στην παράγραφο 4.2., για τον υπολογισμό των εισροών-εκροών του σταδίου αυτού υπολογίζουμε την απόσταση μεταξύ του λιμανιού της Ελευσίνας και του λιμανιού της Σούδας.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε, όπως και στην παράγραφο 4.2., η βάση δεδομένων του World Port Distances. Η απόσταση που προκύπτει είναι 166 ναυτικά μίλια ή 307 km.

Άρα, ο πίνακας 4 είναι ο πίνακας εισροών-εκροών που προκύπτει, με βάση τα δεδομένα του λογισμικού G.E.M.I.S.

Πίνακας 4. Πίνακας Εισροών-Εκροών, για τη θαλάσσια μεταφορά του πετρελαίου diesel από το διυλιστήριο της Ελευσίνας στο λιμάνι της Σούδας. (ανά kg μεταφερόμενου πετρελαίου diesel)

Table 4. Life Cycle Inventory table, for the diesel's sea transport from the refinery of Eleusina to the Souda port

	Μονάδες	ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ DIESEL ΣΤΟΝ Θ.Η.Σ. ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΤΑΝΚΕΡ
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ		
Ατσάλι	kg/kg	0,17
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Κατανάλωση Καυσίμου:	MJ/kg	0,029
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ		
SO ₂	kg/kg	2,85E-05
NO _x	kg/kg	3,07E-05
CO	kg/kg	4,91E-06
Στερεά Σωματίδια	kg/kg	3,07E-06
NM _{VOC}	kg/kg	9,21E-07
CO ₂	kg/kg	2,27E-03
N ₂ O	kg/kg	9,21E-09
CH ₄	kg/kg	9,21E-08

4.5. Το στάδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον Θ.Η.Σ. των Χανίων

Ο Θ.Η.Σ. Χανίων βρίσκεται στην περιοχή της Ξυλοκαμάρας και είναι ένας από τους δύο σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 355 MW. Σήμερα, στον Θ.Η.Σ. Χανίων υπάρχουν 8 αεριοστρόβιλοι και ένας ατμοστρόβιλος. Οι έξι αεριοστρόβιλοι είναι ανοικτού κύκλου. Οι δύο αεριοστρόβιλοι (ΑΕΡ6, ΑΕΡ7) μαζί με τον ατμοστρόβιλο (ΑΤΜ1) αποτελούν τη μονάδα του συνδυασμένου κύκλου. Παράλληλα, πρέπει να αναφέρουμε ότι όλες οι μονάδες ως καύσιμο χρησιμοποιούν πετρέλαιο κίνησης Diesel και η τροφοδοσία του σταθμού γίνεται από τον ειδικά διαμορφωμένο αγωγό από το λιμάνι της Σούδας των Χανίων. Τέλος, η μονάδα είναι αερόψυκτη.

Πίνακας 5. Στοιχεία Θ.Η.Σ. των Χανίων [11]

Table 5. Information for the powerplant of Chania

Θ.Η.Σ. ΧΑΝΙΩΝ (ΕΤΟΣ 2002)						
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ: (tn)					ΠΑΡΑΧΘΕΙΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: (MWh)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ DIESEL: (tn)
SO ₂ :	NO _x :	Σωματίδια:	CO:	CO ₂ :		
172,2	5.892	80,108	200	630.000	964.420	241.682

Πίνακας 6. Πίνακας Εισροών – Εκροών, για το στάδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον Θ.Η.Σ. των Χανίων

Table 6. Life Cycle Inventory table, for electricity production in the powerplant of Chania

	Μονάδες	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ Θ.Η.Σ. ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ:
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ		
Ατσάλι:	kg/KWh	2,300E-04
Τσιμέντο:	kg/KWh	5,740E-04
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Κατανάλωση Καυσίμου Diesel:	MJ/KWh	10,7
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ		
SO ₂ :	kg/KWh	1,786E-04
NO _x :	kg/KWh	6,110E-03
Σωματίδια:	kg/KWh	8,300E-05
CO:	kg/KWh	2,070E-04
CO ₂ :	kg/KWh	0,653

Με βάση στοιχεία της ΔΕΗ, η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον Θ.Η.Σ., κατά τη διάρκεια του έτους 2002, οι εκπομπές αέριων ρύπων, καθώς και η κατανάλωση καυσίμου Diesel, φαίνονται στον πίνακα 5.

Βάσει του πίνακα 5 για τον υπολογισμό των ενεργειακών εισροών σε καύσιμο Diesel και των αέριων ρύπων προς το περιβάλλον, καθώς και με τη χρήση της βάσης δεδομένων του G.E.M.I.S. για τον υπολογισμό των απαιτήσεων σε υλικά για την κατασκευή του Θ.Η.Σ., προκύπτει ο πίνακας 6 εισροών-εκροών του σταδίου αυτού.

4.6. Συγκεντρωτικός πίνακας εισροών-εκροών

Στο σημείο αυτό, θα γίνει μία συγκέντρωση των δεδομένων της ανάλυσης εισροών - εκροών, προκειμένου να κατασκευαστεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας εισροών-εκροών. Έτσι, θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή μίας KWh ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής.

Για το σκοπό αυτό, θα υπολογίσουμε τη ροή μάζας του πετρελαίου σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, από την εξόρυξη του με τη μορφή αργού πετρελαίου, έως την τελική του χρήση στον Θ.Η.Σ. υπό τη μορφή πετρελαίου Diesel.

Τέλος, με βάση τη ροή μάζας του πετρελαίου και τους επιμέρους πίνακες εισροών - εκροών των διαφόρων σταδίων της Ε.Κ.Ζ., θα υπολογίσουμε τις συνολικές εισροές υλικών, σε όλη την έκταση του κύκλου ζωής και τη συνολική ποσότητα αέριων εκπομπών προς το περιβάλλον.

Προκειμένου να γίνουν τα παραπάνω, θα πρέπει να ξεκινήσουμε αντίστροφα τη μελέτη.

Ξεκινώντας, λοιπόν, από το στάδιο της ηλεκτροπαραγωγής στον Θ.Η.Σ. των Χανίων, προκύπτει ότι για την παραγωγή 1 KWh ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτούνται 0,250 kg πετρελαίου Diesel ή 10,7 MJ εισερχόμενης ενέργειας (βλ. πίνακα 6).

Τα 0,250 kg Diesel, τα οποία απαιτούνται για την παραγωγή 1KWh, μεταφέρονται στον Θ.Η.Σ., κατά το στάδιο της θαλάσσιας μεταφοράς με τάνκερ στο λιμάνι της Σούδας και οι αντίστοιχες απαιτούμενες εισροές ενέργειας, με βάση τον πίνακα 4., είναι $7,25 \cdot 10^{-3}$ MJ,

Προκειμένου να παραχθούν αυτά τα 0,250 kg Diesel, κατά το στάδιο της διύλισης στο διυλιστήριο της Ελευσίνας, απαιτείται να διυλισθούν (βαθμός απόδοσης διυλιστηρίου 97,6%, βλ. παράγραφο 4.3):

$$0,25 \cdot (100 / 97,6) = 0,256 \text{ kg αργού πετρελαίου}$$

ενώ οι αντίστοιχες απαιτούμενες εισροές ενέργειας είναι 0,247 MJ (βλ. πίνακα 3).

Τα 0,256 kg αργού πετρελαίου που απαιτείται να διυλισθούν, προκειμένου να παραχθούν 0,250 kg Diesel στο διυλιστήριο, μεταφέρονται, κατά το στάδιο της θαλάσσιας μεταφοράς από το Ιράν, στο διυλιστήριο της Ελευσίνας, με χρήση πετρελαιοφόρου τάνκερ. Οι αντίστοιχες απαιτούμενες εισροές ενέργειας είναι 0,170 MJ (βλ. πίνακα 2).

Τέλος, με βάση τον πίνακα 1, προκύπτει ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή 0,256kg αργού πετρελαίου, στο στάδιο της παραγωγής-εξόρυξης, είναι 0,072 MJ.

Με βάση τα στοιχεία των επιμέρους πινάκων των διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής και έχοντας υπολογίσει τη ροή μάζας καθ' όλη την έκταση του κύκλου ζωής, μπορούμε να κατασκευάσουμε το συγκεντρωτικό πίνακα εισροών-εκροών της εκτίμησης κύκλου ζωής που εξετάζουμε (πίνακας 7).

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικός πίνακας εισροών-εκροών
Table 7. Final life cycle inventory table

	Μονάδες:	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΣΡΟΩΝ - ΕΚΡΟΩΝ ΤΗΣ Ε.Κ.Ζ.
ΕΙΣΡΟΕΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ:		
Ατσάλι:	kg/KWh	0,092
Τσιμέντο:	kg/KWh	6,309-03
ΕΙΣΡΟΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:		
Απαιτούμενη ενέργεια:	MJ/KWh	11,196
	KWh/KWh	3,110
ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ:		
SO ₂ :	kg/KWh	6,157E-04
NO _x :	kg/KWh	6,335E-03
CO:	kg/KWh	2,370E-04
Στερεά Σωματίδια:	kg/KWh	1,200E-04
NM _{VOC} :	kg/KWh	3,453E-05
CO ₂ :	kg/KWh	0,674
CH ₄ :	kg/KWh	9,964E-04
Υδρογονάνθρακες:	kg/KWh	1,851E-04

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ECO-INDICATOR '99

5.1. Επιλογή κατηγοριών επιπτώσεων, δεικτών κατηγοριοποίησης και μοντέλων χαρακτηρισμού

Το πρώτο βήμα της εκτίμησης επιπτώσεων, σύμφωνα με το ISO 14042, είναι η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων, των δεικτών κατηγοριοποίησης και των μοντέλων χαρακτηρισμού. Οι κατηγορίες επιπτώσεων μπορούν να περιγράψουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διαφορετικά επίπεδα. Στη μέθοδο Eco Indicator '99, η οποία χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη, υπάρχουν τρεις κατηγορίες επιπτώσεων, όπως περιγράφονται στον πίνακα 8.

Η μονάδα που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της ζημίας, που υφίσταται το οικοσύστημα, είναι η PDF*m²*yr. Η μονάδα αυτή έχει την έννοια του ποσοστού του οικοσυστήματος που απειλείται (π.χ. ένα ζωικό είδος), ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους, ανά έτος και εκφράζει τον αντίστοιχο δείκτη κατηγοριοποίησης.

Ο δείκτης κατηγοριοποίησης, που χρησιμοποιείται για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, είναι ο δείκτης DALY (Disability Adjusted Life Years), που ουσιαστικά αποτελεί μία κλίμακα μέτρησης της καταστροφής της ανθρώπινης υγείας. Η κλίμακα αυτή μετρά πολλούς διαφορετικούς τύπους ζημιάς. Το 0 σημαίνει απόλυτα υγιείς και το 1 θάνατος. Η μονάδα μέτρησης αυτού του δείκτη κατηγοριοποίησης είναι persons*year, που έχει την έννοια των θανάτων το χρόνο.

Τέλος, η μονάδα μέτρησης για το δείκτη κατηγοριοποίησης της κατανάλωσης φυσικών πόρων είναι η αναμενόμενη αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας σε MJ ανά kg εξορυσόμενου φυσικού πόρου.

Πίνακας 8. Πίνακας κατηγοριοποίησης επιπτώσεων
Table 8. Table of impact classification

Κατηγορία Επιπτώσεων:	Δείκτης Κατηγοριοποίησης:	Μονάδα:
Ποιότητα Οικοσυστήματος:	PDF-Potentially Disappeared Fraction (Αναμενόμενο μέρος του οικοσυστήματος που χάνεται).	PDF*m ² *yr
Ανθρώπινη Υγεία:	DALY – Disability Adjusted Life Years (Αναμενόμενη μείωση του μέσου όρου ανθρώπινης ζωής)	Person*year
Φυσικοί Πόροι:	Κατανάλωση Φυσικών Πόρων:	MJ/kg

Οι δείκτες κατηγοριοποίησης είναι ποσοτικοποιημένα μέτρα, αντιπροσωπευτικά μίας κατηγορίας επιπτώσεων.

Το μοντέλο χαρακτηρισμού περιγράφει πόσο ισχυρή είναι η επίδραση στο περιβάλλον από μία συγκεκριμένη ουσία, συγκρινόμενη με άλλες ουσίες, για την ίδια κατηγορία επιπτώσεων. Ο χαρακτηρισμός μετατρέπει τα αποτελέσματα της ανάλυσης εισροών - εκροών σε μία κοινή μονάδα για το δείκτη κατηγοριοποίησης. Το μοντέλο χαρακτηρισμού συμπεριλαμβάνεται στο εκάστοτε μοντέλο εκτίμησης επιπτώσεων. Στην παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο της Ιεραρχίας, το οποίο είναι και το προκαθορισμένο μοντέλο της μεθόδου [12,13].

5.2. Ανάθεση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης εισροών – εκροών στις κατηγορίες επιπτώσεων. (Ταξινόμηση)

Το δεύτερο σημαντικό βήμα της εκτίμησης επιπτώσεων, με βάση τη μεθοδολογία Eco-Indicator '99, είναι η ανάθεση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης εισροών-εκροών στις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες επιπτώσεων. Κάποιες από τις ουσίες των εισροών-εκροών μπορεί να συνεισφέρουν σε μία μόνο κατηγορία επιπτώσεων, ενώ κάποιες άλ-

λες είναι πιθανό να συνεισφέρουν σε περισσότερες από μία κατηγορίες. Η κατάταξη, λοιπόν, των διαφόρων εισροών και εκροών του υπό μελέτη συστήματος έχει ως εξής:

- Ποιότητα του οικοσυστήματος:
Λόγω αύξησης της οξύτητας και της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας: NO_x, SO_x.
- Ανθρώπινη υγεία:
Αναπνευστικά προβλήματα: Υδρογονάνθρακες, CH₄, NMVOC, Στερεά σωματίδια, NO_x, SO_x.
Βλάβες στην υγεία λόγω κλιματικών αλλαγών:
CH₄, NO_x, CO₂.
- Κατανάλωση φυσικών πόρων:
Κατανάλωση αργού πετρελαίου.

5.3. Υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριοποίησης (Χαρακτηρισμός)

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των διαφόρων εισροών-εκροών του υπό μελέτη συστήματος, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους συντελεστές χαρακτηρισμού. Με τη βοήθεια των συντελεστών αυτών, θα υπολογίσουμε σε μονάδες DALY, PDF*m²*yr και MJ, τις προκύπτουσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το οικοσύστημα και την εξάντληση των φυσικών πόρων, που στην παρούσα μελέτη είναι το αργό πετρέλαιο. Οι εισροές των υλικών τσιμέντου και ατσαλιού δε λαμβάνονται υπόψη, λόγω έλλειψης δεδομένων.

Συνεπώς, πολλαπλασιάζοντας την ποσότητα των αέριων εκπομπών και του αργού πετρελαίου που προέκυψαν από την ανάλυση εισροών-εκροών, με τους αντίστοιχους συντελεστές χαρακτηρισμού, παίρνουμε τη συνολική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία σε μονάδες DALY (persons*year), τη συνολική επίπτωση στο οικοσύστημα σε μονάδες PDF*m²*yr και την επίπτωση στην εξάντληση των φυσικών πόρων σε MJ επιπρόσθετης απαιτούμενης ενέργειας. Με βάση τα ανωτέρω, προκύπτει ο πίνακας 9.

Η μεθοδολογία Eco-Indicator '99 κάνει την παραδοχή ότι οι επιπτώσεις, που προκύπτουν με βάση τη βάση δεδομένων της, αφορούν μόνο στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης. Εξαιρέση αποτελούν οι επιπτώσεις που προέρχονται από την κατανάλωση των φυσικών πόρων και τις κλιματικές αλλαγές, την εξάντληση του όζοντος, τις αέριες εκπομπές καρκινογόνων ουσιών, τους ανόργανους αέριους ρυπαντές και μερικές ραδιενεργές ουσίες.

5.4. Το στάδιο της ισοστάθμισης

Με το στάδιο της ισοστάθμισης μας δίνεται η δυνατότητα να μετατρέψουμε τα αποτελέσματα κάθε κατηγορίας επιπτώσεων σε μία κοινή μονάδα μέτρησης, μέσω κάποιων συντελεστών βαρύτητας.

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων [12]

Table 9. Final results of impact assessment

ΟΝΟΜΑ:	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ:	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ:	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ:
CO ₂ : (βλάβες στην υγεία λόγω κλιματικών αλλαγών)	0,674 kg	1,36E-05 DALY/kg	9,166E-06 DALY
CH ₄ : (αναπνευστικά προβλήματα από οργανικές ενώσεις)	9,964E-04 kg	8,31E-07 DALY/kg	8,280E-10 DALY
CH ₄ : (βλάβες στην υγεία λόγω κλιματικών αλλαγών)	9,964E-04 kg	2,86E-04 DALY/kg	2,850E-07 DALY
SO _x : (αναπνευστικά προβλήματα από ανόργανες ενώσεις)	6,157E-04 kg	3,55E-03 DALY/kg	2,186E-06 DALY
NO _x : (αναπνευστικά προβλήματα από ανόργανες ενώσεις)	6,335E-03 kg	5,76E-03 DALY/kg	3,649E-05 DALY
NO _x : (βλάβες στην υγεία λόγω κλιματικών αλλαγών)	6,335E-03 kg	4,48E-03 DALY/kg	2,838E-05 DALY
NM VOC: (αναπνευστικά προβλήματα από οργανικές ενώσεις)	3,453E-05 kg	8,31E-05 DALY/kg	2,869E-09 DALY
Στερεά Σωματίδια: (αναπνευστικά προβλ. από ανορ. ενώσεις)	1,200E-04 kg	4,55E-02 DALY/kg	5,460E-06 DALY
Υδρογονάνθρακες: (αναπνευστικά προβλ. από ανορ. ενώσεις)	1,851E-04 kg	2,27E-05 DALY/kg	4,202E-09 DALY
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ:			8,197E-05 DALY
SO _x : (καταστροφή οικοσυστήματος)	6,157E-04 kg	2,03E-04 PDF*m ² *yr/kg	1,250E-07 PDF*m ² *yr
NO _x : (καταστροφή οικοσυστήματος)	6,335E-03 kg	1,11E-03 PDF*m ² *yr/kg	7,032E-06 PDF*m ² *yr
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ:			7,157E-06 PDF*m²*yr
Αργό Πετρέλαιο: (εξάντληση φυσικών πόρων)	0,256 kg	7,02E-04 MJ/kg	1,797E-04 MJ
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΑΡΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ:			1,797E-04 MJ

Πίνακας 10. Συντελεστές βαρύτητας των κατηγοριών επιπτώσεων [12]

Table 10. Magnitude factors of category indicators

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ:	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ:	ΜΟΝΑΔΑ:
Ανθρώπινη Υγεία:	400	ECO 99 unit/DALY
Ποιότητα Του Οικοσυστήματος:	400	ECO 99 unit/PDF*m ² *yr
Φυσικοί Πόροι Αργού Πετρελαίου:	200	ECO 99 unit/MJ

Προκειμένου να καταρτιστούν αυτοί οι συντελεστές βαρύτητας, έχει δοθεί μία υποκειμενική και ποσοτική σειρά προτεραιότητας της σχετικής δριμύτητας των τριών κατηγοριών επιπτώσεων. Οι συντελεστές βαρύτητας του σταδίου της ισοστάθμισης της μεθόδου Eco-Indicator '99 παρουσιάζονται στον πίνακα 10 [12,13].

Πολλαπλασιάζοντας τους συντελεστές βαρύτητας του πίνακα 10, με τα στοιχεία που προέκυψαν από τον πίνακα 9 προκύπτουν τα εξής:

Η καταστροφή της ανθρώπινης υγείας αντιστοιχεί σε: $8,197E-05 \text{ DALY} * 400 \text{ (ECO 99 unit/DALY)} = 3,279E-02 \text{ ECO 99 units}$,

Η υποβάθμιση της ποιότητας του οικοσυστήματος, αντιστοιχεί σε: $7,157E-06 \text{ (PDF*m}^2\text{*yr)} * 400 \text{ (ECO 99 unit/PDF*m}^2\text{*yr)} = 2,863E-03 \text{ ECO 99 units}$,

Η εξάντληση των φυσικών πόρων (αργού πετρελαίου) αντιστοιχεί σε: $1,797E-04 \text{ MJ} * 200 \text{ ECO 99 unit/MJ} = 3,594E-02 \text{ ECO 99 units}$.

Προκύπτει, λοιπόν, σύμφωνα με τα δεδομένα της παρούσης Ε.Κ.Ζ., ότι η εξάντληση των φυσικών πόρων αργού πετρελαίου καταλαμβάνει το 50,2% των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η καταστροφή της ανθρώπινης υγείας το 45,8%, ενώ η υποβάθμιση της ποιότητας του οικοσυστήματος καταλαμβάνει μόλις το 4% του συνόλου.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Συμπεράσματα για τις εισροές-εκροές του συστήματος

Όσον αφορά στις συνολικές εισροές του συστήματος της Ε.Κ.Ζ., μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

Συνολικά, από όλα τα στάδια του υπό μελέτη κύκλου ζωής, για την παραγωγή 1 KWh ηλεκτρικής ενέργειας από τον Θ.Η.Σ. των Χανίων απαιτούνται 11,196 MJ ενεργειακών εισροών ή 3,11 KWh.

Άρα, για κάθε μία παραγόμενη KWh ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καταναλώσουμε συνολικά 3,11 KWh, κάτι που σημαίνει ότι ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος που προκύπτει είναι 32,15%. (βλ. πίνακα 7).

Από το σύνολο των ενεργειακών εισροών, για την παραγωγή και μεταφορά του πετρελαίου Diesel στον Θ.Η.Σ. των Χανίων, το μεγαλύτερο μέρος καταναλώνεται στο στάδιο της διύλισης (0,247MJ).

Η συνολικά μεγαλύτερη ποσότητα ενεργειακών εισροών παρουσιάζεται στο στάδιο της τελικής ηλεκτροπαραγωγής στον Θ.Η.Σ., διότι μόνο στο στάδιο αυτό έχει ληφθεί υπόψη η θερμογόνος ικανότητα του καυσίμου που χρησιμοποιείται.

Όσον αφορά στις συνολικές εκροές του συστήματος της εκτίμησης κύκλου ζωής, μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

Από το σύνολο των αέριων εκπομπών του συστήματος (0,683 kg), το μεγαλύτερο μερίδιο, όπως αναμένεται, καταλαμβάνουν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με 0,674 kg/KWh (98,68% επί του συνόλου), δεύτερες έρχονται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) με 6,335*10⁻³ kg/KWh και τρίτες οι εκπομπές μεθανίου (CH₄) με 9,964*10⁻⁴ kg/KWh (βλ. πίνακα 7).

Από διαθέσιμες στη βιβλιογραφία μελέτες Ε.Κ.Ζ. για παρόμοιες μονάδες παρατηρούνται τα εξής:

- Ενεργειακός βαθμός απόδοσης 36,2% και συνολικές εκπομπές CO₂ 0,742 kg/KWh (στοιχεία για την Ιαπωνία) [14].
- Συνολικές εκπομπές NO_x 1,27*10⁻³ kg/KWh, SO₂ 2,31*10⁻³ kg/KWh, CO₂ 0,886 kg/KWh και CH₄ 1,084*10⁻³ kg/KWh (στοιχεία για την Ιταλία) [15].
- Συνολικές εκπομπές SO₂ 1,285*10⁻³ kg/KWh, CO₂ 0,778 kg/KWh και NMVOC 1,570*10⁻³ kg/KWh (στοιχεία για τη Βόρειο Αμερική) [16].

Συγκρίνοντας τα ευρήματα της παρούσας ανάλυσης με τα ανωτέρω στοιχεία και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες σύγκρισης των αποτελεσμάτων διαφορετικών Ε.Κ.Ζ., λόγω γενικά των περιορισμών που παρουσιάζει η συγκεκριμένη μεθοδολογία [17], μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι τα ευρήματα αυτά κρίνονται ως ικανοποιητικά. Ανάλογα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν και από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μελετών, που αφορούν γενικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [18-22].

6.2. Συμπεράσματα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος

Σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Από το σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παρούσας Ε.Κ.Ζ., η εξάντληση των φυσικών πόρων αργού πετρελαίου καταλαμβάνει το 50,2%, η καταστροφή της ανθρώπινης υγείας το 45,8%, ενώ η υποβάθμιση της ποιότητας του οικοσυστήματος καταλαμβάνει μόλις το 4%. (βλ. παράγραφο 5.4.). Η αναλογία αυτή παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα 2.

Για την παραγωγή κάθε KWh ηλεκτρικής ενέργειας από

τον Θ.Η.Σ. των Χανίων, προκύπτει ότι η καταστροφή της ανθρώπινης υγείας αντιστοιχεί σε 8,197E-05 DALY's, που ισοδυναμεί αναλογικά με 8,197*10⁻⁵ θανάτους ανθρώπων το χρόνο ανά παραγόμενη KWh, στην περιοχή της Ευρώπης (βλ. πίνακα 9).



Σχήμα 2. Κατανομή περιβαλλοντικών επιπτώσεων
Figure 2. Environmental impact allocation

Για την παραγωγή κάθε KWh ηλεκτρικής ενέργειας από τον Θ.Η.Σ. των Χανίων, προκύπτει ότι η συνολική επίπτωση στο οικοσύστημα αντιστοιχεί στην απειλή προς εξαφάνιση ή την εξαφάνιση του 0,000007% περίπου της βιοποικιλότητας ανά m² επιφάνειας του εδάφους της Ευρώπης και ανά χρόνο (βλ. πίνακα 9). Για την παραγωγή κάθε KWh ηλεκτρικής ενέργειας από τον Θ.Η.Σ. των Χανίων, προκύπτει ότι η συνολική επίπτωση στην κατανάλωση των φυσικών πόρων αργού πετρελαίου αντιστοιχεί σε αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για κάθε kg εξορυσσόμενου αργού πετρελαίου, ίση με 0,00018 MJ περίπου (βλ. πίνακα 9).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Curran M.A., **Environmental Life-Cycle Assessment**, McGraw-Hill, New York 1996.
2. Καρβούνης Σ., Γεωργακέλλος Δ., **Διαχείριση του Περιβάλλοντος**, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα 2003.
3. Κυριακόπουλος Γ., **Τεχνολογία Πετρελαίου**, Αθήνα 1977.
4. Σταματάκη Σ., Αυλωνίτης Γ., **Μηχανική Πετρελαίων**, Αθήνα 2001.
5. Global Emission Model of Integrated Systems (GEMIS) database, Öko Institut, Gesamthochschule Kasse, September 2002.
6. Sheehan J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H., **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus**, Final Report, May 1998
7. Ελληνικά Πετρέλαια www.hellenic-petroleum.gr.
8. **Ενημερωτικό Δελτίο, Πετρόλα Ελλάς Α.Ε.Β.Ε.**, Αθήνα 2001.
9. Παπαγεωργίου Ν., **Ατμοπαραγωγοί Ι**, Αθήνα, 1991.
10. Παντισίδης Χ., **Αναβάθμιση & Εκσυγχρονισμός του Διυλιστηρίου της Πετρόλα**, Οκτώβριος 2000.
11. ΔΕΗ, Διεύθυνση εκμετάλλευσης ΘΗΣ, Κλάδος Κρήτης/ΑΗΣ Χανίων, **Ετήσια Έκθεση Ποιότητας Περιβάλλοντος 2002**.
12. Goedkoop M., Priensma R., **The Eco-Indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report**, June 2001, Third Edition.
13. Carlson R., Häggström S., Pålsson A.-C., **Industrial Environmental Informatics, Chalmers University of Technology, LCA training package for users of LCA data and results**, Sweden 2003.

14. Hondo H. (2005), "Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case", **Energy**, 30, pp. 2042-2056.
15. Riva A., D'Angelosante S. and Trebeschi C. (2006), "Natural gas and the environmental results of life cycle assessment", **Energy**, 31, pp. 138-148.
16. Gagnon L., Belanger C. and Uchiyama Y. (2002), "Life cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001", **Energy Policy**, 30, pp. 1267-1278.
17. Yoshida Y., Ishitani H., Matsubishi R., Kudoh Y., Okuma H., Morita K., Koike A. and Kobayashi O. (2002), "Reliability of LCI considering the uncertainties of energy consumption in input-output analyses", **Applied Energy**, 73, pp. 71-78.
18. U.S. Department of Energy, **Electric Power Annual 2004**, November 2005, DOE/IEA-0348(2004).
19. Jungbluth N., Bauer C., Dones R. and Frischknecht R. (2005), "Life cycle assessment of emerging technologies: Case studies for photovoltaic and wind power", **International Journal of LCA**, 10, pp. 24-34.
20. U.S. Department of Energy, **Voluntary Reporting of Greenhouse Gases 2004**, March 2006, DOE/IEA-0608(2004).
21. U.S. Department of Energy, **Emissions of Greenhouse Gases in The United States 2004**, December 2005, DOE/IEA-0573(2004).
22. Koroneos C., Dompros A., Roumbas G. and Moussiopoulos N. (2004), "Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes", **International Journal of Hydrogen Energy**, 29, pp. 1443-1450.

Αναστάσιος Α. Πυροβολάκης

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., Μ.Β.Α.-Τ.Ο.Μ., Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Μαρκάνδρας 21, Άνω Ιλίσια, Αθήνα.

Δημήτριος Α. Γεωργακέλλος

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., Επικ. Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Καραολή και Δημητρίου 80, Πειραιάς

Extended summary

Life Cycle Assessment of Electric Power coming from a Typical Greek Petroleum Power Station

ANASTASIOS A. PYROVOLAKIS

Mechanical Engineer, N.T.U.A.
M.B.A.-T.Q.M. University of Piraeus

DIMITRIOS A. GEORGAKELLOS

Mechanical Engineer, N.T.U.A.
Assist. Professor University of Piraeus

Abstract

The present Life Cycle Assessment (L.C.A.), includes all the life cycle's stages of 1Kwh of electric power, coming from the power station of Chania, which uses as fuel petroleum diesel. Moreover, it analyses the results of the life cycle inventory and conducts environmental impact assessment, using the Eco-Indicator '99 methodology. The crude oil is extracted in Iran and it is transported in the refinery of Eleusina, but also then under the form of Diesel in Chania, with oil-bearing tanker ship. In the results' presentation, emphasis is laid on the air pollutants that contribute in the deterioration of human health and in the downgrading of the ecosystem quality. Furthermore, stress is put on the consumption of energy resources, like petroleum, electric power and thermal energy. For the completion of this assessment, apart from primary data, information has been sought in the internet, the existing bibliography, research programs and in the computer software G.E.M.I.S. (Global Emission Model of Integrated Systems).

1. INTRODUCTION

The essence of the life cycle assessment, is the evaluation of the relative environmental, economic and technological consequences of a material, an activity or a product, throughout his life cycle from cradle to grave, or in ideal situation, to his regeneration in its previous or some other useful form. According to ISO 14040 series of standards, L.C.A. is divided into four iteratively related phases:

- Goal and scope definition,
- Inventory analysis,
- Life cycle impact assessment,
- Life cycle interpretation [1,2].

Although L.C.A. has been receiving a lot of attention by individuals in the environmental field since 1990, the first attempt to look at extended product systems can be traced back to as early as the 1960s. This work mainly focused on calculating energy requirements. Several such "fuel cycle" studies were conducted in the United States by the Department of Energy. Although they focused on energy

characteristics, these studies also included limited estimates of environmental releases. With the oil shortages in the early 1970s, both the U.S. and British governments commissioned extensive studies of industrial studies to conduct detailed energy analyses.

As the oil crises faded, so did interest in the product system, or L.C.A., approach for evaluating energy use. Then in the mid-1970s, landmark studies, which focused on environmental issues, were performed by Arthur D. Little and Midwest Research Institute (MRI). The main investigators who conducted the studies at MRI later left to form Franklin Associates, Ltd. Activity in the United States on environmental L.C.A.s continued at a slow, but steady, pace of around two or three studies per year. The exact number is not certain because most studies were (and still are) performed for private clients and not released for public consumption.

Similarly, extended system studies were conducted in Europe during this period; they looked mainly at packaging systems, such as beverage containers. But the 1980s found a renewed interest in L.C.A. as the Green Movement in Europe brought the subject to public attention on issues related to recycling. As a result, environmental releases were routinely added to energy, raw materials, and solid waste considerations.

While product comparison is still the goal of many groups, especially in ecolabeling programs, identifying opportunities to alter a product, or process, to improve its environmental profile (or make it "greener") is now often the motivation behind conducting an L.C.A. [1].

2. L.C.A. METHODOLOGY

The L.C.A. methodology has four components: goal definition and scoping, life-cycle inventory (L.C.I.), impact assessment, and improvement assessment. A full life-cycle

assessment includes each of these four components.

The goal definition and scoping stage of L.C.A. defines the purpose of the study, the expected product of the study, the boundary conditions, and the assumptions. This stage has always been a part of L.C.I. and L.C.A. studies because the process of setting boundaries and of defining the specific life-cycle systems being studied is an essential first step for any L.C.I. or L.C.A. study.

The second stage of the L.C.A. process is the life-cycle inventory. The L.C.I. quantifies the resource use, energy use, and environmental releases associated with the system being evaluated. For a product life cycle, the analysis involves all steps in the life cycle of each component of the product being studied. This includes the acquisition of raw materials from the earth, the acquisition of energy resources from the earth, processing of raw materials into usable components, manufacturing products and intermediates, transportation of materials to each processing step, manufacture of the product being studied, distribution of the product, use of the product, and final disposition (which may include recycling, reuse, incineration, or landfill).

This stage of L.C.A. is critical because the L.C.I. results are needed to perform any type of quantitative impact assessment. If impact assessment is not performed, then L.C.I. results can be used directly to perform improvement assessments based on energy and emission results, not on effects on health or the environment.

Once the inputs and outputs of a system have been quantified by the L.C.I., *impact assessment (IA)*, the third stage of L.C.A., can be performed. Conceptually, impact assessment consists of three stages: classification, characterization, and weighting. Classification is the assignment of L.C.I. inputs and outputs to impact groupings. For example, the use of fossil fuels may be assigned to the impact group "depletion of finite resources." Characterization is the process of developing conversion models to translate L.C.I. and supplemental data to impact descriptors. For example, carbon dioxide and methane L.C.I. outputs may be converted to units of global warming potential. Weighting is the assignment of relative values or weights to different impacts, allowing integration across all impact categories.

Improvement assessment, like goal definition and scoping, has always been a part of L.C.I. and L.C.A. studies. The desire to reduce burdens on the environment by altering a product or process is often the driver for a given study. Another driver for L.C.A. studies has been the desire to benchmark a product against competitive products or to prove that one product is environmentally preferable to another. However, a complete impact assessment is very costly and time consuming, mainly due to the need of quantitative and reliable information. Consequently, the lack of data and the absence of the required know-how, leads to the omission of this L.C.A. stage, in the current work [1,2].

3. GOAL AND SCOPE DEFINITION

The purpose of the current L.C.A., is the analysis of the inputs and outputs and the environmental impact assessment of all the system's life cycle stages, including the primary offshore crude oil extraction in Iran, its transportation in Greece through sea, its refining in the refinery of Eleusina and its final transportation and use, under the form of petroleum diesel, in the power station of Chania, for the production of 1Kwh of electric power.

The functional unit of this L.C.A. is 1KWh of electric power, coming from the power station of Chania.

4. LIFE CYCLE INVENTORY

The results of the life cycle inventory are presented throughout the tables 1, 2, 3, 4, 6, for each of the life cycle's stages and table 7, which illustrates the final L.C.I. cumulative results.

As far as mass allocation is concerned, it turns up that in order to produce 1Kwh of electric power in the power station of Chania; we need 0,250 kg of petroleum diesel, which in turn needs 0,256 kg of crude oil to be refined in the refinery of Eleusina. Of course, the same amount of crude oil has to be extracted from Iran.

5. IMPACT ASSESSMENT

The impact assessment assigns the results from the inventory to impact categories or classes of environmental problems. The methodology that is used in the current L.C.A. is the Eco Indicator '99.

In the Eco Indicator '99 method there are three impact categories: Ecosystem quality, human health and resource damage.

In the classification step, the substances on the list from the inventory (table 7) are assigned to the impact category that they affect. Some substances will contribute to one exclusive impact category while others might contribute to two or more. The flows of the substances must in the latter case be allocated between the different impact categories. (Table 9)

The characterisation process, describes how strong the effect on the environment is from a certain input or output from the inventory. The severity of the impact varies for equal amounts of two substances. (Table 9)

Finally, the weighting process is the converting of the results of each impact category to a comparable unit with value-based numerical factors or, simply, "weighting factors". A subjective and quantitative priority is given of

the relative severity of different impact categories, e.g. if resource depletion is worse than extinct species. The Eco Indicator '99 has the following priority:

IMPACT CATEGORY:	WEIGHTING FACTOR:	UNIT:
Human Health:	400	ECO 99 unit/DALY
Ecosystem Quality:	400	ECO 99 unit/PDF*m ² *yr
Resources:	200	ECO 99 unit/MJ

Therefore, multiplying the previous weighting factors, with the results from table 9, we derive the followings:

Human's health deterioration stands for: $8,197E-05$ DALY * 400 (ECO 99 unit/DALY) = $3,279E-02$ ECO 99 units,

Downgrading of the ecosystem quality, stands for: $7,157E-06$ (PDF*m²*yr) * 400 (ECO 99 unit/PDF*m²*yr) = $2,863E-03$ ECO 99 units,

Natural resources depletion (crude oil), stands for: $1,797E-04$ MJ * 200 ECO 99 unit/MJ = $3,594E-02$ ECO 99 units.

6. CONCLUSIONS

6.1. Conclusions about the system's inputs and outputs

With regard to the *total inputs* of the system, we can derive the following conclusions:

Totally, taking into account all the L.C.A.'s stages under study, for the production of 1KWh of electric power coming from the power station of Chania, it is required 11,196 MJ of energy inputs or 3,11 KWh. This means, that the *overall efficiency ratio is 32,15%* (Table7).

The greater part of energy inputs, for the crude's oil and diesel's production and transportation, is consumed in the stage of refining (0,247 MJ). However, the largest amount is required in the stage of final generation of electricity in the power station of Chania, because only in this stage has been taken into consideration the lower heating value of the fuel.

With regard to the *total outputs* of the system we can derive the following conclusions:

From the total amount of system's air emissions (0,683

kg), the bigger share occupy the emissions of CO₂ with 0,674 kg/KWh (98,68%), second come the NO_x emissions with $6,335*10^{-3}$ kg/KWh and third the CH₄ emissions with $9,964*10^{-4}$ kg/KWh (Table 7).

Moreover, from the available data from the literature concerning similar power plants, one could mention the following:

- Efficiency ratio 36,2% and total emissions of CO₂ 0,742 kg/KWh (data for Japan).
- Total emissions of NO_x $1,27*10^{-3}$ kg/KWh, of SO₂ $2,31*10^{-3}$ kg/KWh, of CO₂ 0,886 kg/KWh and of CH₄ $1,084*10^{-3}$ kg/KWh (data for Italy).
- Total emissions of SO₂ $1,285*10^{-3}$ kg/KWh, of CO₂ 0,778 kg/KWh and of NMVOC $1,570*10^{-3}$ kg/KWh (data for Northern America).

Comparing the above data with the findings of the present analysis, and considering the difficulties that generally exist in the comparison of data coming from different LCA studies, it is evident the these findings are fully acceptable.

6.2. Conclusions about the system's environmental impacts

As concerns the *environmental impacts*, we can derive the following conclusions:

From the total of the system's environmental impacts, the depletion of crude's oil natural resources, occupy the 50,2%, the deterioration of human health the 45,8%, while the downgrading of ecosystem's quality occupies hardly the 4%.

For the production of each KWh of electric power from the power station of Chania, *the resulted deterioration of human health* stands for $8,197E-05$ DALY's, which corresponds in proportionally $8,197*10^{-5}$ human deaths per year and per produced KWh, in Europe (Table 9).

Similarly, for the production of each KWh of electric power from the power station of Chania, *the resulted downgrading of the ecosystem's quality*, corresponds in a 0,000007% of potentially disappeared fraction of biodiversity per m² of Europe's territory per year (Table 9).

Finally, for the production of each KWh of electric power from the power station of Chania, *the resulted depletion of crude's oil natural resources*, corresponds in an increase in the required energy for each extracted kg of crude oil, equal with 0,00018 MJ (Table 9).

Anastasios A. Pyrovolakis

Mechanical Engineer, N.T.U.A., M.B.A.-T.Q.M., University of Piraeus, Markandas 21, Ano-Ilisia, Athens, Greece

Dimitrios A. Georgakellos

Mechanical Engineer, N.T.U.A., Assistant Professor, University of Piraeus, 80 Karaoli & Dimitriou, Piraeus, Greece