



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας

ΠΜΣ: «Βιώσιμη Ανάπτυξη»

Κατεύθυνση: «Διαχείριση Περιβάλλοντος»

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΚΖ ΣΕ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ.

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ:

«ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΣΤΗ ΘΕΣΗ «ΠΑΤΩΜΑ», ΣΤΟ

Δ. ΤΕΜΠΩΝ, ΣΤΟ Ν. ΛΑΡΙΣΑΣ».

Πτυχιακή Εργασία της Πακτίτη Δέσποινας (Α.Μ.: 29214)

Κωνσταντίνος Αμπελιώτης (Επιβλέπων)

Επίκουρος Καθηγητής

Κωσταντία Αικατερίνη Λαζαρίδη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Δέτσης Βασίλειος

Επίκουρος Καθηγητής

Ιανουάριος, 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή μας γίνεται λόγος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το πόσο ωφέλιμες είναι για το περιβάλλον σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Όμως, κατά πόσο είναι φιλικές προς το περιβάλλον από τη στιγμή που για να κατασκευαστεί μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής λ.χ., αιολικά πάρκα, απαιτούνται τόνοι υλικών, τα οποία επεξεργάζονται, μεταφέρονται και τελικά απορρίπτονται ως απόβλητα; Αυτά είναι τα ερωτήματα που ερευνήθηκαν και απαντήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Για να απαντηθούν τα προαναφερόμενα ερωτήματα ακολουθήθηκε η μεθοδολογίας της περιβαλλοντικής αξιολόγησης κύκλου ζωής (AKZ). Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πρώτα απ' όλα πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση. Δεύτερον, ορίστηκε η μελέτη περίπτωσης, η οποία είναι το υπό κατασκευή αιολικό πάρκο στη θέση: «Πάτωμα», στο Δ. Τεμπών, στο Ν. Λάρισα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση του προλεγόμενου αιολικού πάρκου στο λογισμικό SimaPro 5.1, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αξιολόγησης των επιπτώσεων CML 2 Baseline 2000, ενώ για την κανονικοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τη Δυτική Ευρώπη το 1995 (West Europe 1995).

Από την αξιολόγηση εξήχθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα: Η θαλάσσια οικοτοξικότητα είναι η κατηγορία των επιπτώσεων που επηρεάζεται περισσότερο καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου και ακολουθεί η παγκόσμια υπερθέρμανση, ενώ η εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος επηρεάζεται λιγότερο. Τέλος, το στάδιο της διαχείρισης των αποβλήτων του αιολικού πάρκου συμβάλλει πολύ λιγότερο σε σχέση με το στάδιο της κατασκευής σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Εν κατακλείδι, οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων της AKZ του αιολικού πάρκου είναι η γεωγραφία, το ποια στάδια του κύκλου ζωής των Α/Γ λαμβάνονται υπόψη καθώς και η διάρκεια του κύκλου ζωής. Επιπλέον, μια ακόμη σημαντική παράμετρος είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιπτώσεων.

ABSTRACT

In our era, people talk about renewable energy and why it is beneficial for the environment compared to the conventional energy sources. But how environmentally friendly are renewables since, for example, the construction of wind farms requires tons of materials, which are processed, transported and ultimately disposed of as waste? These are the questions investigated and answered in this work.

The aim of this research was the application of the Life Cycle Assessment methodology for the environmental assessment of a wind farm. At first, literature review was contacted. Secondly, the case study is defined, which is the (under construction) wind farm in Patoma in municipality of Tempe in the region of Larissa, in Greece. Finally, this wind farm was modelled by the software SimaPro 5.1, whilst the CML 2 Baseline 2000 method is used for impact assessment.

Based on the LCA methodology, the followings results are extracted. The impact category of marine aquatic ecotoxicity is the most significantly affected; the second impact category that is affected significantly is the global warming. Finally, due to the location of the wind farm, the decommissioning-waste disposal has negligible effect on all impact categories during the life cycle of the wind farm.

To sum up, the most significant factors that affect the results are the geography, the stages of life cycle considered, the duration of the life cycle of the wind farm in addition to the impact assessment method.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	7
2.1 Τι είναι Ανάλυση Κύκλου Ζωής	7
2.2 Τα περιεχόμενα μιας μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	8
3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	10
3.1 Εφαρμογή της AKZ για σύγκριση της αιολικής ενέργειας με άλλες ΑΠΕ	10
3.2 Εφαρμογή της AKZ στην Αιολική Ενέργεια.....	26
4. Μελέτη Περίπτωσης - Περιγραφή.....	69
4.1 Καθορισμός της Μελέτης Περίπτωσης	69
4.2 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης	72
4.2.1 Ορισμός της Λειτουργικής Μονάδας	73
4.3 Ορισμός των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος.....	73
4.4 Περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας και σχεδιασμός του διαγράμματος ροής.....	73
5. AKZ του αιολικού πάρκου στη θέση: «Πάτωμα», Δ. Τεμπών, Ν. Λαρίσης.....	75
5.1 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης	75
5.2 Πηγές των δεδομένων	76
5.3 Απογραφή Δεδομένων.....	77
5.4 Αξιολόγηση Επιπτώσεων	81
5.5 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων.....	93
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	105

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως γνωρίζουμε σε όλο τον κόσμο υπάρχει πρόβλημα όσον αφορά την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας στην πλειοψηφία της παράγεται από την καύση αργού πετρελαίου και λιγνίτη. Ο τρόπος αυτός της παραγωγής ενέργειας έχει δύο κύρια προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι υπάρχει εξάρτηση από το αργό πετρέλαιο και προκαλούνται γεωπολιτικές διενέξεις μεταξύ των πετρελαιοπαραγωγών χωρών και των αγοραστών και το δεύτερο είναι ότι προκαλούνται περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Όμως, δεν αποτελεί μόνο πρόβλημα η ενέργεια αλλά και η εξάντληση των φυσικών πόρων. Έτσι λοιπόν, ορισμένες χώρες του κόσμου έχουν αρχίσει να προσανατολίζονται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας οι οποίες προσφέρουν ενεργειακή αυτονομία και δεν εξαντλούνται όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο λιγνίτης, κ.ο.κ.

Η ΕΕ έχει θεσπίσει πολιτικές με τις οποίες εισάγει τις προδιαγραφές για την εισαγωγή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο. Έτσι και η Ελλάδα ως κράτος μέλος της ΕΕ έχει εναρμονίσει τις Κοινοτικές Οδηγίες στο Εθνικό της Θεσμικό Πλαίσιο όσον αφορά τις ΑΠΕ. Η πιο πρόσφατη εναρμόνιση είναι της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση των ΑΠΕ με την έκδοση του Νόμου 3851/2010 (ΦΕΚ 85 Α' 4-6-2010) για την επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Σύμφωνα με αυτόν το νόμο, καθορίζονται οι εθνικοί στόχοι για τις ΑΠΕ ως εξής, μέχρι το 2020, συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ:

- Στην **Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας** σε ποσοστό **20%**
- Στην **Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας** σε ποσοστό **τουλάχιστον 40%**
- Στην **Τελική Κατανάλωση Ενέργειας για Θέρμανση και Ψύξη** σε ποσοστό **τουλάχιστον 20%**
- Στην **Τελική Κατανάλωση Ενέργειας στις Μεταφορές** σε ποσοστό **τουλάχιστον 10%**

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι θα γίνουν αρκετά έργα ΑΠΕ με αποτέλεσμα να υπάρχουν κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Έτσι θα γίνουν μελέτες για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και μια κατηγορία από αυτές τις μελέτες πιθανόν να είναι και η ΑΚΖ.

Μια μελέτη ΑΚΖ θα γίνει στην παρούσα εργασία για αιολικό πάρκο, για να εξεταστεί σε ποιο στάδιο του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου είναι οι πιο πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία θα έχει 7 κεφάλαια. Το 1^ο κεφάλαιο θα είναι μια εισαγωγή. Στο 2^ο κεφάλαιο θα περιγράφεται συνοπτικά τι είναι ΑΚΖ και τι περιέχει μια μελέτη ΑΚΖ. Στο 3^ο κεφάλαιο θα γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου θα περιγράφεται η ΑΚΖ στις ΑΠΕ σε σύγκριση με την αιολική ενέργεια για να καταλήξει στην εφαρμογή της ΑΚΖ στην αιολική ενέργεια. Στο 4^ο κεφάλαιο θα καθοριστούν η Μελέτη Περίπτωσης, ο σκοπός και το αντικείμενο της μελέτης, θα οριστούν η Λειτουργική Μονάδα και τα όρια του εξεταζόμενου συστήματος και θα περιγραφεί η παραγωγική διαδικασία καθώς και θα σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής. Στο 5^ο κεφάλαιο θα αναφερθούν ποιες είναι οι πηγές των δεδομένων, θα αναφερθούν ποιες είναι οι παραδοχές και οι περιορισμοί της μελέτης, θα αξιολογηθούν οι επιπτώσεις, θα περιγραφούν η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, οι κατηγορίες των επιπτώσεων και θα γίνει η ερμηνεία τους. Στο 6^ο κεφάλαιο θα περιγραφούν τα εξαγόμενα συμπεράσματα από τη μελέτη. Τέλος, το 7^ο κεφάλαιο θα είναι η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

2.1 Τι είναι Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Ο ορισμός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που δίνεται από την Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) είναι:

«Η *Ανάλυση 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 στο περιβάλλον όπως και η αξιολόγηση και η εκμετάλλευση ευκαιριών για την επίτευξη των περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η ανάλυση καλύπτει όλο 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». (Καρβούνης & Γεωργακέλλος, 2003)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελείται από τρία αλληλεξαρτώμενα μέρη, την ανάλυση της απογραφής, την ανάλυση των επιδράσεων και την ανάλυση των βελτιώσεων. Αναλυτικότερα, στο πρώτο μέρος, έχουμε την απογραφή του κύκλου ζωής, η οποία είναι μια αντικειμενική διαδικασία βάσεων δεδομένων για τον καθορισμό της ποσότητας της ενέργειας και τις απαιτήσεις των πρώτων υλών, των εκπομπών αερίων, των υγρών ραδιενεργών αποβλήτων, των στερεών αποβλήτων, και των άλλων εκλύσεων που προκαλούν περιβαλλοντικές συνέπειες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή δραστηριότητας. Στο δεύτερο μέρος, έχουμε την εκτίμηση του κύκλου ζωής, η οποία είναι μια διαδικασία εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιδράσεων των ροών που καταγράφηκαν από το πρώτο στάδιο. Η εκτίμηση των επιδράσεων του κύκλου ζωής επιχειρεί την εκτίμηση των οικολογικών επιδράσεων και των επιδράσεων στην ανθρώπινη υγεία, επιπλέον θα εκτιμήσει και τις κοινωνικές, πολιτισμικές και οικονομικές επιδράσεις. Τέλος, στο τρίτο μέρος, έχουμε την ανάλυση της βελτίωσης του κύκλου ζωής, που είναι μια ανάλυση των ευκαιριών για τη μείωση ή τον μετριασμό των περιβαλλοντικών

επιδράσεων σε όλη τη διάρκεια στον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή δραστηριότητας. (Tillman, 2000)

Αφού ορίστηκε παραπάνω τι είναι Ανάλυση Κύκλου Ζωής παρακάτω θα περιγραφτεί σύντομα τι περιέχει μια μελέτη AKZ.

2.2. Τα περιεχόμενα μιας μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Το περιεχόμενο της μελέτης της AKZ είναι αυτό που ορίζει το ISO 14040.

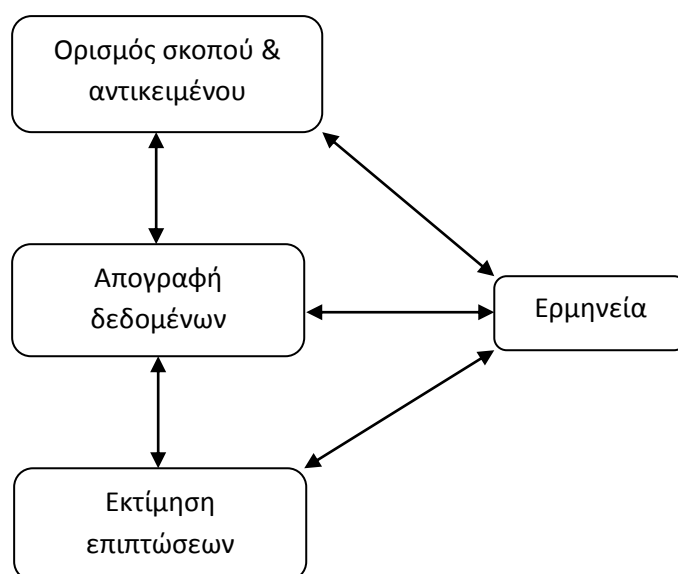
Σύμφωνα με το ISO 14040 τα βασικά χαρακτηριστικά μιας AKZ είναι:

- ✎ Θα πρέπει να πραγματοποιούνται συστηματικά και επαρκώς τις περιβαλλοντικές πτυχές των συστημάτων προϊόντων, από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεση.
- ✎ Η έκταση της λεπτομέρειας και το χρονικό πλαίσιο μιας μελέτης AKZ ποικίλλει ανάλογα με τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμένου.
- ✎ Το αντικείμενο, οι παραδοχές, η περιγραφή της ποιότητας των δεδομένων, οι μεθοδολογίες και τα εξερχόμενα των μελετών AKZ θα πρέπει να είναι διαφανή. Οι μελέτες AKZ θα πρέπει να πραγματοποιούνται και να τεκμηριώνουν τις πηγές των δεδομένων και να κανονικοποιούνται με σαφήνεια και με τον κατάλληλο τρόπο.

Σύμφωνα με το ISO 14040 οι φάσεις μιας AKZ είναι:

- ✎ Ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου.
- ✎ Απογραφή των δεδομένων
- ✎ Αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής
- ✎ Ερμηνεία του κύκλου ζωής

Οι παραπάνω φάσεις απεικονίζονται στο σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1: Η μεθοδολογία της AKZ σύμφωνα με το ISO 14040.

1. Ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου

Στον ορισμό του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης AKZ περιγράφονται ο τελικός σκοπός της μελέτης και το αντικείμενο της μελέτης. Στο αντικείμενο της μελέτης ορίζονται η λειτουργική μονάδα και τα όρια του συστήματος, περιγράφονται οι απαιτήσεις της ποιότητας των δεδομένων και οι συγκρίσεις μεταξύ των συστημάτων. (ISO 14040)

2. Απογραφή Δεδομένων

Στην απογραφή δεδομένων πραγματοποιείται μια γενική περιγραφή του καταλόγου του κύκλου ζωής. Επιπλέον, περιγράφονται διαδικασίες για τη συλλογή των δεδομένων και των υπολογισμών, όπως οι διαδικασίες κατανομής και ο υπολογισμός της ενεργειακής ροής. (ISO 14040)

3. Αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής

Στην αξιολόγηση των επιπτώσεων περιλαμβάνονται η ταξινόμηση των κατηγοριών επιπτώσεων, ο χαρακτηρισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων και η στάθμιση σπουδαιότητας των αποτελεσμάτων, όπου κρίνεται απαραίτητο. Αξιοσημείωτο είναι

το γεγονός ότι αυτή η φάση του κύκλου ζωής περιέχει υποκειμενικά στοιχεία ως προς την επιλογή, τον χαρακτηρισμό και την αποτίμηση των κατηγοριών των επιπτώσεων. (ISO 14040)

4. Ερμηνεία του κύκλου ζωής

Σε αυτή τη φάση του κύκλου ζωής τα ευρήματα από την απογραφή δεδομένων και την αξιολόγηση των επιπτώσεων συνδυάζονται προς τον καθορισμένο σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων και την πραγματοποίηση συστάσεων στους αποφασίζοντες. (ISO 14040)

Παραπάνω περιγράφηκαν οι 4 φάσεις μιας ΑΚΖ σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040.

Στο επόμενο κεφάλαιο 3 θα πραγματοποιηθεί ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά την ΑΚΖ στις ΑΠΕ σε σύγκριση με την αιολική ενέργεια για να καταλήξει στην εφαρμογή της ΑΚΖ στην αιολική ενέργεια.

3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται εφαρμογές ΑΚΖ σε συστήματα ΑΠΕ τα οποία περιλαμβάνουν την αιολική ενέργεια, είτε ως αυτοδύναμη μορφή ενέργειας είτε συγκρίνοντάς την με άλλες. Ως ΑΠΕ λογίζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα θερμικά ηλιακά συστήματα, η αιολική ενέργεια, η κυματική ενέργεια, η βιομάζα, οι τεχνολογίες υδρογόνου, η γεωθερμική ενέργεια και η υδροηλεκτρική ενέργεια (ΚΑΠΕ, 2011). Επιπλέον εντάσσονται και τα υβριδικά συστήματα, που είναι κάποιος συνδυασμός των παραπάνω ΑΠΕ (ΔΕΗ Ανανεώσιμες, 2011).

3.1. Εφαρμογή της ΑΚΖ για σύγκριση της αιολικής ενέργειας με άλλες ΑΠΕ

Στην πρώτη δημοσίευση από τους Varun et al. (2009), μελετώνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές μορφές ΑΠΕ, οι οποίες αναλύονται και συγκρίνονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιθάνθρακα, με βάση την ΑΚΖ. Στη μελέτη χρησιμοποιείται ένα μίγμα 10% με

άνθρακα από άχυρο και υπολείμματα ξύλου σε μια υπάρχουσα μονάδα παραγωγής ενέργειας στο νότιο τμήμα της Γερμανίας. Οι εκπομπές του ισοδύναμου CO₂ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα, είναι πολύ χαμηλότερες σε σύγκριση με εκείνες από λιθάνθρακα.

Οι μελετητές αναλύουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας ολοκληρωμένης εξαέρωσης συνδυασμένου κύκλου, που λειτουργεί με ενεργειακές καλλιέργειες (λεύκας) με την προσέγγιση του κύκλου ζωής. Αυτά τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την εναλλακτική λύση της παραγωγής ενέργειας από συμβατικά ορυκτά καύσιμα σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων εφαρμόστηκε η μεθοδολογία Eco-indicator. Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Εθνικού Ολλανδικού Προγράμματος σχετικά με την ανακύκλωση των αποβλήτων (Varun et al., 2009).

Ο κύκλος παραγωγής της βιομάζας στηρίζεται στην ανά δύο έτη συγκομιδή της λεύκας. Η εφικτή απόδοση της βιομάζας εκτιμάται ότι είναι περίπου 20 Mg/ha/έτος αποξηραμένης βιομάζας. Η καθαρή ποσότητα της βιομάζας είναι περίπου 16 Mg/ha/έτος αποξηραμένης βιομάζας ως αποτέλεσμα της φυσικής ξήρανσης κατά την αποθεματοποίηση. Για τη μεταφορά της βιομάζας χρησιμοποιούνται Diesel-trailers (40Mg φορτίο). Η μέση απόσταση του αποθέματος βιομάζας από το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής εκτιμάται ότι είναι 75km. Έχουν ληφθεί πλήρως υπόψη, οι εκπομπές που προκαλούνται από την εξόρυξη, την επεξεργασία, τη μεταφορά και την καύση των καυσίμων για τις μεταφορές (Varun et al., 2009).

Στη συνέχεια οι μελετητές συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές και οικολογικές επιπτώσεις των μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών συστημάτων παραγωγής, με έμφαση στις απαιτήσεις της γης, στις απώλειες του νερού λόγω της εξάτμισης καθώς και στη διήθησή του και καθίζησή του. Επίσης, αναφέρουν τα σχετικά πορίσματα από μια πρόσφατη συνεδρίαση της Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας, όπου εμπειρογνώμονες του οργανισμού αξιολόγησαν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με βάση τον πλήρη κύκλο ζωής της υδροηλεκτρικής ενέργειας (Varun et al., 2009).

Οι μελετητές εξετάζουν τις διάφορες κατηγορίες υδροηλεκτρικών σταθμών ως προς τα 3 σημαντικότερα στάδια παραγωγής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το πρώτο στάδιο είναι κατά τη διάρκεια κατασκευής της μονάδας, ενώ το δεύτερο είναι

κατά τη διάρκεια αποσύνθεσης της βιομάζας από την πλημμυρισμένη γη του υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα. Τέλος, το τρίτο στάδιο είναι κατά τη διαδικασία της παραγωγής της εφεδρικής θερμικής ενέργειας (Varun et al., 2009).

Στην αξιολόγηση συμπεριλαμβάνεται η εφεδρική ηλεκτροπαραγωγή, που απαιτείται για την αντιστάθμιση, εφόσον η παραγωγή ενός συγκεκριμένου σταθμού υδροηλεκτρικής είναι πλήρως εποχιακή και τα περισσότερα μηχανήματα λειτουργούν στις ποτάμιες εγκαταστάσεις. Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες, που χωρίς αυτούς η μελέτη δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί. Τα στοιχεία, που απορρέουν από τις ποτάμιες εγκαταστάσεις σε σχέση με τους ταμιευτήρες, είναι τα βραχύδη γήινα υλικά σε σχέση με το οπλισμένο σκυρόδεμα, ο όγκος των φραγμάτων και των αναχωμάτων τα οποία είναι στο συγκεκριμένο χώρο, καθώς και το συνολικό μέγεθος του έργου. Τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας είναι κυρίως χάλυβας και σκυρόδεμα/ τσιμέντο. Τέλος, για την κατασκευή των ποτάμιων εγκαταστάσεων απαιτούνται πολύ λιγότερα υλικά ανά μονάδα ενέργειας (Varun et al., 2009).

Κατόπιν θα περιγραφεί ο κύκλος ζωής των ηλιακών θερμικών συστημάτων. Οι μελετητές διερευνούν τρόπους για τον προσδιορισμό του κόστους των αερίων του θερμοκηπίου από τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον υπολογισμό του κόστους των αερίων του θερμοκηπίου, με διαφορετικές προσεγγίσεις, εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά τους και οι ελλείψεις που έχουν. Στη συνέχεια, οι μελετητές διαχωρίζουν τους ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, σε τρεις τύπους, οι οποίοι είναι το παραβολικό κάτοπτρο (parabolic trough)¹, ο κεντρικός αποδέκτης και ο παραβολικός συλλέκτης (parabolic dish)², καθώς και ορισμένα ορυκτά συστήματα προς σύγκριση. Επιπλέον, οι μελετητές εξετάζουν πέντε διαφορετικές πλευρές της ανάλυσης των αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες εξαρτώνται από τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρισμού, δηλαδή εάν παράγεται από θερμική ηλιακή ακτινοβολία ή από ορυκτά καύσιμα, καθώς συγκρίνονται τα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου με πρόσφατες αναλύσεις. Για παράδειγμα, στην Ιταλία

¹ **Παραβολικό κάτοπτρο:** είναι ένας τύπος συλλέκτη της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας. Είναι κατασκευασμένο συνήθως από επικαλυμμένο ασήμι ή γαλισμένο αλουμίνιο μ' ένα σωλήνα, ο οποίος τρέχει κατά μήκος του κατόπτρου. Το φως του ήλιου αντανακλάται από τον καθρέφτη και επικεντρώνεται στο σωλήνα, που είναι συνήθως ευθυγραμμισμένος με τον άξονα Βορρά-Νότου και περιστρέφεται με την κίνηση του ήλιου.

² **Παραβολικός συλλέκτης:** είναι ένας ηλιακός θερμικός συλλέκτης, υψηλής θερμοκρασίας (πάνω από 180°F), γενικά με ημικυκλικό σχήμα για τον εντοπισμό των δύο αξόνων.

το 2006, για 30 έτη ζωής του παραβολικού συλλέκτη (parabolic dish), ισχύος 1 MW παράγονται 13,6g CO₂/ kWh (Varun et al., 2009).

Έπειτα θα περιγραφεί ο κύκλος ζωής των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά ως τεχνολογία παραγωγής ενέργειας, που εντάσσεται στις ανανεώσιμες πηγές, αναμένεται να συνεισφέρουν στη μείωση των συνεπειών των συμβατικών τεχνολογιών στο παγκόσμιο περιβάλλον λόγω των πλεονεκτημάτων τους (Varun et al., 2009).

Οι μελετητές διενήργησαν μια συγκριτική ανάλυση της επιφάνειας και των απαιτούμενων υλικών των διαφορετικών σταθμών ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι μελετητές εκτίμησαν τη συσσωρευμένη κατανάλωση ενέργειας στη βιομηχανία και στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, τις εκπομπές του CO₂ που προκαλούνται από την παραγωγή τους, καθώς και τον ενεργειακό χρόνο απόσβεσης των άυλων στοιχείων του ενεργητικού τμήματος των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Η συγκεντρωμένη αρχική κατανάλωση ενέργειας για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων έχει εύρος από 13.000 kWh/kWp έως 21.000 kWh/kWp και εκφράζει το χαμηλότερο όριο για την τρέχουσα τεχνολογική εξέλιξη. Πιθανολογείται ότι τα ερχόμενα 5 έτη οι παραπάνω τιμές θα τροποποιηθούν ως εξής, από 7.000 kWh/kWp έως 12.000 kWh/kWp, με τεχνολογικές βελτιώσεις και με μια αύξηση των δεικτών παραγωγής την ίδια χρονική στιγμή. Επίσης, στην παρούσα μελέτη, το 0,62kg CO₂/ kWh λήφθηκε ως ειδικός παράγοντας εκπομπών για την αθροιστική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, οι εκπομπές CO₂ είναι 3.360kg CO₂/ kWh και 5.020kg CO₂/ kWh για την ακρυστάλλωτη και μονοκρυστάλλινη τεχνολογία αντίστοιχα (Varun et al., 2009).

Εν συνεχεία, θα περιγραφεί ο κύκλος ζωής των συστημάτων αιολικής ενέργειας. Οι μελετητές υπολογίζουν το ενεργειακό κόστος ενός μικρού συστήματος αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που εξετάζει τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού. Αυτή η μεθοδολογία απαιτεί τον υπολογισμό της ενέργειας που αναπτύσσεται και λειτουργεί μέσω των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού, αλλά δεν λαμβάνει υπόψη την ενέργεια που απαιτείται στη διάθεση των εγκαταστάσεων παραγωγής ή στα απόβλητα που παράγονται. Οι εισερχόμενες ενεργειακές τιμές αποτελούνται από τις άμεσες και τις έμμεσες ενεργειακές αξίες. Οι άμεσες ενεργειακές αξίες είναι όπως ο άνθρακας, που τροφοδοτεί την εγκατάσταση

ενέργειας και οι έμμεσες ενεργειακές αξίες είναι η ενέργεια που συγκεντρώνεται στα τμήματα της βιομηχανίας στο σύστημα ηλεκτρικής παραγωγής. Αυτές οι ενεργειακές τιμές υπολογίζονται από τους οικονομικούς πίνακες εσόδων-εξόδων, οι οποίοι είναι εκφρασμένοι σε $\text{BTU}^3/\text{€}$ της αξίας του τελικού προϊόντος (Varun et al., 2009).

Το μικρό σύστημα μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική αποτελείται από 3kW υπολογιζόμενα από αιολική γεννήτρια σε 20m πύργο με μία 400Ah μπαταρία που είναι ένα σύστημα αποθήκευσης και έναν ηλεκτρικό μετατροπέα συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ενεργειακό κόστος από το μικρό σύστημα αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας, σε αυτή τη μελέτη, είναι 1,92 BTU της αρχικής εισερχόμενης ενέργειας για κάθε BTU της εξερχόμενης ηλεκτρικής. Αυτή η τιμή είναι ο λόγος του μικρού συστήματος αιολικής ηλεκτρικής ενέργειας της εισερχόμενης ενέργειας ήτοι $5,96 \cdot 10^8$ BTU της αρχικής ενέργειας, προς την εξερχόμενη ενέργεια ήτοι $3,1 \cdot 10^8$ BTU της ηλεκτρικής (Varun et al., 2009).

Από τις παραπάνω αναλύσεις των 5 διαφορετικών συστημάτων ΑΠΕ, δηλαδή της βιομάζας, των υδροηλεκτρικών, των ηλιακών θερμικών, των ηλιακών φωτοβολταϊκών και των αιολικών, οι μελετητές εξήγαγαν ορισμένα συμπεράσματα. Η γενική τάση των αποτελεσμάτων των παραπάνω μελετών των προαναφερόμενων συστημάτων ΑΠΕ είναι το καθαρό πλεονέκτημα των τεχνολογιών ΑΠΕ. Συγκρίνοντας τα καλύτερα σημεία μεταξύ των ΑΠΕ, παρατηρείται ότι τα σχέδια των μικρών υδροηλεκτρικών (στα οποία δεν υπάρχει αποθήκευση νερού) είναι τα πιο ελκυστικά αλλά εξαρτώνται από την τοποθεσία. Για μια βέλτιστη επιλογή πηγών ηλεκτρισμού θα μπορούσε να είναι συνδυασμός τεχνολογιών ως προς τη μείωση του περιβαλλοντικού φορτίου και την πιθανή κατανομή ηλεκτρισμού. Επιπλέον, αυτή η μελέτη επισημαίνει ότι ορισμένα συστήματα ΑΠΕ, όπως τα ηλιακά φωτοβολταϊκά μπορούν να παράγουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών άνθρακα στο κύκλο ζωής τους (Varun et al., 2009).

Στην επόμενη δημοσίευση από τον Pehnt (2006) πραγματοποιήθηκε μια δυναμική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ. Ο μελετητής διαχωρίζει την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ σε στατική και δυναμική. Τέλος, τις συγκρίνει και εξάγει τα συμπεράσματα.

³ **BTU**: British Thermal Unit $\rightarrow 1\text{BTU}=3,4129\text{kWh}$

Ο Pehnt (2006), ορίζει τη μεθοδολογία, το σκοπό και το αντικείμενο της στατικής αξιολόγησης κύκλου ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ και δεύτερον ορίζει τη μεθοδολογία της δυναμικής αξιολόγησης κύκλου ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ.

Το πρώτο βήμα είναι να δημιουργηθεί ένα μοντέλο ανάλυσης κύκλου ζωής που να περιγράφει την υπάρχουσα κατάσταση των συστημάτων ΑΠΕ. Για αυτόν το σκοπό, εισάγονται δεδομένα στο λογισμικό Umberto, το οποίο είναι βασισμένο στην απογραφή δεδομένων και στην εκτίμηση των επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κύκλου ζωής αναλύονται με βάση τα τμήματα του κύκλου ζωής και τα υλικά συγκρίνοντάς τα με τα συμβατικά συστήματα. Για το σκοπό αυτό, έχουν συλλεχθεί δεδομένα από τους κατασκευαστές και χειριστές του συστήματος. Επίσης, έχουν συλλεχθεί δεδομένα από αναλύσεις κύκλου ζωής, της αιολικής ενέργειας, της θερμικής ηλιακής ενέργειας, των εγκαταστάσεων ενέργειας, της γεωθερμικής ενέργειας, των φωτοβολταϊκών συστημάτων, των συλλεκτών θερμικής ηλιακής ενέργειας και του βιοαερίου. Τέλος, στο λογισμικό Umberto, μοντελοποιούνται τα υλικά, οι ενεργειακές απαιτήσεις και οι υπηρεσίες μεταφοράς (Pehnt, 2006).

Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται στο σύστημα είναι η 1kWh_{el} σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, για το σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού και 1kWh στο σύστημα διανομής θερμότητας στο σπίτι, για το σύστημα παραγωγής θερμότητας (Pehnt, 2006).

Η γεωγραφική περιοχή στην οποία πραγματοποιείται η εκτίμηση των τεχνολογιών ΑΠΕ είναι η Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γερμανίας και ο χρονικός προσδιορισμός είναι το 2010. Το 2010 είναι τα πιο πρόσφατα δεδομένα που ελήφθησαν για την εκτίμηση του κύκλου ζωής. Στην περίπτωση που υπάρξουν σημαντικές αλλαγές αναμένονται να είναι μέχρι το 2010 και τα δεδομένα υιοθετούνται για τις γενικές συνθήκες του 2010 (Pehnt, 2006).

Οι διαδικασίες εκτίμησης της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η παραγωγή, η λειτουργία και η διατήρηση καθώς και τα συστήματα ανακύκλωσης/ απόθεσης. Η οργανωτική δομή της παροχής καυσίμων και των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξετάστηκε με την εξαίρεση της χρήσης των δρόμων λόγω των φορτηγών μεταφοράς. Εκτός αν ορίζεται διαφορετικά, η ανακύκλωση αξιολογείται για έναν κλειστό βρόχο ανακύκλωσης, δηλαδή, υποτίθεται ότι ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να υποκαταστήσουν τη χρήση του πρωτογενούς υλικού σ' ένα ορισμένο ποσοστό. Οι

δαπάνες της διαδικασίας ανακύκλωσης υλικών προσδιορίζονται από τη μέθοδο. Επιπλέον, ο απαραίτητος καταμερισμός ή οικονομική διευκόλυνση περιγράφεται στους σχετικούς τομείς της τεχνολογίας (Pehnt, 2006).

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων περιλαμβάνουν την κατανάλωση ενεργειακών φυσικών πόρων (επίσης καλείται και απλοποιημένη αθροιστική ενεργειακή απαίτηση), τη μη ενεργειακή κατανάλωση φυσικών πόρων, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τον ευτροφισμό και την οξίνιση. Οι επιπτώσεις των χρήσεων γης δεν τεκμηριώνονται από αυτήν τη μελέτη (Pehnt, 2006).

Τα αποτελέσματα από τη στατική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των τεχνολογιών ΑΠΕ, διεξάχθηκαν από την αποτελεσματική Ανάλυση Κύκλου Ζωής των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας βασισμένη στην απογραφή δεδομένων και στην εκτίμηση των επιπτώσεων και είναι τα παρακάτω (Pehnt, 2006).

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και η κατανάλωση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των συστημάτων ΑΠΕ είναι σημαντικά χαμηλότερες συγκριτικά με εκείνες των συμβατικών συστημάτων. Η ηλεκτρική ενέργεια έχει αξία το μέγιστο του 20% του ηλεκτρικού μίγματος του 2010 και η θερμότητα έχει αξία το μέγιστο του 15% του θερμικού μίγματος του ίδιου έτους. Στην περίπτωση των συστημάτων βιομάζας επιτυγχάνεται η οικονομική διευκόλυνση της ηλεκτροπαραγωγής και της παραγωγής θερμότητας, αλλά τα αρνητικά περιβαλλοντικά αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτόν τον τύπο συστήματος είναι η αντικατάσταση της επίδρασης του αποτελέσματος στην περιβαλλοντική «ανακούφιση» για ολόκληρο το σύστημα. Όσον αφορά τις πηγές υλικών (σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης), μια μικρότερη ή παρόμοια επίπτωση απορρέει όπως και στην περίπτωση των συμβατικών συστημάτων. Στις εξαιρέσεις περιλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά λόγω της τοποθέτησης των μονάδων, οι ηλιακοί συλλέκτες εξαιτίας της κατανάλωσης αλουμινίου για τους συλλέκτες και την κατανάλωση ατσαλιού για την προστατευτική σχεδίαση, τέλος η αιολική ενέργεια λόγω της κατανάλωσης σιδήρου για τους ατσάλινους πύργους. Επιπροσθέτως, απαραίτητο είναι να ληφθεί υπόψη ότι, υπάρχουν και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με τα παρεχόμενα υλικά και να συμπεριληφθεί ότι τα υλικά που εισάγονται είναι επίσης άμεσα εξαρτώμενα από τις τοπικές συνθήκες. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα εισάγεται για τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, το αλουμίνιο εισάγεται για τα

φωτοβολταϊκά τα οποία είναι εξαρτώμενα από τη σκεπή ή την ολοκληρωμένη πρόσοψη, κλπ (Pehnt, 2006).

Για τις άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν υπάρχει ξεκάθαρη τάση με αποτέλεσμα τα υπέρ ή τα κατά που απορρέουν από τις ΑΠΕ. Στην πραγματικότητα, η σύγκριση των συστημάτων ΑΠΕ εξαρτάται από τη συστηματική τεχνολογική έρευνα, που αφορά την απογραφή των καυσίμων κατά τη χρήση και τη μεταφορά ενέργειας (βιομάζα) και τις εξειδικευμένες λειτουργίες του εξοπλισμού (παραδείγματος χάρη, στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σημαντικό ρόλο παίζουν, το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, οι ώρες του πλήρους φορτίου, η τοπογραφική θέση, η επιλογή των υλικών για την τοποθέτηση, κλπ.), καθώς και άλλοι σχετικοί παράγοντες (Pehnt, 2006).

Από τη φύση της, η περιβαλλοντική εκτίμηση των συστημάτων ΑΠΕ μπορεί μόνο να παρέχει πληροφορίες για τα τυπικά συστήματα. Για παράδειγμα, το μέγεθος της οξίνισης για τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού είναι καλά, σε χαμηλότερο επίπεδο ή όμοιο με το μελλοντικό αναφερόμενο μίγμα, αν εξαιρέσουμε τα συστήματα βιοαερίου, τα οποία είναι πάνω από το αναφερόμενο μίγμα, λόγω των εκπομπών αμμωνίας από τα αγροτικά συστήματα. Εκτός από το άχυρο ως καύσιμη ύλη, τα συστήματα παραγωγής θερμότητας είναι επίσης σε χαμηλότερο επίπεδο ή όμοιο με το αναφερόμενο μίγμα. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας που λειτουργούν με άχυρο εκλύουν περισσότερες όξινες ουσίες (περιεκτικότητας σε χλώριο και θείο, εκπομπές NO_x) από αυτές που χρησιμοποιούν τη σύντομη εναλλαγή ξύλου (short rotation wood), οι οποίες με τη σειρά τους εκλύουν περισσότερο από το δασικό ξύλο ως αποτέλεσμα των εκπομπών από τη χρήση λιπάσματος στις καλλιέργειες (Pehnt, 2006).

Το πρότυπο για τον ευτροφισμό είναι κάπως διαφορετικό: τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού, αν εξαιρέσουμε τη βιομάζα, είναι σημαντικά καλύτερα από το αναφερόμενο μίγμα. Τα συστήματα βιομάζας είναι ικανοποιητικά, καλύτερα από το προαναφερόμενο μίγμα (εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα με σύγκausη δασικού ξύλου). Αυτό οφείλεται ιδιαίτερα στο γεγονός ότι οι εκπομπές NO_x των μικρών συστημάτων είναι υψηλότερες και αν συγκριθεί το πλεονέκτημα της όψης της οξίνισης με το αναφερόμενο μίγμα, τότε το αποτέλεσμα από την αποφυγή εκπομπών

SO₂ από τους σταθμούς παραγωγής που λειτουργούν με άνθρακα δεν είναι προφανές όταν εξετάζεται ο ευτροφισμός (Pehnt, 2006).

Κατόπιν συνολικής θεώρησης, υπάρχουν συνεπώς καθαρά πλεονεκτήματα στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου και της κατανάλωσης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε άλλη κατηγορία επιπτώσεων, τα ευρήματα δεν αποκαλύπτουν ξεκάθαρες τάσεις. Κατά συνέπεια, είναι αδύνατον να φτάσουμε σε μια αντικειμενική απόφαση. Αν ένας θεωρεί, μείζονος σημαντικότητας την κατανάλωση ενεργειακών πηγών, τότε οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από το ενεργειακό σύστημα συνεισφέρει σημαντικά η κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σε όλες τις ΑΠΕ αποδεικνύονται τα ξεκαθαρά πλεονεκτήματα σχετικά με τις συμβατικές πηγές (Pehnt, 2006).

Παραπάνω περιγράφηκε η στατική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των ΑΠΕ με τα αποτελέσματά της. Στη συνέχεια, θα περιγραφεί η δυναμική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των ΑΠΕ με τα αποτελέσματά της.

Οι ΑΠΕ του παραδείγματος είναι τα φωτοβολταϊκά (p-Si), η δασική ξυλεία στην κεντρική θέρμανση και η ξυλεία από ενεργειακές καλλιέργειες μικρού χρόνου χρησιμοποιώντας ατμογεννήτριες (Pehnt, 2006).

Η ακόλουθη δυναμική Ανάλυση Κύκλου Ζωής θα εκτιμήσει την τάξη μεγέθους της πιθανής μείωσης των επιπτώσεων σε χρονικό διάστημα και δεν αποτελεί ακριβή πρόβλεψη. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται για τις κατηγορίες επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου και της οξίνισης μόνο (Pehnt, 2006).

Στη συνέχεια περιγράφονται οι δυναμικές παράμετροι του βασικού συστήματος. Οι προσανατολισμένες προς το μέλλον δυναμικές εκτιμήσεις παρουσιάζονται και ερμηνεύονται στις ακόλουθες παραγράφους. Παρουσιάζεται η επίδραση των παραμέτρων συναρτήσει του χρόνου, η παράμετρος αλλάζει διαδοχικά (αθροιστικά) για το σενάριο του 2010. Όταν ερμηνεύονται οι δυναμικές εκτιμήσεις ένα γεγονός που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι τα αποτελέσματα που δεν μπορούν να υποκατασταθούν, δηλαδή, η ταξινόμηση της οποίας οι παράμετροι μεταβάλλονται έχει επίδραση στη μείωση της επίπτωσης, επειδή η αποδοτική εφαρμογή ενός έτοιμου βέλτιστου αποτελέσματος έχει μια μικρότερη επίπτωση από την αποδοτική εφαρμογή

της προκαθορισμένης τιμής. Βέβαια, το τελικό αποτέλεσμα στο αναμφισβήτητο ποσό είναι ανεξάρτητο από την αλληλουχία της μείωσης σταδίων (Pehnt, 2006).

Για μια δυναμική AKZ (Ανάλυση Κύκλου Ζωής), αυτές οι παράμετροι κάνουν πρόβλεψη για το μέλλον χρησιμοποιώντας ήδη γνωστά στοιχεία τα οποία σχετίζονται με το περιβάλλον και στον ίδιο χρόνο παρουσιάζουν μια σημαντική χρονική μεταβολή. Η εκτίμηση του συστήματος επαναλαμβάνεται με την εισαγωγή αυτών των παραμέτρων. Με αυτήν την προσέγγιση, τα περιβαλλοντικά προβλήματα περιοχών, τα οποία είναι αναπόφευκτα συνδεδεμένα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορούν να αποδειχθούν αναλυτικά από αυτές, όπου εισάγονται στο σύστημα από το υπόβαθρο σύστημα, ήτοι οι απαιτήσεις ενέργειας και υλικών (Pehnt, 2006).

Οι ακόλουθες παράμετροι είναι μεταβαλλόμενες:

- Μελλοντικές εγκαταστάσεις ηλεκτρισμού (μίγμα ηλεκτρισμού 2030). Η ανάπτυξη των εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρισμού αναλύεται σύμφωνα με το σενάριο βιωσιμότητας, το οποίο αναπτύχθηκε για την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA). Αυτό το σενάριο καθορίζεται από τον στόχο μείωσης της κλιματικής αλλαγής, ήτοι 80% από το έτος 2050, το οποίο χαρακτηρίζεται από σημαντική συνεισφορά από τη μεταφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια πρόβλεψη για το βαθμό απόδοσης και την ανάπτυξη εκπομπών από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού από ορυκτά καύσιμα, συνειδητοποιείται η παράπλευρη προσαρμογή στη συνεισφορά της μεταφοράς ενέργειας (Pehnt, 2006).
- Αλουμίνιο. Η μελλοντική ανάπτυξη σχετίζεται με την ιδιαίτερη μείωση της ζήτησης ηλεκτρισμού για την ηλεκτρόλυση από 7%. Η ανακύκλωση διαχωρίζει το αλουμίνιο που εξαρτάται από τον τύπο και τη σύνθεση του προϊόντος. Στο επίπεδο συναρμολόγησης, το 72% της συσκευασίας είναι αλουμίνιο, το 85% του αλουμινίου είναι στην κατασκευαστική βιομηχανία και το 87% του αλουμινίου είναι στην ηλεκτρική μηχανική, όπου ανακυκλώνεται στη Γερμανία, το 85% και 90% υποτίθεται για το 2010 και 2030 αντίστοιχα (Pehnt, 2006).
- Ατσάλι. Η παρούσα αναλογία ανακύκλωσης του ατσαλιού στη Γερμανία είναι στο επίπεδο των 43%. Αυτό περιλαμβάνει και τα scrap ατσαλιού στα εργοστάσια επεξεργασίας του και την αγορά εξωτερικών scrap ατσαλιού. Η

συγκεντρωμένη αναλογία ανακύκλωσης εξαρτάται έντονα από το τύπο του ατσαλιού, την εισαγωγή, την παγκόσμια αγορά scrap, κλπ. Η αναλογία του 75% αναφέρεται για την ανακύκλωση οχημάτων. Κατά την εκτίμηση του μελετητή, το scrap συνεισφέρει υποθέτοντας στην αύξηση από 46% σε 75%. Επιπρόσθετα, στο μίγμα ηλεκτρισμού, το 2030, θα γίνεται χρήση του ατσαλιού στο μέλλον (Pehnt, 2006).

→ Επιπλέον διαδικασίες. Οι επιπλέον διαδικασίες τροποποιούν τις εξειδικευμένες τεχνολογίες (π.χ., οι μέθοδοι καλλιέργειας της βιομάζας, η παραγωγή λιπασμάτων, η αύξηση του βαθμού απόδοσης, η διαδικασία απωλειών κατά την παραγωγή σιλικόνης, κλπ.) (Pehnt, 2006).

Παράδειγμα 1: Φωτοβολταϊκά

Η μελλοντική ανάπτυξη θα οδηγήσει σε επιπλέον μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων βασισμένη στην ήδη προσανατολισμένη προς το μέλλον εκτίμηση του p-Si, ήτοι, οφειλόμενη σε εξελιγμένα μοντέλα απόδοσης, βελτιώνοντας τις μεθόδους χύτευσης μετάλλου και της χαμηλής ζήτησης Σιλικόνης διαμέσου του αραιότερου λεπτού ημιαγωγικού υλικού, μειώνοντας την απώλεια από το πριόνι, άλλες μέθοδοι παραγωγής, κλπ (Pehnt, 2006).

Συνοψίζοντας, οι δυναμικές παράμετροι είναι οι εξής: η παραγωγή ατσαλιού, η παραγωγή αλουμινίου, η παραγωγή ηλεκτρισμού, ο χρόνος ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος, ο βαθμός απόδοσης του μοντέλου, το αραιό λεπτό ημιαγωγικό υλικό ή την απώλεια από το πριόνι. Η βελτίωση των μεθόδων παραγωγής και οι ευνοϊκές συνθήκες για τις απαιτήσεις υλικών και η μορφή της ενέργειας είναι το υπόβαθρο αυτών των παραμέτρων (Pehnt, 2006).

Όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, κάθε μία από τις πρώτες τρεις δυναμικές παραμέτρους αποτελεί μια μείωση της τάξης του 20%. Μολονότι, η παραγωγή της σιλικόνης συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τα μικρότερα αραιά λεπτά ημιαγωγικά υλικά, κάνουν μόνο μια μικρότερη διαφορά. Αυτό οφείλεται επίσης στο γεγονός ότι η βελτίωση των σταδίων εφαρμόζεται σε ένα έτοιμο βέλτιστο στάδιο. Για την ελαχιστοποίηση της οξίνισης, η διάρκεια ζωής και ο βαθμός απόδοσης του μοντέλου είναι μεγαλύτερης σημασίας (Pehnt, 2006).

Συνολικά, η ανάπτυξη της βελτιστοποίησης του δυναμικού και της βελτίωσης των υλικών και των απαιτήσεων ενέργειας επιτρέπουν μείωση 50% των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μαζί με την καθορισμένη ποσότητα των βέλτιστων σταδίων, υπάρχει μία πιθανότητα για περισσότερη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ειδικά για την ανακύκλωση των λεπτών ημιαγωγικών υλικών και των συστατικών του μοντέλου. Η ανακύκλωση του διοξειδίου του πυριτίου δεν θα συνεκτιμηθεί εδώ, λόγω της έλλειψης αξιόπιστων δεδομένων (Pehnt, 2006).

Παράδειγμα 2: Η ζυλεία από δασικές καλλιέργειες μικρού χρόνου χρησιμοποιώντας ατμογεννήτριες.

Στις μέρες μας, οι ατμογεννήτριες, οι οποίες κινούνται με την καύση βιομάζας συχνά εμφανίζουν μια πολύ χαμηλή απόδοση γύρω στο 15% -18%. Από το 2010, αναμένεται ότι η απόδοση των νέων εγκαταστάσεων θα αυξηθεί στο $\eta_{el}=29\%$ (χωρίς τη συμπαραγωγή). Στο 2030, η ανάλυση ευαισθησίας θα αυξηθεί σε περιορισμένο βαθμό στο 31%. Μαζί με τη βελτίωση της τεχνολογίας των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, η βελτίωση του υπόβαθρου συστήματος θεωρείται αναλογικά με την AKZ των φωτοβολταϊκών. Βελτιώνοντας τα Ευρωπαϊκά λιπάσματα και εφαρμόζοντας πιθανά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών από το έδαφος εξαιτίας των λιπασμάτων που περιέχουν νιτρικά, τα οποία είναι εξαιρετικά σημαντικά για τον αγροτικό τομέα (Pehnt, 2006).

Η αύξηση της αποτελεσματικότητας και η μείωση των εκπομπών και η παραγωγή λιπασμάτων μειώνουν τις επιπτώσεις κατά 25% για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η πρώτη άποψη είναι επίσης το πιο σημαντικό βήμα για τη μείωση των εκπομπών για την οξίνιση, όπου μονάχα μειώνεται σχεδόν στο ένα πέμπτο. Επιπροσθέτως, βελτιστοποιώντας την εφαρμογή της τεχνολογίας των υγρών κοπρο-λιπασμάτων επιτρέπουν μια αύξηση της οξίνισης στο σημείο των 10%. Οι αλλαγές για τα υλικά και την ενέργεια είναι μηδαμινές. Συμπερασματικά, η ανάπτυξη της εξειδικευμένης τεχνολογίας της βελτιστοποίησης του δυναμικού αυτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επιτρέπουν τη μερική μείωσή τους στο 30% (Pehnt, 2006).

Παράδειγμα 3: Η δασική ζυλεία στην κεντρική θέρμανση.

Όμοια με την παραγωγή ηλεκτρισμού, πραγματοποιούνται τεχνικές καινοτομίες που είναι σημαντικές για τις τεχνολογίες βιομάζας, όπου διανέμεται στην κεντρική

θέρμανση. Αυστηρότερες νομικές υποχρεώσεις, ειδικά στον τομέα των μικρών συστημάτων (π.χ., μέσω του σχεδιασμού των τροποποιήσεων των τεχνικών οδηγιών που αφορά τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα) έχουν ως αποτέλεσμα τη σπουδαιότερη προσπάθεια των βιομήχανων να μειώσουν τις εκπομπές του εξοπλισμού τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια σημαντική μείωση των περιβαλλοντικών συνεπειών μπορεί να επιτευχθεί, ειδικά για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Pehnt, 2006).

Η οριακή τιμή για τη σκόνη πρέπει να μειωθεί στα 100mg/m^3 για μηχανήματα με χωρητικότητα καύσης κάτω από 2,5MW όπου τροφοδοτείται από φυσική ξυλεία από το δάσος. Από την άλλη πλευρά, το απαιτούμενο υψηλό κόστος της τεχνολογίας των φίλτρων για τα καυσαέρια με τα ηλεκτρικά φίλτρα θα παρήγαγαν «δυσανάλογα υψηλά κόστη» σε αντίθεση με την «αρχή του κυκλώνα των διαβρωτικών», τα οποία απαιτούν μικρότερα μηχανήματα (Pehnt, 2006).

Οι δυναμικές παράμετροι είναι, η παραγωγή ατσαλιού, η παραγωγή αλουμινίου, η παραγωγή ηλεκτρισμού καθώς και η αποδοτικότητα και οι εκπομπές των λεβήτων από ροκανίδια. Όπως και στην περίπτωση που αναφέρεται πιο πάνω, οι τεχνολογίες ενέργειας προσπαθούν για την βελτίωση των συνθηκών όσον αφορά τις απαιτήσεις υλικών και ενέργειας όπου λαμβάνονται (Pehnt, 2006).

Στην περίπτωση της ξυλείας και των ροκανιδιών στην θέρμανση, οι απαιτήσεις των υλικών και της ενέργειας έχουν ισχυρές επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ανάπτυξη της αποδοτικότητας και οι εκπομπές επιδρούν αρκετά στην οξίνιση, ενώ οι αλλαγμένες απαιτήσεις των συνθηκών είναι σχεδόν καθόλου συναφείς. Συνολικά, η ανάπτυξη των ειδικών τεχνολογιών και της βελτιστοποίησης του δυναμικού επιτρέπουν τη μείωση στο 20% αυτών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Pehnt, 2006).

Παραπάνω περιγράφηκαν τρία παραδείγματα για να διαπιστώσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των συστημάτων βιομάζας. Παρακάτω θα αναφερθούν τα αποτελέσματα από την παραπάνω έρευνα.

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα την μελέτης του Pehnt (2006) είναι τα ακόλουθα: Για όλη την αλυσίδα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι περιορισμένες ΑΠΕ που εισάγονται και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι εξαιρετικά χαμηλές

εάν τις συγκρίνουμε με τα συμβατικά συστήματα. Οι σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων ΑΠΕ ανέρχεται στο μέγιστο ποσό του 20% του αναμενόμενου μελλοντικού Γερμανικού μίγματος για τον ηλεκτρισμό, το μέγιστο ποσό του 15% του σχετικού μίγματος της θέρμανσης και το μέγιστο ποσό του 55% του μελλοντικού diesel αυτοκινήτου στην περίπτωση των καυσίμων. Τέλος, η βιομάζα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά επιβαρύνει περισσότερο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά πολύ λιγότερο εάν τη συγκρίνουμε με τα συμβατικά καύσιμα.

Τέλος, η βιομάζα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά επιβαρύνει περισσότερο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά πολύ λιγότερο εάν τη συγκρίνουμε με τα συμβατικά καύσιμα (Pehnt, 2006).

Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση της AKZ των πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μοντέλων και των ανεμογεννητριών και θα εξεταστεί ποια από τις δύο αυτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικότερη ως προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα θα εξεταστούν τα στάδια του κύκλου ζωής και οι κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η μεθοδολογία της AKZ που ακολουθούν οι μελετητές Zhong et al. (2011), ακολουθούν τις 4 φάσεις σύμφωνα με τα πρότυπα του Διεθνή Οργανισμού για την Πιστοποίηση (ISO) και είναι τα ISO 14040 (Διαχείριση Περιβάλλοντος-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Αρχές & Πλαίσιο) και ISO 14044 (Διαχείριση Περιβάλλοντος-Εκτίμηση Κύκλου Ζωής-Απαιτήσεις & Κατευθυντήριες Γραμμές). Εν συντομία αυτές οι 4 φάσεις της AKZ είναι οι εξής, ο καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης, η απογραφή των δεδομένων, η εκτίμηση των επιπτώσεων και η ερμηνεία. Οι μελετητές χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων Ecoinvent. Οι Zhong et al. (2011) καταλήγουν σε 11 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω. Τέλος, οι Zhong et al. (2011) χρησιμοποιούν το λογισμικό SimaPro.

Σε αυτήν τη μελέτη έχει επιλεγεί η μεθοδολογία του Eco-indicator 99. Επιπλέον, οι κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι 11 και είναι οι ακόλουθες, οι καρκινογόνες ουσίες, οι ανόργανες και οι οργανικές ουσίες που επιδρούν στο αναπνευστικό, η κλιματική αλλαγή, η ακτινοβολία, η στοιβάδα του όζοντος, η οξίνιση/ ευτροφισμός, η οικοτοξικότητα, οι χρήσεις γης, η χρήση ορυκτών και τέλος τα ορυκτά καύσιμα (Zhong et al., 2011).

Ο σκοπός αυτής της ΑΚΖ είναι να συγκριθεί ο ολοκληρωμένος κύκλος ζωής των φωτοβολταϊκών μοντέλων με το σύστημα ισορροπίας (BOS) και την ανεμογεννήτρια των 600kW στην εκτίμηση της βιωσιμότητας του περιβάλλοντος. Αναπτύσσονται δύο σενάρια μετά το τέλος της ζωής των φωτοβολταϊκών πανέλων και των ανεμογεννητριών. Το πρώτο σενάριο αφορά την ταφή των υλικών των φωτοβολταϊκών πανέλων και των ανεμογεννητριών και το δεύτερο την ανακύκλωση των υλικών τους (Zhong et al., 2011).

Η συνεισφορά της απόθεσης (ταφής) των φωτοβολταϊκών πανέλων μετά το τέλος της ζωής τους στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μικρό, της τάξης του 1,77% της συνολικής συμβολής τους στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όμως για το σενάριο της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών πανέλων η συμβολή τους στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο σύνολό τους μειώνονται ακόμη περισσότερο από 1,77% στο 0,26%. Αντίθετα, στην περίπτωση των ανεμογεννητριών η ανάλυση δείχνει ότι η φάση της ανακύκλωσης μπορεί να μειώσει τη συνεισφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από 37,1%. Αυτό σημαίνει ότι, η ανακύκλωση των ανεμογεννητριών είναι σημαντικό μέρος για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις το οποίο δεν θα πρέπει να αγνοείται (Zhong et al., 2011).

Τα φωτοβολταϊκά μοντέλα έχουν υψηλότερες σχετικές κατηγορίες επιπτώσεων από το μοντέλο των ανεμογεννητριών, εκτός από τις κατηγορίες των μετάλλων, της οικοτοξικότητας και των χρήσεων γης. Οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στο ποσό των ορυκτών καυσίμων τα οποία καταναλώνονται στον κύκλο ζωής των φωτοβολταϊκών μοντέλων, γιατί η διαδικασία παραγωγής τους είναι περισσότερο εντατικά ενεργοβόρα. Από την άλλη πλευρά οι ανεμογεννήτριες έχουν μεγάλο ποσό σε σίδηρο, σε ατσάλι, σε χαλκό και σε χάλυβα με αποτέλεσμα να έχουν υψηλό ποσό σε πρώτες ύλες. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις παίζει η κατηγορία των χρήσεων γης. Μεγάλες διαφορές υπάρχουν στα φωτοβολταϊκά και στις ανεμογεννήτριες στις κατηγορίες των επιπτώσεων που αφορούν τα ορυκτά καύσιμα, στις ανόργανες αναπνευστικές ουσίες, στην κλιματική αλλαγή και στα καρκινογόνα λόγω της κατανάλωσης μεγάλου ποσού ορυκτών καυσίμων στο στάδιο συναρμολόγησης των φωτοβολταϊκών μοντέλων. Οι διαφορές (φωτοβολταϊκών & Α/Γ) έγκειται στην κατηγορία των υλικών που χρησιμοποιούνται όπου οι επιπτώσεις

ελαχιστοποιούνται και στην κατηγορία των χρήσεων γης που είναι ασήμαντη (Zhong et al., 2011).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά (Zhong et al., 2011).

Οι παραπάνω μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής περιέγραφαν τον κύκλο ζωής συγκεκριμένων τεχνολογιών στον τομέα των ΑΠΕ. Στην τελευταία μελέτη AKZ αυτού του υποκεφαλαίου θα περιγραφεί η εκτίμηση του κύκλου ζωής στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ σε σύγκριση με τον ευρύτερο τομέα παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα. Θα συγκριθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον κύκλο ζωής τους και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα, το αντικείμενο αυτής της μελέτης είναι να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ενέργειας 1GJ. Ο σκοπός θα περιλάβει την κατασκευή, τη λειτουργία και την απόθεση των αποβλήτων της μονάδας παραγωγής ενέργειας που αναλύεται. Επιπλέον, θα επιτρέπεται η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τρόπων παραγωγής ενέργειας, την κατανομή της κάθε αναγνωρισμένης επίπτωσης στη λειτουργική μονάδα για τους σκοπούς της ανάλυσης. Η λειτουργική μονάδα είναι το 1GJ της παραγόμενης ενέργειας. Το επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη της απογραφής των δεδομένων. Σε αυτό το βήμα θεωρούνται όλα τα αναγνωρισμένα στοιχεία που εισάγονται και εξάγονται στο/ από την λειτουργική μονάδα. Στη συνέχεια, μεταφράζονται τα αποτελέσματα και επιτυγχάνεται η εκτίμηση των επιπτώσεων που θα χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, αναλύονται οι κατηγορίες των επιπτώσεων που είναι οι πιο σημαντικές για την επίδρασή τους στο περιβάλλον, ήτοι, το δυναμικό της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, η οξίνιση και ο ευτροφισμός. Οι επιπτώσεις των καθορισμένων στοιχείων της απογραφής για κάθε κατηγορία επίπτωσης υπολογίζονται από τους σχετικούς παράγοντες. Κατά συνέπεια, οι επιπτώσεις των εκπομπών CO₂ εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά οι εκπομπές φρέον εντείνουν και το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τη στοιβάδα του όζοντος. Τέλος, οι εκπομπές SO₂ και NO_x εντείνουν την οξίνιση (Góralczyk, 2003).

Ο Góralczyk (2003) έχει επιλέξει στην κατηγορία των ΑΠΕ να συμπεριλάβει τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις, τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες

θα συγκριθούν με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Στην περίπτωση του φαινομένου του θερμοκηπίου η καύση του πετρελαίου συμβάλλει στο 40% ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια ασήμαντο ποσό. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από ανεμογεννήτριες τοποθετείται μεταξύ της υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας με βάση τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των εκπομπών SO_x και NO_x.

Ο μελετητής έχει επιλέξει στην κατηγορία των συμβατικών πηγών να συμπεριλάβει τον άνθρακα, το αργό πετρέλαιο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η παραγωγή ενέργειας από την καύση άνθρακα συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στον ευτροφισμό. Το αργό πετρέλαιο έχει σημαντικές επιδράσεις στον ευτροφισμό, στην οξίνιση και στην εξάντληση των φυσικών πόρων (Góralczyk, 2003).

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν εξαντλούνται και επομένως δεν συμβάλλουν στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Επιπλέον, οι συμβατικές πηγές ενέργειας σε σχέση με τις ανανεώσιμες προκαλούν περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Góralczyk, 2003).

3.2. Εφαρμογή της AKZ στην Αιολική Ενέργεια

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν μελέτες AKZ αποκλειστικά για την αιολική ενέργεια. Η πρώτη από αυτές αφορά το αιολικό πάρκο στη θέση Fuzhou στην Κίνα. Οι μελετητές (Songlin et al., 2011), αναλύουν τα πλεονεκτήματα του αιολικού σταθμού παραγωγής σε όλο τον κύκλο ζωής του, συγκρίνοντάς τα με τους παραδοσιακούς σταθμούς παραγωγής θερμικής ενέργειας από την καύση άνθρακα.

Οι μελετητές πραγματοποιούν την ανάλυση κύκλου ζωής σύμφωνα με τα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού για την Πιστοποίηση (ISO) και είναι τα ISO 14040 και ISO 14044. Συνεπώς, ακολουθούν τα στάδια που ακολούθησαν και οι Zhong et al. (2011), οι μελέτες των οποίων περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Ο κύκλος της ζωής του αιολικού πάρκου Fuzhou περιλαμβάνει 4 φάσεις, ήτοι, η κατασκευή, η μεταφορά των υλικών, η εγκατάσταση και η λειτουργία του αιολικού

σταθμού παραγωγής ενέργειας. Αναφορικά με τους δείκτες εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιλαμβάνουν 3 μέρη, ήτοι, εκπομπές ρύπων, εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η εξάντληση των ορυκτών πηγών ενέργειας. Οι εκπομπές των ρύπων περιλαμβάνουν τις εκπομπές SO₂, NO_x και PM₁₀. Τα αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν CO₂, CH₄ και N₂O. Η εξάντληση των ορυκτών πηγών ενέργειας παρουσιάζεται από τον ισοδύναμο άνθρακα (Songlin et al., 2011).

Στο δεύτερο στάδιο, την απογραφή των δεδομένων καταγράφονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν στο αιολικό πάρκο και τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή της μονάδας που καίει ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας και το πόσο συμβάλουν στις παραπάνω εκπομπές. Οι ανεμογεννήτριες που θα χρησιμοποιηθούν για το υπό μελέτη αιολικό πάρκο είναι ισχύος 2MW (ανεμογεννήτριες ισχύος 2MW επικρατούν στην κινέζικη τεχνολογία). Για μια τυπική ανεμογεννήτρια της προαναφερόμενης ισχύος τα υλικά για την κατασκευή της είναι 90 τόνοι χάλυβας για την άτρακτο, 17 τόνοι εποξιδικό υλικό και 7 τόνοι υαλονήματα για τα πτερύγια, 120 τόνοι χάλυβας για τον πύργο και τέλος για τα θεμέλια χρειάζονται 60 τόνοι χάλυβας και 360 τόνοι σκυρόδεμα (Songlin et al., 2011).

Από την AKZ οι μελετητές διαπίστωσαν ότι κανένα από τα προαναφερόμενα υλικά δεν προκαλεί εκπομπές μεθανίου. Επιπλέον, το εποξιδικό υλικό και το υαλονήμα δεν έχουν εκπομπές υποξειδίου του αζώτου και τέλος το εποξιδικό υλικό δεν έχει εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων (διαμέτρου των 10μm). Επιπροσθέτως οι μελετητές συμπέραναν ότι το σκυρόδεμα συμβάλει περισσότερο από τα υπόλοιπα 3 υλικά στις εκπομπές προς το περιβάλλον (Songlin et al., 2011).

Όσον αφορά, την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, οι παράμετροι των εκπομπών ρύπων αναφορικά με τα μέσα μεταφοράς της Κίνας είναι, το πλοίο, το τραίνο και το φορτηγό. Από την μελέτη εξήχθη το συμπέρασμα ότι η μεταφορά με τραίνο έχει τις περισσότερες εκπομπές CO₂ και NO_x. Επιπλέον συμπεραίνεται ότι το τραίνο ως μεταφορικό μέσο στην Κίνα συμβάλει περισσότερο στις εκπομπές προς το περιβάλλον (Songlin et al., 2011).

Στο τρίτο στάδιο, την εκτίμηση των επιπτώσεων, οι μελετητές κάνουν τις παρακάτω παραδοχές. Η 1^η τους παραδοχή είναι ότι ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας είναι 2000 ώρες/ έτος. Η 2^η τους παραδοχή είναι ότι ο κύριος εξοπλισμός της ανεμογεννήτριας παράγεται από την Shanghai Electric Group και μεταφέρεται από την Shanghai στο Fuzhou με πλοίο 750km και με φορτηγό 100km. Τέλος, η 3^η παραδοχή τους είναι ότι τα υλικά για την κατασκευή της θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας, ήτοι, χάλυβας και σκυρόδεμα μεταφέρονται με φορτηγό 100km (Songlin et al., 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραδοχές καταλήγουν οι μελετητές στα παρακάτω αποτελέσματα, ήτοι στο σύνολο του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου οι περισσότερες εκπομπές είναι SO₂ και NO_x. Τέλος η μεταφορά των υλικών συμβάλει στις εκπομπές προς το περιβάλλον σε μεγαλύτερο βαθμό από τις υπόλοιπες 2 φάσεις (Songlin et al., 2011).

Κατόπιν, οι Songlin et al. (2011), συγκρίνουν την AKZ του αιολικού πάρκου με την AKZ της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με την καύση άνθρακα. Οι μελετητές επέλεξαν μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με την καύση άνθρακα ισχύος 600MW. Μια τυπική εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με την καύση άνθρακα της προαναφερόμενης ισχύος αποτελείται από έναν λέβητα 12.700 τόνων, μια ατμομηχανή 1.630 τόνων, μια γεννήτρια 406 τόνων και ένα σύστημα αγωγών 3.300 τόνων. Αναφορικά με τα υλικά που κατασκευάζεται μια τέτοια μονάδα παραγωγής είναι κυρίως ο χάλυβας και για το κτίσιμο της εγκατάστασης απαιτούνται 18.433 τόνοι χάλυβα και 60.625 τόνοι σκυρόδεμα. Στο Fuzhou, ο άνθρακας μεταφέρεται από το Shanxi με πλοίο 2.000km, με τρένο 2.300km και με φορτηγό 100km. Η ποσότητα του άνθρακα που παράγεται ανέρχεται στα 5000kcal/ kg. Επίσης, και εδώ οι μελετητές κάνουν 2 παραδοχές. Η 1^η παραδοχή είναι ότι ο κύριος εξοπλισμός της μονάδας μεταφέρεται από την Shanghai Electric Group με πλοίο 750km και με φορτηγό 100km. Τέλος, η 2^η παραδοχή είναι ότι τα υλικά για την κατασκευή της θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας, ήτοι, χάλυβας και σκυρόδεμα μεταφέρονται με φορτηγό 100km (Songlin et al., 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραδοχές οι μελετητές διεξάγουν το συμπέρασμα ότι η κατανάλωση άνθρακα έχει τις περισσότερες εκπομπές CO₂ και

NO_x. Επιπλέον, ότι η αιολική ενέργεια είναι προτιμητέα ως προς τις χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Songlin et al., 2011).

Η μελέτη που ακολουθεί περιγράφει μια εκτίμηση κύκλου ζωής ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου από την alpha ventus, στη Γερμανία. Οι Wagner et al. (2011), ακολουθούν τη μεθοδολογία σύμφωνα με τα σχετικά πρότυπα ISO για την ανάλυση κύκλου ζωής που περιγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Έτσι λοιπόν, ο σκοπός και το αντικείμενο της μελέτης περιλαμβάνει τη μορφή του αντικειμένου ισορροπίας, τα όρια του συστήματος και τις υποθέσεις που θα δημιουργηθούν. Σε αυτή τη μελέτη, η λειτουργική μονάδα ορίζεται ως η παροχή με 1kWh στην τρέχουσα παραγωγή από την alpha ventus στην υψηλή τάση του δικτύου στον επίγειο μετασχηματιστή σταθμό στο Hagermarsch (Germany).

Η απογραφή δεδομένων αποτελείται από 3 βήματα. Στο 1^ο βήμα, εισάγονται όλα τα συστατικά μέρη και τα δομικά στοιχεία του αιολικού πάρκου. Στη συνέχεια, στο 2^ο βήμα, σχεδιάζεται το αποτέλεσμα για τις 3 φάσεις δημιουργίας του αιολικού πάρκου, ήτοι, τη φάση παραγωγής, τη φάση λειτουργίας και τη φάση απόθεσης των αποβλήτων μετά το πέρας της λειτουργίας του. Τέλος, στο 3^ο βήμα, καταγράφονται η συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας και η παραγωγή εκπομπών προς το περιβάλλον, οι οποίες σχετίζονται με το αποτέλεσμα της απογραφής δεδομένων. Επίσης, οι μελετητές επιλέγουν τη βάση δεδομένων Ecoinvent, η οποία βρίσκεται ενσωματωμένη στο λογισμικό GaBi.

Οι μελετητές έχουν επιλέξει ορισμένους δείκτες για να προσεγγίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του θαλάσσιου αιολικού πάρκου. Ο 1^{ος} είναι ένας συνηθισμένος δείκτης, ήτοι, η αθροιστική (αρχική) απαίτηση ενέργειας από όλες τις φάσεις δημιουργίας του αιολικού πάρκου και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1TJ αρχικής ισοδύναμης ενέργειας. Ο 2^{ος} είναι το δυναμικό της παγκόσμιας υπερθέρμανσης και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1kg ισοδύναμου CO₂. Επίσης, είναι και ορισμένοι επιπρόσθετοι δείκτες όπως, (3^{ος}) ο ευτροφισμός και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1kg ισοδύναμου PO₄³⁻, (4^{ος}) το δυναμικό ανθρώπινης τοξικότητας και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1kg ισοδύναμου DCB⁴, (5^{ος}) το

⁴ **DCB:** Dichlorobenzene (Διχλωροβενζόλιο)

δυναμικό δημιουργίας του φωτοχημικού όζοντος και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1kg ισοδύναμου C_2H_4 και τέλος ($6^{ος}$) το δυναμικό οξίνισης και η μονάδα μέτρησής του είναι το 1kg ισοδύναμου SO_2 . Επιπλέον, η δυναμική περίοδος ανταπόδοσης είναι μια σημαντική βασική παράμετρος, η οποία καθορίζει τη βιωσιμότητα της μονάδας παραγωγής κάνοντας χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι μελετητές αναφέρουν ότι η ακαθάριστη παραγωγή ενέργειας, το 2009, στη Γερμανία, αναφορικά με τις διαφορετικές πηγές ενέργειας, αποτελείται από 43% άνθρακα, 23% πυρηνική, 13% φυσικό αέριο και 16% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Wagner et al., 2011).

Όσον αφορά τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα τα υλικά και τις μάζες τους, η προπαρασκευαστική εργασία για τη μελέτη οδήγησε σε ικανοποιητικά αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων. Λεπτομερείς πληροφορίες για τις κατασκευαστικές εταιρείες προέκυψαν από τις βάσεις δεδομένων και από προηγούμενες μελέτες. Λαμβάνεται επίσης υπόψη το γεγονός ότι, λόγω της υψηλής αναλογίας των σιδηρούχων μετάλλων και ότι επιδρά σε μεγάλο βαθμό στο αποτέλεσμα, τότε κατά συνέπεια είναι σημαντική η ακρίβεια αυτών των δεδομένων (Wagner et al., 2011).

Η σύνθεση των υλικών είναι 73,2% σιδηρούχα μέταλλα, 8,1% μη σιδηρούχα μέταλλα, 5,9% συνθετικά υλικά και 12,7% άλλα υλικά. Το συνολικό βάρος των προαναφερθέντων υλικών ανέρχεται στους 29.000 τόνους (Wagner et al., 2011).

Τα αποτελέσματα αυτής της AKZ είναι ότι στη φάση παραγωγής του θαλάσσιου αιολικού πάρκου εντείνεται η κλιματική αλλαγή και ο ευτροφισμός, ενώ στη φάση της χρήσης πιο πολύ εντείνεται ο ευτροφισμός (Wagner et al., 2011).

Για τη συνέχεια ο Schleisner (2000), εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις δύο διαφορετικών αιολικών πάρκων στη Δανία.

Το μοντέλο της AKZ που έχει χρησιμοποιηθεί είναι για να εκτιμήσει την ενέργεια που απαιτείται για να παραχθούν δύο διαφορετικά αιολικά πάρκα στη Δανία και να εκτιμήσει τις επιπτώσεις που αυτά προκαλούν (Schleisner, 2000).

Η ενεργειακή παραγωγή κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των αιολικών πάρκων έχει εκτιμηθεί με σκοπό να υπάρξει χρονική ενεργειακή ανταπόδοση των αιολικών πάρκων (Schleisner, 2000).

Τα αιολικά πάρκα που αναλύθηκαν είναι ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 10 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 500kW με συνολική ισχύ 5MW και ένα χερσαίο αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 18 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 500kW με συνολική ισχύ 9MW (Schleisner, 2000).

Το θαλάσσιο αιολικό πάρκο είναι το Tuno Knob και είναι εγκατεστημένο 6km μακριά των ανατολικών ακτών της Jutland. Αυτό το αιολικό πάρκο αποτελείται από 10 ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες αυτές έχουν 3 πτερύγια, το ύψος του πύργου είναι 40,5m και η διάμετρος του δρομέα είναι 39m. Τέλος, η ελάχιστη ταχύτητα του ανέμου που θέτει σε κίνηση τις ανεμογεννήτριες είναι 16m/s (Schleisner, 2000).

Το χερσαίο αιολικό πάρκο είναι το Fjaldene και είναι εγκατεστημένο στο κέντρο της Jutland. Αυτό το αιολικό πάρκο αποτελείται από 18 ανεμογεννήτριες σε 2 σειρές, όπου η κάθε σειρά έχει από 9. Η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι 580m και μεταξύ των ανεμογεννητριών 188m. Τέλος, το ύψος της ανεμογεννήτριας είναι 41,5m (Schleisner, 2000).

Το ποσό των υλικών ανά ανεμογεννήτρια που απαιτείται για το χτίσιμο των θεμελίων για το χερσαίο αιολικό πάρκο εικάζεται να είναι στο μισό του ποσού που απαιτείται για το θαλάσσιο αιολικό πάρκο (Schleisner, 2000).

Το γυαλί και ο πολυεστέρας χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του υαλονήματος για τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Όμως, λόγω της έλλειψης δεδομένων για την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές υπολογίζονται μόνο για την κατασκευή γυαλιού και πολυεστέρα και όχι για το υαλόνημα (Schleisner, 2000).

Το 4% της ενεργειακής κατανάλωσης από το θαλάσσιο αιολικό πάρκο και το 2,5% από το χερσαίο χρησιμοποιείται για την απόθεση των υλικών της ανεμογεννήτριας μετά το τέλος της ζωής της. Το μικρό ποσό της ενεργειακής κατανάλωσης στην απόθεση του υλικού είναι λόγω της αναλογίας των εκπομπών από την καύση του (Schleisner, 2000).

Η αρχική ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή και τη διάθεση των υλικών, που αποτελείται το θαλάσσιο αιολικό πάρκο είναι 43.873GJ. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των 12.500MWh από το αιολικό πάρκο μετατρέπει την αρχική ενέργεια που καταναλώθηκε από τις συμβατικές πηγές προκειμένου να εκτιμήσει την χρονική ενεργειακή ανταπόδοση. Βασισμένοι στην εκτίμηση της αποδοτικότητας του 40%, της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε είναι ανταποδοτική σε 0,39 έτη ή λιγότερο από 2% σε όλο τον κύκλο ζωής των 20 ετών. Ο βαθμός απόδοσης που χρησιμοποιήθηκε είναι σχετικά χαμηλός, αλλά είναι ο ίδιος στο μοντέλο της AKZ που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των υλικών. Το χερσαίο αιολικό πάρκο με ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των 19.800MWh, είναι ανταποδοτικό σε 0,26 έτη (Schleisner, 2000).

Θεωρώντας ότι ο κύκλος ζωής του θαλάσσιου αιολικού πάρκου είναι 20 χρόνια και η συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού είναι 250GWh τότε οι εκπομπές προς το περιβάλλον είναι 16,5g CO₂/ kWh, 0,03g SO₂/ kWh και 0,05g NO_x/ kWh. Για το χερσαίο αιολικό πάρκο οι αντίστοιχες εκπομπές είναι 9,7g CO₂/ kWh, 0,02g SO₂/ kWh και 0,03g NO_x/ kWh (Schleisner, 2000).

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της κάθε ανεμογεννήτριας των 500kW είναι 58 τόνοι, ήτοι, 92% χάλυβας, 3% πλαστικό, 2% αργίλιο, 2% γυαλί και 1% χαλκός. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των υλικών ανακυκλώνονται, ήτοι, το 97% του χάλυβα, το 2,5% του αργιλίου και το 0,5% του χαλκού. Επίσης, το υπόλοιπο μέρος των υλικών εναποθέτονται, ήτοι, το 65% του πλαστικού και το 35% του γυαλιού. Τέλος, υπάρχει και ένα ποσό υλικών που ανακυκλώνεται για να κατασκευαστούν νέες ανεμογεννήτριες, δηλαδή επαναχρησιμοποιείται, ήτοι, 97% χάλυβας, 2,7% αργίλιο και 0,3% χαλκός. Συμπερασματικά, το θαλάσσιο αιολικό πάρκο έχει περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το χερσαίο (Schleisner, 2000).

Οι Kabir et al.(2012) θα περιγράψουν την ανάλυση κύκλου ζωής ενός αιολικού σταθμού συνολικής ισχύος 100kWe. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να πραγματοποιήσει την πιο κατάλληλη δομή των ανεμογεννητριών για να δημιουργήσει μια 100kWe αιολική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού στην περιοχή Halkirk, Alberta του Καναδά. Για μια θεωρητική αιολική εγκατάσταση των 100kWe ο

συνολικός αριθμός ανεμογεννητριών που απαιτείται είτε 20 Endurance (EN) των 5kW, είτε 5 Jacobs (JA) των 20kW ή τέλος 1 Northern Power (NP) των 100kW αντίστοιχα. Οι παραπάνω διατάξεις συγκρίνονται από τη σκοπιά της ενέργειας, του περιβάλλοντος και της οικονομίας (Kabir et al., 2012).

Το όριο του συστήματος περιλαμβάνει, την παραγωγή των ανεμογεννητριών, την μεταφορά και εγκατάστασή τους, την παραγωγή ενέργειας, τη συντήρηση των ανεμογεννητριών και τέλος, μετά το τέλος της λειτουργίας τους την ανακύκλωση και την απόθεση των υλικών τους. (Kabir et al., 2012).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μελετώνται είναι η οικοτοξικότητα, και οι οργανικές και ανόργανες ουσίες που επηρεάζουν το αναπνευστικό σύστημα. Αναφορικά με τη λειτουργική μονάδα είναι η παραγωγή 1kWh ηλεκτρισμού. (Kabir et al., 2012).

Όσον αφορά την ενεργειακή επίπτωση, η μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια είναι η πιο αποδοτική και σε ότι αφορά την οικονομική επίπτωση, η μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια είναι η πιο οικονομική. Τέλος, αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, ήτοι, η στοιβάδα του όζοντος, η οξίνιση και η παγκόσμια υπερθέρμανση. Για τις προαναφερόμενες κατηγορίες επιπτώσεων, οι αντίστοιχοι περιβαλλοντικοί ρύποι είναι οι ακόλουθοι. Για την NP ανεμογεννήτρια, $6,2 \cdot 10^{-2}$ g(VOC + NO_x)/ kWh, $4,2 \cdot 10^{-2}$ g SO_{2eq}/ kWh & 17,8 g CO_{2eq}/ kWh αντίστοιχα. Για τις JA και EN οι επιπτώσεις είναι αντίστοιχα $10,5 \cdot 10^{-2}$ και $13,9 \cdot 10^{-2}$ g(VOC + NO_x)/ kWh, $8,8 \cdot 10^{-2}$ και $11,2 \cdot 10^{-2}$ g SO_{2eq}/ kWh, 25,1 και 42,7 g CO_{2eq}/ kWh. Τέλος, περιβαλλοντικά συμφέρουσες είναι οι μεγάλες ανεμογεννήτριες (Kabir et al., 2012).

Η παραπάνω μελέτη σύγκρινε τη δομή των ανεμογεννητριών για να δημιουργήσει μια 100kWe αιολική εγκατάσταση παραγωγής. Στην παρακάτω μελέτη θα πραγματοποιηθεί μια AKZ για ένα αιολικό πάρκο στην Ιταλία. Η AKZ των μελετητών (Ardente et al., 2008), αφορά την ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση ενός ιταλικού αιολικού πάρκου με σκοπό τη διερεύνηση σε ποιο στάδιο της AKZ προκαλούνται οι περισσότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η λειτουργική μονάδα είναι η 1kWh παραγωγής ηλεκτρισμού (Ardente et al., 2008).

Το αιολικό πάρκο τοποθετείται στη Νότια Ιταλία (Σικελία) καλύπτοντας επιφάνεια 4,5km². Η περιοχή αποτελείται από μια σειρά λόφων ήπιων κλίσεων με υψόμετρο μεταξύ 850m και 937m από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η περιοχή δεν περιλαμβάνει αστικά κέντρα παρά μόνο μικρό αριθμό αγροτικών κτισμάτων. Η βλάστηση αποτελείται από καλλιέργειες σιταριού και αυτοφυείς θάμνους ή μικρούς θάμνους. Το αιολικό πάρκο περιλαμβάνει 11 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 660kW η καθεμία. Η περιβαλλοντική ανάλυση αφορά τα απόβλητα και τις εκπομπές στον αέρα και στο νερό. Οι κύριες αέριες εκπομπές είναι οι εκπομπές CO₂ (3.434.000kg CO₂) και άλλοι αέριοι ρυπαντές. Επίσης, η διαχείριση των αποβλήτων είναι σημαντική διότι παράγονται περίπου 2.500kg λάδια και λιπαντικά καθώς και άλλα απόβλητα (37.300.000kg). Τέλος, η ρύπανση του νερού οφείλεται στις μη επικίνδυνες χημικές ουσίες που εκλύονται κατά την κατασκευαστική φάση (Ardente et al., 2008).

Εκτός από τις προαναφερόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπάρχουν και άλλες. Η χρήση του εδάφους που είναι μικρή αφού η κάθε ανεμογεννήτρια καταλαμβάνει 300 m² η κάθε μία και η ηχορύπανση, αλλά ο θόρυβος που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες δεν ξεπερνά τα 55dB(A). Συμπερασματικά, οι περισσότερες επιπτώσεις προκαλούνται κατά την κατασκευαστική φάση (Ardente et al., 2008).

Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση της AKZ μιας πλωτής θαλάσσιας ανεμογεννήτριας. Οι μελετητές χρησιμοποιούν το λογισμικό SimaPro και ειδικότερα τη βάση δεδομένων Ecoinvent. Τέλος, για την εκτίμηση των επιπτώσεων έχουν επιλέξει τη μέθοδο CML 2 baseline 2000 V2.03. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τη βάση δεδομένων Ecoinvent όπου περιέχει αποτελέσματα από τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη συμβατική μονάδα παραγωγής του φυσικού αερίου. Δηλαδή, η σύγκριση γίνεται μεταξύ της διαδικασίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από θαλάσσιο αιολικό πάρκο σε σχέση με τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη συμβατική μονάδα παραγωγής του φυσικού αερίου (Weinzettel et al., 2009).

Η μελέτη αυτή δεν συμπεριλαμβάνει δευτερογενή υλικά. Όμως περιλαμβάνει το τέλος ζωής τους, ήτοι, τα μέταλλα ανακυκλώνονται και το σύστημα παραγωγής

εκτιμάται ότι αποφεύγει την παραγωγή μετάλλων. Σε αντίθεση η βάση δεδομένων Ecoinvent δεν περιλαμβάνει την ανακύκλωση, αλλά περιέχει τα δευτερογενή υλικά. Τέλος, για το σκοπό της σύγκρισης υπολογίζονται τα όρια του συστήματος από τη χρήση της Ecoinvent (Weinzettel et al., 2009).

Η πλωτή ανεμογεννήτρια έχει σχεδιαστεί για να εγκατασταθεί σε βάθη από 100m έως 300m και πάνω από 50km από την ακτή. Αυτός ο σχεδιασμός εξασφαλίζει ότι η ανεμογεννήτρια δεν φαίνεται και δεν ακούγεται στην ακτή. Ο πύργος υποδιαιρείται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Το τμήμα του βυθού γεμίζεται με στρώμα από υαλοσιδηρίτη βοηθώντας την ισορροπία της ανεμογεννήτριας. Το τμήμα που βρίσκεται πάνω από το στρώμα του υαλοσιδηρίτη, γεμίζεται με αέρα εξυπηρετώντας στο να επιπλέει η ανεμογεννήτρια. Υπάρχει ένα δέσιμο το οποίο κατασκευάστηκε από πέτρες στο βυθό της θάλασσας και η ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη με ένα στήριγμα συστροφής. Η δομή πάνω από το επίπεδο της θάλασσας είναι ο πύργος με την ανεμογεννήτρια στην κορυφή. Οι μελετητές υποθέτουν ότι θα υπάρξουν θαλάσσια αιολικά πάρκα από 40 με 50 ανεμογεννήτριες τα επόμενα 20 με 30 χρόνια (Weinzettel et al., 2009).

Το μοντέλο του συστήματος περιλαμβάνει ένα αιολικό πάρκο, το οποίο αποτελείται από 40 πλωτές ανεμογεννήτριες, έναν σταθμό μετασχηματισμού που μετασχηματίζει τον ηλεκτρισμό σε 170kV και υπόγεια καλώδια τα οποία μεταφέρουν τον ηλεκτρισμό στην ακτή. Το σύστημα οριοθετείται ως εξής, συμπεριλαμβάνει σημαντικές περιβαλλοντικές διαδικασίες, ήτοι, από την εξόρυξη των πρώτων υλών, την παραγωγή της ανεμογεννήτριας, τη μεταφορά, τη χρήση και το τέλος της ζωής της (την απόθεσή της) (Weinzettel et al., 2009).

Ο πύργος κατασκευάζεται από 1.000 τόνους από χαμηλής ποιότητας κραμάτων χάλυβα και 5 τόνοι υψηλής ποιότητας κραμάτων χάλυβα. Η διαδικασία περιλαμβάνει την επίστρωση της έλασης και την συγκόλληση. Η μεταφορά εικάζεται ότι είναι 500km με φορτηγό και 1.500km με πλωτό μέσο. Οι διαδικασίες και τα υλικά βρίσκονται στη βάση δεδομένων Ecoinvent εκτός από της υψηλής ποιότητας κράματα χάλυβα που βρίσκονται στη βάση δεδομένων ETH-ESU (Weinzettel et al., 2009).

Το στρώμα από υαλοσιδηρίτη θεωρείται ότι κατασκευάζεται από 2.500 τόνους αμμοχάλικο. Η απόσταση για τη μεταφορά είναι 500km με πλωτό μέσο. Όλες οι διαδικασίες βρίσκονται στη βάση δεδομένων Ecoinvent (Weinzettel et al., 2009).

Η άτρακτος κατασκευάζεται από 200τόνους της χαμηλής ποιότητας κραμάτων χάλυβα. Η μεταφορά γίνεται με φορτηγό και η απόσταση είναι 200km καθώς και με βάρκα σε απόσταση 1.500km. Όλες οι διαδικασίες βρίσκονται στη βάση δεδομένων Ecoinvent (Weinzettel et al., 2009).

Επειδή είναι αδύνατον να βρεθούν δεδομένα για τη διαδικασία παραγωγής της γεννήτριας, η Ecoinvent μονάδα παραγωγής κυμαίνεται από 2,5 (την αναλογία μεταξύ του βάρους της γεννήτριας για μια μηχανή των 2MW και μια μηχανή των 5MW) (Weinzettel et al., 2009).

Τα πτερύγια εικάζεται ότι κατασκευάζονται από ενισχυμένο πλαστικό. Το βάρος κάθε πτερυγίου είναι 16,5 τόνοι. Ο δρομέας αποτελείται από 3 πτερύγια. Η απόσταση για τη μεταφορά τους υποτίθεται ότι είναι 700km με πλωτό μέσο. Όλες οι διαδικασίες βρίσκονται στη βάση δεδομένων Ecoinvent (Weinzettel et al., 2009).

Ο μετασχηματιστής χαμηλής τάσης τοποθετείται στην άτρακτο για να μετασχηματίζει την εξερχόμενη τάση της ανεμογεννήτριας σε υψηλότερο επίπεδο για να την καταλείψει στο σταθμό μεταφοράς. Ο μετασχηματιστής μοντελοποιείται σύμφωνα με την ABB, η οποία είναι εταιρεία που εμπορεύεται προϊόντα τέτοιου είδους (Weinzettel et al., 2009).

Οι κύριες επιπτώσεις της συναρμολόγησης είναι σχετικές με την κατανάλωση καυσίμων και ενέργειας (Weinzettel et al., 2009).

Η μεταφορά των πλωτών ανεμογεννητριών στην τελική τους τοποθεσία πραγματοποιείται μέσω ενός πλωτού μέσου το οποίο τις μεταφέρει σέρνοντάς τες. Η απόσταση εκτιμάται σε 100km. Αυτή η διαδικασία μοντελοποιείται μέσω της κατανάλωσης των καυσίμων του πλωτού μέσου, διότι δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα διαθέσιμα. (Weinzettel et al., 2009).

Η συντήρηση των πλωτών ανεμογεννητριών γίνεται σε τακτικές επιθεωρήσεις 3 φορές το χρόνο με ελικόπτερο και σε έκτακτες επιθεωρήσεις 1 φορά το χρόνο για κάθε ανεμογεννήτρια που συμπεριλαμβάνεται στο αιολικό πάρκο. Η παραγωγή δύο περισσότερων ανεμογεννητριών για το αιολικό πάρκο (5%) συμπεριλαμβάνεται με σκοπό να αντικαταστήσουν τις κατεστραμμένες ανεμογεννήτριες. Μια φορά στο χρόνο ζωής της η κάθε ανεμογεννήτρια εκτιμάται ότι μεταφέρεται στο λιμάνι και επιστρέφεται στην τοποθεσία του αιολικού πάρκου (Weinzettel et al., 2009).

Για τη μοντελοποίηση του δεσίματος (mooring), η διαδικασία είναι η ίδια με του χαλικοστρώματος (εκτός από το βάρος του δεσίματος που είναι μόνο 500 τόνοι). Το δέσιμο (mooring) θα μεταφερθεί με φορτηγό πλοίο στην απόσταση των 500km και στο τέλος της ζωής του θα αφηθεί στο βυθό της θάλασσας (Weinzettel et al., 2009).

Η παραγωγή των καλωδίων περιλαμβάνει τις συνδέσεις της κάθε ανεμογεννήτριας χωριστά καθώς και τις συνδέσεις με το σταθμό μεταφοράς στην ακτή. Επειδή, δεν υπάρχουν εξειδικευμένα δεδομένα για την παραγωγική διαδικασία αλλά υπάρχουν μόνο η σύνθεση των υλικών και η εκτίμηση του συνολικού κόστους γι' αυτό το λόγο η παραγωγή των υλικών λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων Ecoinvent (Weinzettel et al., 2009).

Ο σταθμός μεταφοράς μοντελοποιείται από την ανεμογεννήτρια, το δέσιμο, το χαλικοστρώμα και τον μετασχηματιστή υψηλής τάσης. Τα δεδομένα για τον μετασχηματιστή υψηλής τάσης αντλούνται από την ABB, η οποία είναι εταιρεία που εμπορεύεται περιβαλλοντικά προϊόντα τέτοιου είδους (Weinzettel et al., 2009).

Μετά το πέρας της ζωής τους οι ανεμογεννήτριες θα αποσυναρμολογηθούν και τα περισσότερα υλικά θα ανακυκλωθούν. Τα ανακυκλωμένα υλικά θα αντικαταστήσουν πρωτογενείς πρώτες ύλες και επομένως θα αποφευχθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή νέων υλικών. Ο πύργος με την άτρακτο και τη γεννήτρια μεταφέρονται σε απόσταση 400km με τραίνο σε μια εγκατάσταση ανακύκλωσης. Το 90% του χαλκού εκτός του χαλκού των καλωδίων θα αντικαταστήσει την παραγωγή χαλκού. Τα περύγια εκτιμάται ότι θα μεταφερθούν 100km με φορτηγό για να ταφούν. Τέλος, το 80% του χαλικοστρώματος θα

μεταφερθεί 100km με φορτηγό και θα αντικαταστήσει το αμμοχάλικο (Weinzettel et al., 2009).

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον ομαδοποιούνται σε 3 βασικές κατηγορίες, ήτοι, την παγκόσμια υπερθέρμανση, την εξάντληση των αβιοτικών πηγών και την τοξικότητα στους ανθρώπους. Η μεγαλύτερη συνεισφορά στην παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη προέρχεται από την παραγωγή της χαμηλής ποιότητας κράματος χάλυβα για τον πύργο (47%), από την παραγωγή των καλωδίων (14%) και από την παραγωγή χρωμιοχάλυβα για την ανεμογεννήτρια (13%). Το τέλος ζωής των υλικών συμβάλει στο 19% εξαιτίας της αποφυγής να παραχθούν νέα πρωτογενή υλικά. Τα χαμηλής ποιότητας κράματα χάλυβα για την παραγωγή του πύργου επίσης παρουσιάζουν μεγάλη συνεισφορά στην εξάντληση των αβιοτικών πηγών (57%), ακολουθεί ο χρωμιοχάλυβας για την παραγωγή της ανεμογεννήτριας (14%) και τα χαμηλής ποιότητας κράματα χάλυβα για την παραγωγή της ατράκτου (12%). Το τέλος ζωής των υλικών συμβάλει 36% λόγω της αποφυγής προϊόντων. Για το δυναμικό της ανθρώπινης τοξικότητας, η πιο σημαντική συμβολή είναι της παραγωγής χαλκού με ποσοστό 71%. Η ανακύκλωση του χαλκού στο τέλος ζωής συνεισφέρει 29%. Ο χαλκός των καλωδίων συμβάλει 43% και της γεννήτριας 25%. Ο χρωμιοχάλυβας συμμετέχει κατά 30% και τα χαμηλής ποιότητας κράματα χάλυβα κατά 17% στον πύργο (Weinzettel et al., 2009).

Τέλος, όσον αφορά την αθροιστική ενεργειακή απαίτηση, αυτή συμπεριλαμβάνει τη συνολική ενέργεια που απαιτείται σε όλο τον κύκλο ζωής της ανεμογεννήτριας. Για μια πλωτή ανεμογεννήτρια η αθροιστική ενεργειακή απαίτηση είναι $0,054\text{MJ}_{\text{eq}}/1\text{MJ}_{\text{electricity}}$. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε 1MJ ηλεκτρισμού χρησιμοποιούνται 0,054MJ από ορυκτά καύσιμα ή ότι λαμβάνει 13 μήνες για την εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας παράγοντας τόση ενέργεια όση απαιτείται κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου ζωής. Το αιολικό πάρκο, όμως, παράγει ηλεκτρισμό, μεγαλύτερης αξίας από τα ορυκτά καύσιμα. Εκτιμάται ότι η συμβαλλόμενη αποτελεσματικότητα στην τελική ενεργειακή ανταπόδοση ανέρχεται στο 40% σε χρόνο 5,2 μήνες (Weinzettel et al., 2009).

Παραπάνω περιγράφηκε μια μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής μιας πλωτής ανεμογεννήτριας και παρακάτω θα περιγραφεί μια μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής

που αφορά την ενέργεια και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανεμογεννήτριες και πώς το μέγεθός τους επιδρά στην ενεργειακή απόδοση.

Ο Crawford (2009) περιγράφει τις ανεμογεννήτριες που επέλεξε να εξετάσει ως προς τις απαιτήσεις του κύκλου ζωής της ενέργειας, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ενεργειακή απόδοση. Δύο ανεμογεννήτριες των 850kW και 3MW αντίστοιχα, αναλύονται για να αποδειχθούν οι πιθανές επιπτώσεις του μεγέθους της ανεμογεννήτριας στην ενεργειακή απόδοση.

Τα κύρια συστατικά των ανεμογεννητριών συμπεριλαμβάνουν τον δρομέα (πλήμνη & πτερύγια), την άτρακτο (γεννήτρια, κιβώτιο ταχυτήτων, φρένα, ηλεκτρονικό ελεγκτή, μετασχηματιστής & σύστημα ελέγχου), τον πύργο και τη βάση. Επίσης, οι ανεμογεννήτριες που επιλέχθηκαν για τη μελέτη είναι οριζοντίου άξονα, έχουν 3 πτερύγια και προβλεπόμενη διάρκεια ζωής 20 ετών (Crawford, 2009).

Οι παραδοχές της μελέτης είναι οι ακόλουθες: Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου ακολουθεί την κατανομή Weibull. Οι δρόμοι, η εργασία και η μετατροπή περιοχών δεν έχουν συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς διότι θεωρούνται αμελητέες οι επιδράσεις τους. Η αντικατάσταση των στοιχείων της ανεμογεννήτριας βασίζεται στην αντιστοιχία του μισού του κιβωτίου ταχυτήτων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της συντήρησης. Τα υλικά που απαιτούνται για τη συντήρηση και τα οποία έχουν ληφθεί υπόψη είναι η αλλαγή των λαδιών και των λιπαντικών σε συχνότητα 5 ετών. Τέλος, όλα τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της ανεμογεννήτριας ανακτώνται και επαναχρησιμοποιούνται (Crawford, 2009).

Για τον σκοπό αυτής της μελέτης και τη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων, η περίοδος που επιλέχθηκε για την ανάλυση του κύκλου ζωής της ενέργειας είναι τα 20 έτη. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με την περίοδο ανάπτυξης της μελέτης του σχεδιασμού της ζωής των ανεμογεννητριών. Τα κύρια δομικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας (όπως ο πύργος και η βάση) είναι ικανά να είναι ανθεκτικά για πολλά χρόνια έξω από τα όρια αυτού, όμως, περισσότερες τακτικές αντικαταστάσεις πραγματοποιούνται για τα τμήματα όπως, το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια και τα πτερύγια. Τέλος, το ενεργειακό δίκτυο παράγει κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής

της κάθε ανεμογεννήτριας την ισοδύναμη μεικτή ενέργεια που εξάγεται από την ανεμογεννήτρια χωρίς την αρχική συσσωρευμένη ενέργεια (Crawford, 2009).

Όσον αφορά τη συσσωρευμένη ενέργεια, η διαδικασία των δεδομένων λαμβάνεται από την πιο πρόσφατη αυστραλέζικη βάση δεδομένων του SimaPro. Η ενέργεια συσχετίζεται με τα στοιχεία αντικατάστασης και επισκευής κατά τη διάρκεια της ζωής της ανεμογεννήτριας και υπολογίζεται στην κατανάλωση του 50% των ανεμογεννητριών που αντικαθιστώνται τα κιβώτια ταχυτήτων κατά τη διάρκεια της ζωής τους (ήτοι, 20 έτη). Συνεπώς, η συσσωρευμένη ενέργεια που απαιτείται για την αντικατάσταση του κιβωτίου ταχυτήτων ανέρχεται στο μισό και προστίθενται στην αρχική ενέργεια (Crawford, 2009).

Αναφορικά με την παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, αυτή επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες: τη γεωγραφική τοποθεσία, τον τύπο του συστήματος, το ύψος του πύργου, το δείκτη εξερχόμενης ενέργειας και την αποδοτικότητα του συστήματος. Η τοποθεσία εγκατάστασης των ανεμογεννητριών που μελετώνται είναι η νοτιοδυτική ακτή της Βικτόρια στην Αυστραλία (γεωγραφικό πλάτος = $37,7^{\circ}$ S). Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για την προαναφερόμενη περιοχή είναι 7,75m/s. Η ετήσια μεικτή εξερχόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες υπολογίζεται με τη χρήση συνεχόμενων ανεμολογικών δεδομένων της επιλεγμένης τοποθεσίας και των χαρακτηριστικών της καμπύλης ισχύος των δύο ανεμογεννητριών. Ο συντελεστής φόρτισης (capacity factor) είναι 34% και 33% για τις ανεμογεννήτριες των 850kW και 3MW αντίστοιχα. Τέλος, το σύστημα έχει απώλειες περίπου 10% της παραγόμενης μεικτής ενέργειας (Crawford, 2009).

Σχετικά με την ενεργειακή απόδοση αυτή υπολογίζεται από τον δείκτη ενεργειακής απόδοσης. Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης είναι ο λόγος της ετήσιας εξερχόμενης προς το δίκτυο ενέργειας επί το χρόνο ζωής της ανεμογεννήτριας (ήτοι, 20 έτη) προς το άθροισμα της αρχικής και της επαναλαμβανόμενης συσσωρευμένης ενεργειακής απαίτησης (Crawford, 2009).

Τέλος, όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αυτές σχετίζονται με τις απαιτήσεις ενέργειας για την κατασκευή, την ανέγερση, την εγκατάσταση και τα εν εξελίξει στάδια της συντήρησης των ανεμογεννητριών της συσσωρευμένης

ενεργειακής αξίας από τον ξεχωριστό δείκτη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που ανέρχεται σε 60kg/ GJ (Crawford, 2009).

Η συσσωρευμένη ενέργεια υπολογίζεται τουλάχιστον στο 74% της συνολικής για τις δύο ανεμογεννήτριες. Επίσης, η αναλογία της συσσωρευμένης ενέργειας για την ανεμογεννήτρια των 850kW ανέρχεται στο 25% λόγω του πύργου. Τέλος, για την ανεμογεννήτρια των 3MW η αναλογία της συσσωρευμένης ενέργειας ανέρχεται στο 59% (Crawford, 2009).

Η ετήσια μεικτή παραγόμενη ενέργεια των δύο ανεμογεννητριών υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά της καμπύλης ισχύος και τα συνεχή ανεμολογικά δεδομένα της επιλεγμένης τοποθεσίας. Τέλος, συνυπολογίζεται και η ενέργεια που απαιτείται για το στάδιο της συντήρησης των ανεμογεννητριών (Crawford, 2009).

Το δίκτυο του κύκλου ζωής της ενέργειας παράγει, κατά τη διάρκεια των 20 ετών, 588TJ και 2.049TJ για τις ανεμογεννήτριες των 850kW και 3MW αντίστοιχα. Το εύρος του δείκτη ενεργειακής απόδοσης ανέρχεται από 21 για την ανεμογεννήτρια των 850kW έως 23 για την ανεμογεννήτρια των 3MW (Crawford, 2009).

Ο συντελεστής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ισούται με 60kg CO₂-e/ GJ της συσσωρευμένης ενέργειας. Οι συνολικές αποφευχθείσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανεμογεννήτριες στο δίκτυο, υπολογίζονται από την αφαίρεση των αρχικών και επαναλαμβανόμενων συσσωρευμένων εκπομπών από το δίκτυο εκπομπών το οποίο απελευθερώνει εκπομπές από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ισοδύναμης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες (Crawford, 2009).

Τέλος, οι συνολικές αποφευχθείσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανεμογεννήτριες στο δίκτυο ισούται με 35.275t και 122.961t αέρια του θερμοκηπίου για τις ανεμογεννήτριες των 850kW και 3MW αντίστοιχα κατά τη διάρκεια των 20 ετών που είναι ο κύκλος ζωής τους. Επιπροσθέτως, οι ετήσιες αποφευχθείσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανεμογεννήτριες στο δίκτυο σχετικά με την ανεμογεννήτρια των 850kW είναι 1.763t CO₂-e και σχετικά με την ανεμογεννήτρια των 3MW είναι 6.148 t CO₂-e (Crawford, 2009).

Στην παραπάνω μελέτη περιγράφηκε πώς το μέγεθος της ανεμογεννήτριας επηρεάζει την απόδοσή της ως προς την παραγωγή ενέργειας, την παραγωγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τέλος πώς επηρεάζει κατά τη διάρκεια λειτουργίας της, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που δεν παράγονται εάν το ίδιο διάστημα λειτουργούσε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα. Παρακάτω θα περιγραφεί η AKZ μιας ανεμογεννήτριας των 2MW.

Το μοντέλο της ανάλυσης κύκλου ζωής που έχει αναπτυχθεί επιδιώκει να προσδιορίσει τους κύριους τύπους των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας με τη γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδοσίας (DFIG: Doubly Fed Inductor Generator). Η μελέτη έχει επικεντρωθεί στην ανεμογεννήτρια Gamesa μοντέλου G8X με ονομαστική ισχύ 2MW, η οποία έχει εγκατασταθεί στο αιολικό πάρκο Munilla. Αυτό το αιολικό πάρκο τοποθετείται στην αυτόνομη κοινότητα La Rioja στη Βόρειο Ισπανία και τοποθετείται σε ένα σύνθετο ανάγλυφο σε υψόμετρο 1.200m. Οι γενικές διευθύνσεις αυτής της ανεμογεννήτριας είναι 80m τα πτερύγια του δρομέα, 5.027m² η περιοχή σάρωσης και 70m ύψος. Αυτή η μελέτη αποτελεί την πρώτη φάση οριοθέτησης πιθανών τρόπων να επιτύχουν περιβαλλοντικές βελτιώσεις για αυτόν τον συγκεκριμένο τύπο της ανεμογεννήτριας. Για να επιτύχει αυτός ο σκοπός η ανάλυση αυτή αρχίζει από την ανεμογεννήτρια στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής της, από την κούνια στον τάφο, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα. Πρώτον την κατασκευή των κάθε επιμέρους τμημάτων της, ακολουθούν η μεταφορά της στο αιολικό πάρκο, η εγκατάστασή της, το ξεκίνημα της λειτουργίας της, η συντήρησή της και τέλος θέτοντάς την εκτός λειτουργίας με επακόλουθο την απόθεση των απόβλητων κατάλοιπων της (Martinez et al., 2009).

Η λειτουργική μονάδα του συστήματος έχει επιλεγεί να είναι η 1kWh που παράγεται από την ανεμογεννήτρια με σκοπό να αναδειχθεί η συσχέτιση ανάμεσα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στην παραγωγή ηλεκτρισμού (Martinez et al., 2009).

Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από πολλά ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά και μηχανικά μέρη και στοιχεία, όπως για παράδειγμα η άτρακτος η οποία με τη σειρά της αποτελείται από επιμέρους στοιχεία ή και ηλεκτρικά μέρη. Επίσης, είναι δύσκολο από τους προμηθευτές να αντλήσεις δεδομένα και πληροφορίες για τα στοιχεία και τα μέρη της ανεμογεννήτριας αναλυτικά και για το λόγο αυτό θα επικεντρωθεί η μελέτη

στα θεμέλια, στον πύργο, στην άτρακτο και στο δρομέα. Τέλος, θα χρησιμοποιηθούν οι βάσεις δεδομένων του λογισμικού SimaPro (Martinez et al., 2009).

Η βάση της θεμελίωσης έχει όγκο 270m^3 από σκυρόδεμα και συνολικό βάρος 700t και χρησιμοποιούνται 25t από σίδηρο για τον οπλισμό του σκυροδέματος. Ο χαλύβδινος διασυνδετικός σωλήνας χρησιμοποιείται για να συνδέσει και να στηρίξει τον πύργο της ανεμογεννήτριας βάρους 15t. Δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι πιθανές επιπτώσεις από τη θεμελίωση της ανεμογεννήτριας. Όταν η ανεμογεννήτρια φτάσει στο τέλος της ζωής της, έχει θεωρηθεί ότι τα θεμέλια θα αφεθούν στην περιοχή καλύπτοντάς τα με στρώμα οργανικού εδάφους 20cm - 30cm (Martinez et al., 2009).

Όσον αφορά την κατασκευή του πύργου της ανεμογεννήτριας μόνο η διαδικασία της διαμόρφωσης και της συγκόλλησης του χάλυβα μελετάται. Η επεξεργασία της επιφάνειας του πύργου θεωρείται μη συναφής σχετικά με το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης. Μια φορά ολόκληρος ο πύργος συναρμολογείται και το μέγεθός του ανέρχεται στα 67m και το βάρος του στους 143t. Στην ανεμογεννήτρια κατά τη διάρκεια λειτουργίας της καμία εργασία συντήρησης στον πύργο της δεν παρέχεται. Στην διαδικασία που τεθεί η ανεμογεννήτρια εκτός λειτουργίας, ο πύργος και τα υλικά υφίστανται τη διαδικασία της ανακύκλωσης από τα οποία εκτιμάται ότι χάνονται το 10%. Η μέση αναλογία των υλικών που χάνονται είναι το 10% και εικάζεται ότι προέρχεται από τη διαδικασία για την ανακύκλωση (Martinez et al., 2009).

Η κατασκευή της ατράκτου αποτελείται από τη σύνθεση της βάσης και την επίστρωση της ατράκτου, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά (προεμποτισμένα). Στο εσωτερικό της ατράκτου είναι τα κύρια συστατικά της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι υπεύθυνα να καλύπτουν τα μηχανικά περιστροφικά τμήματα του δρομέα στην ηλεκτρική ισχύ. Τα βασικά συστατικά είναι ο κύριος κινητήριος άξονας, το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια και ο μετασχηματιστής. Λαμβάνοντάς τα μαζί, το συνολικό βάρος αυτών των συστατικών ανέρχεται στους 50t. Κατά τη διάρκεια της φάσης της χρήσης και της συντήρησης, έχει επιτραπεί η πλήρης αλλαγή λαδιών στο κιβώτιο ταχυτήτων και στο σύστημα ψύξης επιπλέον πραγματοποιείται τακτική λίπανση των γραναζιών και άλλων μηχανικών τμημάτων του συστήματος. Τέλος, στη φάση που θέτεται η ανεμογεννήτρια εκτός λειτουργίας,

θεωρείται ότι, κανένα συστατικό δεν επαναχρησιμοποιείται και ότι υφίστανται τη διαδικασία της ανακύκλωσης, με απώλεια υλικών της τάξης του 20% (Martinez et al., 2009).

Ολόκληρη η μονάδα του δρομέα ζυγίζει περίπου 35t. Κάθε πτερύγιο έχει μήκος 39m και βάρος 6,5t και είναι κατασκευασμένο από σύνθετο (προεμποτισμένο) υλικό. Η πλήμνη είναι κατασκευασμένη από χυτοσίδηρο και ζυγίζει γύρω στους 14t. Κατά τη διαδικασία που τίθεται εκτός λειτουργίας στο τέλος της διάρκειας ζωής του, η ανακύκλωση του δρομέα επιτρέπει την ταφή των σύνθετων (προεμποτισμένων) υλικών από τον κώνο και τα πτερύγια (Martinez et al., 2009).

Οι παραδοχές της AKZ είναι εν συντομία οι ακόλουθες. Πρώτον, οι μελετητές υιοθετούν παρόμοιες βάσεις δεδομένων από το λογισμικό SimaPro7.0, στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα τα στοιχεία και υποσυστατικά των τμημάτων της συγκεκριμένης τοποθεσίας της ανεμογεννήτριας. Δεύτερον, όλα τα δεδομένα για τον ηλεκτρισμό λαμβάνονται από τις βάσεις δεδομένων του SimaPro. Τρίτον, η ανεμογεννήτρια έχει κύκλο ζωής 20 χρόνια. Τέταρτον, η ετήσια παραγωγή της ανεμογεννήτριας είναι 4GWh. Πέμπτον, κατά τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας προβλέπεται μια αντικατάσταση της γεννήτριας. Τέλος, έκτον, θεωρείται ότι η εταιρεία κατασκευής της ανεμογεννήτριας ετοιμάζει το έργο που θέτει εκτός λειτουργίας το αιολικό πάρκο και συνεπώς τη μετέπειτα διαχείριση των αποβλήτων όπως το ποσοστό της ανακύκλωσης (Martinez et al., 2009).

Η κατανομή χρειάζεται όταν η διαδικασία παράγει περισσότερα από ένα προϊόντα, ήτοι, πολυλειτουργική διαδικασία. Επιπροσθέτως, η κατανομή αντανakλά τη φυσική σχέση μεταξύ των επιβαλλόμενων περιβαλλοντικών φορτίων και των λειτουργιών διανομής από το σύστημα. Αυτή η μελέτη δεν θεωρεί την κατανομή σε κάθε στοιχείο ή διαδικασία, αφού μόνο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται ως λειτουργία του συστήματος. Αναφορικά με τις κατηγορίες των επιπτώσεων αυτές που υιοθετούνται είναι οι οικολογικές επιπτώσεις της καρκινογένεσης, των οργανικών και ανόργανων ουσιών που επιδρούν στο αναπνευστικό σύστημα, την παγκόσμια υπερθέρμανση, την ακτινοβολία, την εξασθένιση της στρατοσφαιρικής ζώνης, την οικοτοξικότητα, την οξίνιση και τον ευτροφισμό, τις χρήσεις γης, τις μεταλλικές ουσίες και τέλος τα ορυκτά καύσιμα. Η λίστα που επιλέχθηκαν οι κατηγορίες των

επιπτώσεων και οι μέθοδοι εκτίμησης προέρχεται από τους οδηγούς Eco-Indicators (Martinez et al., 2009).

Η Gamesa A/S έχει επιλέξει μια αξιόπιστη ποιότητα των δεδομένων μέσω του συστήματος διαχείρισης περιβάλλοντος. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή του πύργου, της ατράκτου και των πτερυγίων. Τα δεδομένα για τα μεταλλικά τμήματα συλλέχθηκαν από τους προμηθευτές. Τα δεδομένα της κατασκευής των θεμελίων είναι βασισμένα στη γνώση και την εμπειρία της Grupo Eolicas Riojanas (GER), όπου έχουν αποκτηθεί πέρα των χρόνων της προώθησης των αιολικών πάρκων. Πληροφορίες για τη μεταφορά, τη συναρμολόγηση, την ανέγερση, την εγκατάσταση, τη συντήρηση και το να τεθεί εκτός λειτουργίας η ανεμογεννήτρια έχουν αποκτηθεί από τη εταιρεία Grupo Eolicas Riojanas, τους ποικίλους υπεργολάβους και τα διάφορα τμήματα της Gamesa A/S (Martinez et al., 2009).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης κύκλου ζωής των τεσσάρων φάσεων, ήτοι, του σταδίου κατασκευής, του σταδίου μεταφοράς, του σταδίου της χρήσης και του σταδίου της απόθεσης.

Στη φάση κατασκευής κάθε συστατικό της ανεμογεννήτριας ερευνάται ξεχωριστά. Επιπλέον, στη διαδικασία κατασκευής μελετάται προσεκτικά η απαίτηση σε πρώτες ύλες και η χρήση της ενέργειας που απαιτείται. Σε αυτή τη φάση οι κατηγορίες των επιπτώσεων που συμβάλλουν σημαντικά στο περιβάλλον είναι οι ανόργανες ουσίες που επιδρούν στο αναπνευστικό σύστημα, η κλιματική αλλαγή και η μείωση των πηγών μετάλλων. Σε κάθε περίπτωση τη σπουδαιότερη συνεισφορά επιπτώσεων στο περιβάλλον προέρχεται κατά την κατασκευή των θεμελίων και του δρομέα. Τέλος, αναλύεται η συνεισφορά του κάθε πρωτογενούς υλικού της ανεμογεννήτριας σε όλη τη διαδικασία κατασκευής, το σύνθετο (προεμποτισμένο) υλικό είναι το στοιχείο το οποίο έχει τη σπουδαιότερη επίπτωση στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, ενώ ο χάλυβας και ο χαλκός επιδρούν σημαντικά στη μείωση των πηγών μετάλλων (Martinez et al., 2009).

Στη φάση μεταφοράς το πρώτο που ερευνάται είναι η μεταφορά των ποικίλων συστατικών για την κατασκευή, τη συναρμολόγηση και το «χτίσιμο» της ανεμογεννήτριας. Επιπροσθέτως, σε αυτή τη φάση συμπεριλαμβάνεται και η

μεταφορά της ανεμογεννήτριας στην τελική θέση της στο αιολικό πάρκο. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνονται και οι επιπτώσεις που προκαλούν οι εκπομπές από την εξόρυξη και την παραγωγή των καυσίμων και την παραγωγή ενέργειας από τα καύσιμα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Επίσης, για τη μεταφορά έχει θεωρηθεί ως λειτουργική μονάδα τα «tkm» (τονοχιλιόμετρα), ήτοι, η μεταφορά 1000kg αγαθών πέρα του 1km. Ακόμη, ο συνολικός υπολογισμός για τη μεταφορά είναι 62.546tkm με μια θεωρητική ενεργειακή κατανάλωση των 180.000MJ. Αναφορικά με τις κατηγορίες επιπτώσεων σε αυτή τη φάση η πιο σημαντική είναι οι ανόργανες ουσίες που επηρεάζουν το αναπνευστικό σύστημα, ακολουθούν, η κλιματική αλλαγή και η οξίνιση/ευτροφισμός. Τέλος, σε ολόκληρη τη φάση της μεταφοράς οι επιπτώσεις δεν συγκρίνονται με τις επιπτώσεις στη φάση της κατασκευής, αφού είναι πολύ περιορισμένες οι επιδράσεις (Martinez et al., 2009).

Στη φάση της χρήσης της ανεμογεννήτριας, οι κατηγορίες των επιπτώσεων, που είναι οι πιο σπουδαίες, είναι οι ανόργανες ουσίες που επιδρούν στο αναπνευστικό σύστημα και η μείωση των πηγών μετάλλων. Η τελευταία είναι βασικά λόγω της αντικατάστασης συστατικών κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (Martinez et al., 2009).

Τέλος, στη φάση της απόθεσης των αποβλήτων μετά το πέρας της λειτουργίας των ανεμογεννητριών, εκτιμώνται τα υλικά που οδηγούνται απευθείας για ταφή, όπως, το σκυρόδεμα και το σύνθετο (προεμποτισμένο) υλικό. Τα μέταλλα που έχουν εξορυχτεί οδηγούνται για ανακύκλωση και τα λάδια για καύση. Σύμφωνα με το σχέδιο που τίθενται οι ανεμογεννήτριες εκτός λειτουργίας και δημιουργείται κατ' επέκταση για το αιολικό πάρκο, τα θεμέλια δε θα μετακινηθούν αλλά μάλλον θα αφεθούν στο μέρος και θα καλυφθούν με ένα στρώμα οργανικού εδάφους πάχους 30cm. Με αυτόν τον τρόπο, ελπίζεται ότι καμία ρύπανση δε θα προκληθεί από τον βαρύ εξοπλισμό, όπως οι εκσκαφείς και τα φορτηγά, αν και αυτό συνεπάγεται μια σημαντική έλλειψη στοιχείων (Martinez et al., 2009).

Εν τέλει, η μέση παραγωγή που δημιουργείται από το αιολικό πάρκο είναι 2000 ώρες πλήρους φορτίου κάθε έτος. Με αυτόν τον τρόπο, η ανεμογεννήτρια των 2MW εκτιμάται ότι εξάγει ετησίως 4GWh. Αυτή η εξαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια επιτρέπει

τη μείωση των επιπέδων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αφού μειώνει την παραγωγή ηλεκτρισμού από τις συμβατικές μονάδες (Martinez et al., 2009).

Στην παραπάνω ανάλυση κύκλου ζωής μελετήθηκε μια ανεμογεννήτρια των 2MW και κατόπιν θα περιγραφεί μια μελέτη AKZ δύο διαφορετικών ανεμογεννητριών της τάξης των 2MW επίσης.

Το βασικό αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι να υπολογίσει τις σχετικές παραμέτρους, οι οποίες σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, όπως οι εκπομπές CO₂ και ο χρόνος ανταπόδοσης της ενέργειας των δύο διαφορετικών ανεμογεννητριών της τάξης των 2MW οι οποίες εγκαθίστανται σε δύο ιδιαίτερες τοποθεσίες. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με άλλες ενεργειακές πηγές οι οποίες βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα και εκτιμάται το δυναμικό των αιολικών εγκαταστάσεων. Η πρώτη ανεμογεννήτρια είναι 2MW με κιβώτιο ταχυτήτων. Η αιολική εγκατάσταση είναι στη φάση λειτουργίας. Όμως τα ακριβή και αξιόπιστα ανεμολογικά δεδομένα είναι διαθέσιμα από τον κατασκευαστή και τις μετρήσεις στη θέση όπου βρίσκεται η ανεμογεννήτρια. Η δεύτερη ανεμογεννήτρια που μελετάται είναι της τάξης των 1,8MW χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτή η ανεμογεννήτρια είναι έτοιμη προς λειτουργία (Guezuraga et al., 2012).

Σε αυτή την AKZ, ολόκληρος ο κύκλος ζωής της ανεμογεννήτριας θεωρείται, από την κατασκευή των συστατικών έως το στάδιο που η ανεμογεννήτρια τίθεται εκτός λειτουργίας μετά το τέλος της ζωής της. Επιπλέον, στις φάσεις του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας συμπεριλαμβάνονται η μεταφορά της στο σημείο εγκατάστασης, η διαδικασία της ανέγερσής της, η λειτουργία της και οι δύο προαναφερόμενες φάσεις (Guezuraga et al., 2012).

Στη φάση κατασκευής περιλαμβάνονται διαδικασίες όπως, η εξόρυξη των μεταλλευμάτων, η διύλιση, η επεξεργασία και η κατασκευή των κύριων συστατικών της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι τα ακόλουθα. Ο δρομέας, ο οποίος αποτελείται από την πλήμνη, τον κώνο και 3 πτερύγια. Η άτρακτος, η οποία περιβάλλει τη γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων, τους μετασχηματιστές και τα ηλεκτρονικά συστήματα. Επίσης, είναι ο πύργος, τα θεμέλια και τα καλώδια, τα οποία συνδέουν την ανεμογεννήτρια με το δίκτυο (Guezuraga et al., 2012).

Στη φάση μεταφοράς και στο χώρο ανέγερσης της ανεμογεννήτριας, συνίσταται η μεταφορά των συστατικών της ανεμογεννήτριας στο αιολικό πάρκο και η ανέγερσή της σε αυτό (Guezuraga et al., 2012).

Στη φάση λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνονται συνηθισμένες δράσεις με σκοπό να διατηρήσουν τη μονάδα σε τάξη και να επισκευαστούν οι μηχανισμοί, οι οποίοι πιθανόν να είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας. Το πρόγραμμα συντήρησης καλύπτει τη αλλαγή λαδιών, λιπάνσεων καθώς και τη μεταφορά των εργατών κατά τη διάρκεια των επισκευαστικών λειτουργιών. Τέλος, στο κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας αντικαθίστώνται ορισμένα τμήματα όπου απαιτηθεί με ανταλλακτικά (Guezuraga et al., 2012).

Τέλος, στη φάση αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης, εμπεριέχεται η αποσυναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας, η μεταφορά με φορτηγό των συστατικών της είτε στο χώρο απόθεσής τους, είτε σε κέντρο ανακύκλωσής τους σε ορισμένες περιπτώσεις (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα αναφερθούν οι υποθέσεις και οι περιορισμοί της AKZ.

Ο χρόνος ζωής των ανεμογεννητριών προβλέπεται να είναι 20 έτη. Η ανεμογεννήτρια από μόνη της καθορίζει τους περιορισμούς των ορίων του συστήματος, ενώ οι μετασχηματιστές και οι υποσταθμοί δεν περιλαμβάνονται. Κατόπιν, αγνοούνται οι απώλειες στο δίκτυο από τους μετασχηματιστές και συνεπώς η κατανομή της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο. Επιπροσθέτως, δεν συμπεριλαμβάνονται δεδομένα που αφορούν το βάψιμο του δρομέα, της ατράκτου και του πύργου, καθώς οι μελετητές θεωρούν απίθανο να λάβουν δεδομένα από τους κατασκευαστές και τέλος πιστεύουν ότι θα έχουν περιορισμένη συνάφεια στο τελικό αποτέλεσμα (Guezuraga et al., 2012).

Οι μελετητές έχουν επιλέξει το λογισμικό GEMIS (Global Emission Model of Integrated Systems) για να πραγματοποιήσουν την AKZ, το οποίο περιγράφεται εν συντομία παρακάτω.

Η διεξαγωγή της AKZ, προσομοιώνεται στο λογισμικό GEMIS (Global Emission Model of Integrated Systems), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη για αυτό το σκοπό. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη λεπτομερή περιγραφή όλων των βημάτων που περιλαμβάνονται στις διαδικασίες του συστήματος ενέργειας, από τον υπολογισμό της αρχικής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι τον προσδιορισμό των διαδικασιών των εκπομπών, της μάζας και της ροής της ενέργειας (Guezuraga et al., 2012).

Το μοντέλο της AKZ μπορεί να πραγματοποιηθεί για μια ποικιλία από εκπομπές και μπορεί να καθορίσει τις πηγές προς χρήση. Επιπλέον, η βάση δεδομένων παρέχει πληροφορίες για τους μεταφορείς ενέργειας (αλυσιδωτές διεργασίες και δεδομένα για τα καύσιμα). Επιπροσθέτως, η βάση δεδομένων προσφέρει τις διαφορετικές για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Επίσης, το λογισμικό αυτό καλύπτει και τους μεταφορείς ενέργειας από συμβατικές πηγές (λιθάνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα αστικά απόβλητα, το ουράνιο (πυρηνική ενέργεια), τη βιομάζα και τέλος το υδρογόνο (ενέργεια που παράγεται από την καύση υδρογόνου) (Guezuraga et al., 2012).

Τα δεδομένα που απαιτούνται να εισαχθούν στο προαναφερόμενο λογισμικό είναι, υλικά και μάζες κατά προσέγγιση, ισχύς και κύκλος της απόδοσης, αποστάσεις μεταφορών και μέθοδοι καθώς και άλλες ενεργειακές απαιτήσεις. Τέλος, υπάρχουν ορισμένα δεδομένα που λαμβάνονται από τις βάσεις δεδομένων, όπως η ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών και η ενέργεια που καταναλώνεται στη φάση κατασκευής ανά κιλό (kg) (Guezuraga et al., 2012).

Οι κατηγορίες εκτίμησης των επιπτώσεων είναι τρεις, ήτοι, το Δυναμικό Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης, οι Αθροιστικές Απαιτήσεις Ενέργειας και ο Χρόνος Ανταπόδοσης της Ενέργειας (Guezuraga et al., 2012).

Το δυναμικό της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι ένας δείκτης, οποίος σχετίζεται με τη συμβολή των διαδικασιών στην κλιματική αλλαγή. Με άλλα λόγια, είναι ένα μέτρο το οποίο δίνει τη μάζα των αερίων του θερμοκηπίου εκτιμώντας το πόσο συνεισφέρουν στην παγκόσμια υπερθέρμανση. Μια σχετική κλίμακα σύγκρισης των εν λόγω αερίων αποτελεί η ίδια η μάζα του διοξειδίου του άνθρακα. Τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου είναι το CO₂, το CH₄ και N₂O. Αυτά μετριοούνται σε ισοδύναμα

kgCO₂/kWh. Το ισοδύναμο CO₂ (CO₂e) είναι το αποτέλεσμα της συσσώρευσης των αερίων του θερμοκηπίου, το οποίο λαμβάνεται υπόψη ως το αντίστοιχο του δυναμικού της παγκόσμιας υπερθέρμανσης (Guezuraga et al., 2012).

Η αθροιστική απαίτηση σε ενέργεια είναι η βασική χρονική περίοδος για την εκτίμηση της ενέργειας σχετικά με το τμήμα της ανάλυσης του κύκλου ζωής για τα ενεργειακά συστήματα. Η συνολική αθροιστική ενεργειακή απαίτηση περιλαμβάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις που χρειάζονται για τη διανομή των προϊόντων ή των υπηρεσιών και η αξία της μετριέται ως αρχική ενέργεια σε kWh (Guezuraga et al., 2012).

Ο χρόνος ανταπόδοσης της ενέργειας είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη χρήση της μέτρησης της αξίας του ενεργειακού δικτύου της ανεμογεννήτριας. Δηλαδή, πόσο χρόνο η μονάδα παραγωγής έχοντας λειτουργήσει παράγει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ζωής της. Υπολογίζεται ως η αναλογία της συνολικής αρχικής απαίτησης σε ενέργεια του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της προς την ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού από το σύστημα. Επιπλέον, αυτός ο δείκτης καθορίζεται από τη συνολική αθροιστική ενεργειακή απαίτηση διαχωρισμένη από τη συνολική ετήσια παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια, όπου οι συνολικές αθροιστικές ενεργειακές απαιτήσεις αποτελούνται από την ενέργεια που χρειάζεται για την παράγωγή της, τη μεταφορά της, τη συντήρησή της και την απόθεσή της μετά το πέρας του κύκλου ζωής της (Guezuraga et al., 2012).

Για την ανεμογεννήτρια των 2MW δεν έχουν επισημανθεί διαθέσιμα δεδομένα για τη λειτουργία της, αλλά τα δεδομένα παρέχονται από τους κατασκευαστές, τυπικά για μια καλή ανεμολογικά τοποθεσία που χρησιμοποιείται. Εικάζεται ότι η προαναφερόμενη ανεμογεννήτρια παράγει 5,98GWh το έτος για 2.990 ώρες λειτουργίας. Κατ' αντίθεση, είναι διαθέσιμα τα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας για την ανεμογεννήτρια των 1,8MW. Έτσι λοιπόν, για 1.822 ώρες ετήσιας λειτουργίας εικάζεται ότι η συνολική ετήσια παραγωγή της είναι 3,27GWh (Guezuraga et al., 2012).

Η απογραφή δεδομένων καλύπτει τις πηγές των εισαγόμενων μετάλλων, άμμου, σκυροδέματος, γυαλιού και πετροχημικών προϊόντων καθώς και την ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή των διαφορετικών στοιχείων της ανεμογεννήτριας (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα περιγραφούν τα κύρια χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών των 2MW και 1,8MW.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας των 2MW είναι τα ακόλουθα. Αυτή η ανεμογεννήτρια έχει 3 πτερύγια τα οποία είναι αντίθετα στον άνεμο σε οριζόντιο άξονα. Επιπλέον, χαρακτηρίζεται από έναν μεγάλο δρομέα διαμέτρου 90m με μεγάλη επιφάνεια σαρώσεως και ύψος πλήμνης 105m. Τέλος, η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης είναι 7,4m/s (Guezuraga et al., 2012).

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας των 1,8MW είναι τα ακόλουθα. Αυτή η ανεμογεννήτρια έχει 3 πτερύγια και ένα πλάτος το οποίο ελέγχει το δρομέα. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μια σύγχρονη γεννήτρια. Επίσης, αυτού του είδους η ανεμογεννήτρια δεν έχει κιβώτιο ταχυτήτων. Ακόμη, ο δρομέας είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη γεννήτρια από τη βάση της. Τέλος, ο δρομέας έχει διάμετρο 70m και το ύψος της πλήμνης είναι 66m με μέση ταχύτητα ανέμου 6 m/s (Guezuraga et al., 2012).

Τα πτερύγια κατασκευάζονται από υλικά τα οποία αποτελούνται από 60% υαλόνημα και 40% εποξική ρητίνη κατά προσέγγιση. Η πλήμνη και ο κώνος κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο και ενισχυμένο πολυεστερικό υαλόνημα αντίστοιχα. Η επικάλυψη της ατράκτου κατασκευάζεται από υαλόνημα, πλαστικό και χάλυβα. Η γεννήτρια έχει ως βασικά κατασκευαστικά υλικά τον χάλυβα και τον χαλκό. Το κιβώτιο ταχυτήτων έχει ως κατασκευαστικά υλικά τον χυτοσίδηρο και το ανοξείδωτο ατσάλι. Ο πύργος κατασκευάζεται από χάλυβα. Τέλος, τα θεμέλια κατασκευάζονται από ενισχυμένο σκυρόδεμα και από ενισχυμένο χάλυβα (Guezuraga et al., 2012).

Κάθε ανεμογεννήτρια μεταφέρεται από το εργοστάσιο, όπου κατασκευάζεται με φορτηγό αυτοκίνητο. Η απόσταση που καλύπτει η ανεμογεννήτρια των 2MW είναι 2.700m, ενώ η απόσταση που καλύπτει η ανεμογεννήτρια των 1,8MW είναι 1.100m.

Η μονάδα μέτρησης είναι τα τονοχιλιόμετρα (tkm). Δηλαδή, εάν το φορτίο ζυγίζει 10t και η απόσταση είναι 2.700m τότε αυτό ισούται με 27.000tkm (Guezuraga et al., 2012).

Η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας είναι για παράδειγμα στο ξεκίνημα της μηχανής, στο λειτουργικό σύστημα φρεναρίσματος καθώς και στην στροφή και στον έλεγχο της κλίσης του δρομέα. Η κατανάλωση ενέργειας κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας είναι φυσιολογική και εκτιμάται στο 1% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας από τη γεννήτριά της. Για τις δύο ανεμογεννήτριες η συντήρηση εκτιμάται ότι πραγματοποιείται 3 φορές το χρόνο στις δομές που υπάρχουν τα λάδια και οι λιπαντικές ουσίες. Η απόσταση που καλύπτει η παραπάνω συντήρηση εικάζεται ότι είναι 100km κάθε διαδρομή. Ο χρόνος ζωής των ανεμογεννητριών αναμένεται να είναι τα 20 έτη. Στη διάρκεια των 20 ετών, η ανεμογεννήτρια με το κιβώτιο ταχυτήτων (2MW) αναμένεται να χρειαστεί να το αντικαταστήσει κάθε 7 χρόνια. Σε αντίθεση, η άλλη χωρίς τον μειωτήρα (1,8MW) αναμένεται να χρειαστούν αντικατάσταση τα δευτερεύοντα τμήματα της γεννήτριάς της (Guezuraga et al., 2012).

Η κατανάλωση ενέργειας κατά την απεγκατάσταση της ανεμογεννήτριας είναι φυσιολογική και εκτιμάται στο 2% της συνολικής ενέργειας που παράχθηκε από τη γεννήτριά της. Αναφορικά για τη διαχείριση των αποβλήτων αυτή είναι η ακόλουθη. Τα υλικά ανοξειδωτο ατσάλι, χυτοσίδηρος και χαλκός οδηγούνται το 90% προς ανακύκλωση και το υπόλοιπο 10% προς ταφή. Το σκυρόδεμα οδηγείται 100% προς ταφή, ήτοι, θάβεται επιτόπου αφού είναι αυτό που περιέχεται στη θεμελίωση της ανεμογεννήτριας. Τέλος, τα υλικά εποξική ρητίνη, υαλόνημα και πλαστικό οδηγούνται το 100% προς καύση (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της AKZ.

Η συνολική αθροιστική ενέργεια που απαιτείται για την ανεμογεννήτρια των 2MW είναι σαφώς περισσότερη από την ανεμογεννήτρια των 1,8MW. Όμως, η πρώτη ανεμογεννήτρια έχει τις περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις από τη δεύτερη. Η ενέργεια που παράγεται από τις δυο ανεμογεννήτριες πρέπει να λαμβάνεται υπόψη

στον καθορισμό των τελικών επιπτώσεων. Επιπλέον, βρέθηκε ότι η ανεμογεννήτρια των 2MW παράγει περισσότερη ενέργεια σε σχέση με την ανεμογεννήτρια των 1,8MW, διότι εγκαταστάθηκε σε καλύτερη τοποθεσία με ισχυρούς και περισσότερο αμετάβλητους ανέμους καθώς έχει υψηλότερο ύψος πλήμνης και ισχυρότερο κινητήρα. Επίσης, ο χρόνος ενεργειακής ανταπόδοσης για τις δυο ανεμογεννήτριες είναι 7,8 και 7,7 μήνες για την ανεμογεννήτρια των 2MW και των 1,8MW αντίστοιχα. Ακόμα, και οι δυο ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν όμοια αποτελέσματα αν και η ανεμογεννήτρια που δεν έχει μειωτήρα (1,8MW) προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα αναφορικά με τις εκπομπές CO₂e. Επιπροσθέτως, η μεγαλύτερη συμβολή της συσσωρευμένης ενεργειακής απαίτησης προέρχεται από το στάδιο της κατασκευής και στις δύο περιπτώσεις, καταλήγοντας στις τιμές των 79,2% και 89,5% του συνολικού κύκλου για την ανεμογεννήτρια των 2MW και των 1,8MW αντίστοιχα. Σε αντίθεση με τη φάση λειτουργίας που η συμβολή της συσσωρευμένης ενεργειακής απαίτησης είναι μικρότερη της τάξης του 1,2%. Τέλος, από την ανάλυση κατά το στάδιο της κατασκευής διαπιστώθηκαν οι πηγές των μεγαλύτερων φορτίων (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τη φάση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

Οι υπολογισμοί για τον χρόνο ενεργειακής ανταπόδοσης και για τις εκπομπές CO₂ λαμβάνονται από την ανεμογεννήτρια των 2MW λαμβάνοντας υπόψη το πλήρες ωριαίο φορτίο. Επιπλέον, και στις δύο περιπτώσεις των ανεμογεννητριών που αναλύθηκαν η συνολική περίοδος ενεργειακής ανταπόδοσης κυμαίνεται από 0,65 χρόνια σε 1,13 χρόνια από τη διάρκεια λειτουργίας του (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τη διαχείριση των αποβλήτων μετά το πέρας της λειτουργίας τους.

Το ανοξείδωτο ατσάλι, ο χυτοσίδηρος και ο χαλκός θεωρείται ότι ανακυκλώνονται, ενώ η παραγωγή της εποξικής ρητίνης, του πλαστικού, του υαλονήματος και του σκυροδέματος προέρχεται από αργό πετρέλαιο ή μεταλλεύματα. Για τη διαχείριση των προαναφερόμενων υλικών ως απόβλητα έχουν δημιουργηθεί τρία σενάρια, τα οποία είναι τα ακόλουθα. Το πρώτο αφορά τη χειρότερη περίπτωση ανακύκλωσης, το

δεύτερο την καλύτερη περίπτωση ανακύκλωσης και το τελευταίο τη χειρότερη περίπτωση διαχείρισης των αποβλήτων κατά τη φάση λειτουργίας. Στην πρώτη περίπτωση θεωρείται ότι η κατασκευή της ανεμογεννήτριας των 2MW πραγματοποιείται στην Ευρώπη και τα υλικά δεν ανακυκλώνονται και στη δεύτερη περίπτωση ανακυκλώνονται. Τέλος, στην τελευταία περίπτωση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της καταρρέει και περικόπτεται το δίκτυο. Στο πρώτο σενάριο, τα gCO_2/kWh αυξάνονται από 9,78 σε 17,35 και η χρονική ανταπόδοση της ενέργειας αυξάνεται από 0,65 σε 1,15 (χρόνια) εάν συγκριθεί με το δεύτερο σενάριο. Τέλος, στο τελευταίο σενάριο τα gCO_2/kWh είναι 1,99 και η χρονική ανταπόδοση της ενέργειας είναι 29,38 (χρόνια) (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τη μεταφορά των ανεμογεννητριών.

Η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας στην Κίνα προκαλεί μεγαλύτερη επίπτωση από την αντίστοιχη στη Δανία και τη Γερμανία. Ο χρόνος ενεργειακής ανταπόδοσης και οι εκπομπές CO_2e για την ανεμογεννήτρια των 2MW αυξάνονται, αφού αυξάνονται και οι μεταφορικές απαιτήσεις στην περίπτωση της Κίνας με αυξημένες τις τελικές εκπομπές στα $38,33\text{gCO}_2/\text{kWh}$ (Guezuraga et al., 2012).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης της αιολικής ενέργειας με άλλες πηγές ενέργειας.

Οι πυρηνικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας είναι οι μόνες που κάνοντας χρήση τις πηγές ορυκτών καυσίμων για τα προαναφερόμενα στάδια του κύκλου ζωής έχουν τις λιγότερες εκπομπές CO_2 από τις ανανεώσιμες πηγές, όπως τα φωτοβολταϊκά. Παρ' όλα αυτά, η υδροηλεκτρική και η αιολική ενέργεια ακόμα προσφέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι αιτίες για τις υψηλές τιμές λαμβάνονται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου είναι οι υψηλά ενεργειακά εντατικές διαδικασίες σχετικά με την εξόρυξη του πυριτίου και των υψηλών απαιτήσεων σε υλικά λόγω των ηλιοστατών και το γεγονός ότι, αυτές οι εγκαταστάσεις υποτίθεται ότι είναι στη Γερμανία, όπου η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι η βέλτιστη. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από άνθρακα παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες εκπομπές CO_2 , παρ' όλο που η καύση άνθρακα στις μονάδες αυτές παρουσιάζουν εκπομπές κατά

πολύ υψηλότερες (228 gCO₂/kWh σε σχέση με τα παραγόμενα 1.046 gCO₂/kWh) (Guezuraga et al., 2012).

Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σειρά έχει η ερμηνεία του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας, η οποία θα αναφερθεί παρακάτω.

Ένα από τα αποτελέσματα της AKZ είναι ότι οι αναμενόμενες επιπτώσεις προέρχονται από το στάδιο της κατασκευής (84%) και της μεταφοράς (7%) της ανεμογεννήτριας. Η φάση της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας έχει αμελητέες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, καλύτερα είναι να ανακυκλώνονται τα υλικά τα οποία είναι κατάλληλα διότι μειώνεται το περιβαλλοντικό φορτίο. Τέλος, ο πύργος, η άτρακτος και τα θεμέλια συνεισφέρουν σημαντικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά στο τελικό αποτέλεσμα μειώνονται λόγω της ανακύκλωσης του χάλυβα (Guezuraga et al., 2012).

Η παραπάνω AKZ παρουσίασε τις διαφορές που έχουν δυο ανεμογεννήτριες με περίπου ίδια ονομαστική ισχύ αλλά η μία είχε κιβώτιο ταχυτήτων και η άλλη δεν είχε μειωτήρα. Στην παρακάτω AKZ θα παρουσιαστούν οι διαφορές των ανεμογεννητριών με ονομαστική ισχύ 4,5MW και 250W.

Η μεθοδολογία που ακολουθούν οι μελετητές για την AKZ είναι η μεθοδολογία με τα τέσσερα στάδια που έχει αναφερθεί προηγουμένως πολλάκις. Η μέθοδος κατηγοριοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που χρησιμοποιείται είναι η Impact 2002+, η οποία καταλήγει σε 4 βασικές κατηγορίες. Οι 4 βασικές κατηγορίες είναι η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των φυσικών πόρων, η ποιότητα των οικοσυστημάτων και η ανθρώπινη υγεία (Tremeac and Meunier, 2009).

Αναλυτικότερα, η μέθοδος Impact 2002+, προτείνει έναν εφικτό τρόπο σύνδεσης όλων των τύπων των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων διαμέσου 14 υποκατηγοριών σε 4 βασικές κατηγορίες επιπτώσεων. Αυτές οι 4 βασικές κατηγορίες είναι οι προαναφερόμενες, όπου κάτωθι περιγράφονται λεπτομερέστερα. Η κλιματική αλλαγή ανταποκρίνεται στο δυναμικό της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Οι εκπομπές στην κλιματική αλλαγή που είναι επικρατέστερες είναι του CO₂, οι οποίες είναι εκφρασμένες σε κιλά ισοδύναμων CO₂ (kg equiv. CO₂). Η εξάντληση των φυσικών

πόρων ανταποκρίνεται στην εξόρυξη μεταλλευμάτων και ορυκτών καυσίμων, η οποία είναι εκφρασμένη σε MJ αρχικής ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές. Στην ποιότητα των οικοσυστημάτων ανταποκρίνεται η οικοτοξικότητα των υδάτινων και χερσαίων οικοσυστημάτων, η χερσαία νιτροποίηση και οξίνιση καθώς και η χρήση γης, η οποία είναι εκφρασμένη σε PDF/m²/yr (Potentially Disappeared Fraction of species per m² per year), ήτοι, αναλογία δυνητικά εξαφανισθέντων ειδών ανά m² ανά έτος. Η ανθρώπινη υγεία ανασυγκροτείται με την ανθρώπινη τοξικότητα, τις επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα, την ιονίζουσα ακτινοβολία, την εξασθένηση της στοιβάδας του όζοντος και τη φωτοχημική οξείδωση. Τέλος, εκφράζεται σε DALYs⁵, ήτοι το άθροισμα των ετών που ζει κάποιος φυσιολογικά συν τα έτη που ζει κάποιος με αναπηρία (Tremeac and Meunier, 2009).

Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι περιβαλλοντικοί και ενεργειακοί δείκτες αξιολόγησης.

Ορισμένοι δείκτες χρειάζονται για την αξιολόγηση των ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ανεμογεννήτριας, οι οποίοι θα συγκριθούν με άλλα ενεργειακά συστήματα. Δυο είναι οι τυπικοί δείκτες που υπολογίζονται και είναι ο χρόνος ανταπόδοσης και ο δείκτης έντασης, οι οποίοι παρακάτω θα αναφερθούν αναλυτικότερα (Tremeac and Meunier, 2009).

Για τον χρόνο ανταπόδοσης, δυο είναι οι δείκτες που υπολογίζονται και είναι ο ενεργειακός χρόνος ανταπόδοσης και ο χρόνος ανταπόδοσης της αρχικής ενέργειας. Ο ενεργειακός χρόνος ανταπόδοσης ορίζεται ως ο αριθμός των ετών που απαιτούνται για την ανάκτηση όλης της ενέργειας που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής της ανεμογεννήτριας, ήτοι, στη φάση κατασκευής, στη φάση μεταφοράς, στη φάση λειτουργίας, στη φάση εκτός λειτουργίας, κλπ. Επίσης, είναι ένας δείκτης ανάμεσα στην κατανάλωση της αρχικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια ανά έτος. Ο χρόνος ανταπόδοσης της αρχικής ενέργειας έχει παρόμοια προσέγγιση με τον προαναφερόμενο δείκτη, εκτός από το ότι η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρισμό, όπου μετατρέπεται στην απαιτούμενη αρχική

⁵ DALYs → Disability Adjusted Life Years

ενέργεια για να παράγει ηλεκτρισμό. Όσο για την επίπτωση στην κλιματική αλλαγή, ο χρόνος ανταπόδοσης των αερίων του θερμοκηπίου υπολογίζεται ως η αναλογία μεταξύ των εκπομπών του κύκλου ζωής και των εκπομπών του δικτύου, που παράγει το ίδιο ποσό ηλεκτρισμού από την ανεμογεννήτρια. Τέλος, ο δείκτης έντασης, υπολογίζεται στο τέλος της ζωής της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, είναι η αναλογία ανάμεσα στην αρχική κατανάλωση ενέργειας ή εκπομπών CO₂ και στην παραγωγή ηλεκτρισμού κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής της ανεμογεννήτριας. Επιπροσθέτως, οι προαναφερόμενοι δυο δείκτες έντασης καλούνται και ενεργειακή ένταση σε kWhprim/kWhe και ένταση CO₂ σε g CO₂/kWhe αντίστοιχα (Tremeac and Meunier, 2009).

Παρακάτω θα παρουσιαστεί η AKZ δυο ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος 4,5MW και 250W.

Για τις προαναφερόμενες ανεμογεννήτριες θα πραγματοποιηθεί μια σύγκριση, η οποία βασίζεται στην AKZ. Γίνεται η υπόθεση ότι είναι εγκατεστημένες στη Νότια Γαλλία. Ο κύκλος ζωής τους είναι σε τρεις φάσεις, ήτοι, στην κατασκευή, στη λειτουργία και στο όταν τεθούν εκτός λειτουργίας μετά το πέρας της ζωής τους. Τέλος, με σκοπό τη σύγκρισή τους, η βάση θα είναι η 1kWh παραγωγής ηλεκτρισμού (kWhe) (Tremeac and Meunier, 2009).

Η ανεμογεννήτρια των 4,5MW έχει έναν πύργο από σκυρόδεμα ύψους 124m, έναν δρομέα με 3 πτερύγια διαμέτρου 113m, μια σύγχρονη γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων καθώς και άμεσες συνδέσεις με το δίκτυο. Κατόπιν, παρουσιάζονται τα βασικά συστατικά της ανεμογεννήτριας. Ο πύργος κατασκευάζεται από στοιχεία σκυροδέματος και γαλβανισμένου χάλυβα, όπου τα τμήματα του χάλυβα είναι βαμμένα. Η άτρακτος περιλαμβάνει την πλήμνη και τα κύρια κατασκευαστικά της συστατικά είναι ως ακολούθως, χάλυβας, χαλκός, σίδηρος και ακόρεστη πολυεστερική ρητίνη. Τέλος, όσον αφορά τα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται τα πτερύγια είναι κυρίως το υαλόνημα και η εποξική ρητίνη (Tremeac and Meunier, 2009).

Ο χρόνος ζωής της ανεμογεννήτριας εκτιμάται στα 20 έτη. Οι απώλειες του μετασχηματιστή ανέρχεται στο 1% και οι ώρες πλήρους φορτίου στις 2.628h/ έτος

(ήτοι, το 30% του πλήρους φορτίου της ονομαστικής ισχύος των 4,5MW). Η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρισμό 11,7GWh/ έτος. Γίνεται ξεκάθαρο ότι το αποτέλεσμα εξαρτάται από την ποιότητα της τοποθεσίας της και του αναμενόμενου αέρα (Tremeac and Meunier, 2009).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, εκτός από τις προαναφερόμενες φάσεις του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβάνεται και η φάση της μεταφοράς. Η μεταφορά της πραγματοποιείται από φορτηγά 40t. Η μεταφορά λαμβάνεται υπόψη από τις τοποθεσίες όπου κατασκευάζονται τα μέρη της στα εργοστάσια συναρμολόγησής της και από αυτά στην τελική τοποθεσία εγκατάστασής της. Η απόσταση μεταξύ του εργοστασίου συναρμολόγησης και της τελικής τοποθεσίας ανέγερσης είναι 170km. Επιπλέον, πραγματοποιούνται επισκέψεις στο σημείο εγκατάστασής της κάθε χρόνο. Η μεταφορά γίνεται με αυτοκίνητο diesel διανύοντας 300km/ έτος σε όλη τη διάρκεια της ζωής της. Επιπροσθέτως, λαμβάνεται υπόψη ότι ένα πτερύγιο και το 15% των στοιχείων της ατράκτου αντικαθίστανται κατά τη διάρκεια των 20 χρόνων. Τέλος, η ενέργεια που καταναλώνεται στη φάση λειτουργίας είναι ίση με το 15% της ενέργειας που καταναλώνεται στην κατασκευαστική φάση (Tremeac and Meunier, 2009).

Το κατασκευαστικό, το μεταφορικό και το λειτουργικό τμήμα του κύκλου ζωής της ανεμογεννήτριας είναι σημαντικά. Όμως, υπάρχει και το τμήμα της απεγκατάστασης-αποσυναρμολόγησης-τελικής διάθεσης της ανεμογεννήτριας που είναι εξίσου σπουδαίο. Κατόπιν παρουσιάζονται οι παραδοχές – υποθέσεις αυτού του τμήματος.

Το πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι τα απόβλητα δεν είναι τοξικά και δεν έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτός είναι ο λόγος που θεωρείται ότι το 98% των πτερυγίων, το 90% του δικτύου της ατράκτου και η άτρακτος καθώς και το 90% του πύργου ανακυκλώνεται και το υπόλοιπο οδηγείται προς ταφή. Επιπλέον, ο χώρος διάθεσης αποβλήτων τοποθετείται από το σημείο της εγκατάστασής της στα 120km μακριά. Τα θεμέλιά της αποθέτονται ως αστικά απόβλητα. Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας είναι η ίδια με την κατανάλωση που γινόταν στη φάση κατασκευής της (Tremeac and Meunier, 2009).

Αφού περιγράφηκε η ανεμογεννήτρια των 4,5MW εν συνεχεία θα περιγραφεί η ανεμογεννήτρια των 250W.

Η ανεμογεννήτρια των 250W είναι κάθετου άξονα της εταιρείας Windside τύπου WS-0,3C και παράγεται στη Φινλανδία. Επίσης, αυτού του τύπου η ανεμογεννήτρια αποτελείται από δυο πτερύγια, μια γεννήτρια και ένα ηλεκτρονικό σύστημα. Τα βασικά υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα τμήματά της είναι τα ακόλουθα: Τα πτερύγια κατασκευάζονται από αργίλιο και υαλόνημα. Η γεννήτρια και το ηλεκτρονικό σύστημα κατασκευάζονται από αργίλιο, χαλκό και χάλυβα. Ακόμη, έχει σχεδιαστεί ανθεκτική και έχει εγκατασταθεί σε απομονωμένη τοποθεσία. Επιπροσθέτως, όλα τα στοιχεία της έχουν παραχθεί τοπικά, στη Φινλανδία. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά τους, αυτή πραγματοποιείται με φορτηγό σε απόσταση 100km στο εσωτερικό της Φινλανδίας, όπου λαμβάνει χώρα και η συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας. Τέλος, το ενεργειακό μίγμα της Φινλανδίας είναι κυρίως 30% πυρηνική ενέργεια, 24% καύση άνθρακα, 18% υδροηλεκτρική και 14% φυσικό αέριο. (Tremeac and Meunier, 2009).

Προηγουμένως αναφέρθηκε η μεταφορά εντός της Φινλανδίας που αποτελεί τον τόπο κατασκευής και συναρμολόγησης της ανεμογεννήτριας. Όμως, η τοποθεσία εγκατάστασής της βρίσκεται στη Νότια Γαλλία. Οπότε, η μεταφορά της από τη Φινλανδία στη Νότια Γαλλία γίνεται με φορτηγό πλοίο σε απόσταση 2.030km και κατόπιν από το λιμάνι παραλαβής στην τοποθεσία εγκατάστασής της γίνεται με φορτηγό σε απόσταση 1.220km. Τέλος, συνεπάγεται ότι η συνολική μεταφορική απόσταση είναι 3.250km (Tremeac and Meunier, 2009).

Στη φάση της απεγκατάστασης-αποσυναρμολόγησης-τελικής διάθεσης της ανεμογεννήτριας, η γεννήτρια και τα υπόλοιπα τμήματά της ανακυκλώνονται σε ποσοστό 95%, ενώ το υπόλοιπο οδηγείται προς ταφή. Η κατανάλωση ενέργειας είναι ισότιμη με εκείνη της κατασκευαστικής φάσης και ο χώρος διάθεσης αποβλήτων τοποθετείται από το σημείο της εγκατάστασής της στα 120km μακριά εντός της Νότιας Γαλλίας. Τέλος, ο χρόνος ζωής της μικρής ανεμογεννήτριας είναι ο ίδιος με της μεγάλης, ήτοι, 20 έτη. Η ανεμογεννήτρια των 250W παράγει ηλεκτρική ενέργεια 120kWh/έτος (Tremeac and Meunier, 2009).

Αφού παραπάνω περιγράφηκαν τα δυο είδη των ανεμογεννητριών κατόπιν θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της AKZ.

Για την ανάλυση του κύκλου ζωής των προαναφερθέντων ανεμογεννητριών χρησιμοποιείται το λογισμικό SimaPro, απ' όπου προκύπτουν και τα αποτελέσματα για τις τέσσερις κατηγορίες επιπτώσεων που αναφέρθηκαν πρωτίστως. Έτσι λοιπόν, στη φάση της κατασκευής αποδίδονται οι υψηλότερες επιπτώσεις και ακολουθεί η φάση της μεταφοράς, ενώ η φάση λειτουργίας έχει πολύ λίγες επιπτώσεις (Tremeac and Meunier, 2009).

Αναλυτικότερα, προσθέτοντας τη φάση μεταφοράς κατά τη διάρκεια της κατασκευής και της αποσυναρμολόγησης αποδίδεται τεράστια επίπτωση για την ανθρώπινη υγεία, αφού φτάνει το 44% για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW. Τώρα, όσον αφορά για την ανεμογεννήτρια των 250W, οι επιπτώσεις δεν τόσο άσχημες γιατί θεωρήθηκε ότι η μέγιστη απόσταση πραγματοποιήθηκε με φορτηγό πλοίο. Αναφορικά με την εκτίμηση για την κλιματική αλλαγή και την εξάντληση των φυσικών πόρων, οι επιπτώσεις από τη μεταφορά είναι σχετικά υψηλότερες για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW. Όμως, η μεταφορά έχει αμελητέες επιπτώσεις μόνο για τα οικοσυστήματα. Έτσι ξεκάθαρα υπάρχει μια μεγάλη πρόκληση για να μειωθεί η μεταφορά μέσω των φορτηγών. Επιπλέον, η μεταφορά προτιμάται καλύτερα να γίνεται μέσω φορτηγού πλοίου ή τραίνου από τα φορτηγά οχήματα (Tremeac and Meunier, 2009).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι είναι πολύ ενδιαφέρον πως η φάση της αποσυναρμολόγησης δεν έχει καταστροφικές συνέπειες, λόγω της εκτεταμένης ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, η οποία μειώνει τα περιβαλλοντικά φορτία. Επιπροσθέτως, η μικρής ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτρια έχει περισσότερο θετικά αποτελέσματα λόγω των λιγότερων υλικών που απαιτούνται για τη σύνθεσή της, αλλά η μεγαλύτερης ισχύος είναι καλύτερη από άποψη παραγωγής ενέργειας (Tremeac and Meunier, 2009).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της AKZ όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθώς των δεικτών του χρόνου ανταπόδοσης.

Η ανεμογεννήτρια με την ονομαστική ισχύ των 4,5MW καταναλώνει γύρω στα 70,1TJ της αρχικής ενέργειας και παράγει 11,7GWh ηλεκτρισμού, ενώ η ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 250W καταναλώνει 2,8GJ και παράγει 2MWh ηλεκτρισμού. Η κατασκευή του συστήματος υπολογίζεται στο 75% της κατανάλωσης ενέργειας στον κύκλο ζωής για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW και στο 96% της κατανάλωσης ενέργειας στον κύκλο ζωής για την ανεμογεννήτρια των 250W (Tremeac and Meunier, 2009).

Η ενεργειακή ένταση ορίζεται ως η αναλογία μεταξύ της ενεργειακής κατανάλωσης και της ενεργειακής παραγωγής και είναι 0,3MJ/kWh ή 0,08kWhprim/kWh για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW. Ενώ για την ανεμογεννήτρια των 250W είναι 1,2 MJ/kWh ή 0,33kWhprim/kWh. Αναφορικά με την κλιματική αλλαγή, η ένταση CO₂ ορίζεται ως οι εκπομπές CO₂ ανά kWh ηλεκτρισμού. Έτσι λοιπόν, για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW είναι 15,8 g CO₂/kWh και για την ανεμογεννήτρια των 250W είναι 46,4 g CO₂/kWh. Όσον αφορά το χρόνο ενεργειακής ανταπόδοσης αυτός είναι 1,7 χρόνια για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW και 6,5 χρόνια για την ανεμογεννήτρια των 250W. Τέλος, μετά από την ανάλυση που προηγήθηκε διαπιστώνεται ότι κατά τη διάρκεια λειτουργίας των ανεμογεννητριών δεν παράγεται CO₂ παρ' όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται. Έτσι λοιπόν, το CO₂, το οποίο «σώζεται» είναι ανάμεσα στα 101,6*10⁶ kg και 136,7*10⁶ kg για την ανεμογεννήτρια των 4,5MW και ανάμεσα στα 968,6 kg και 1.328,6 kg για την ανεμογεννήτρια των 250W. Συνεπώς, η πρώτη ανεμογεννήτρια είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον από τη δεύτερη (Tremeac and Meunier, 2009).

Η προηγούμενη μελέτη AKZ αφορούσε τη σύγκριση 2 ανεμογεννητριών 4,5MW και 250W, η επόμενη που ακολουθεί αφορά μια AKZ η οποία βάζει ως παράγοντα μεταβλητότητας τη γεωγραφική περιοχή.

Η υπό μελέτη ανεμογεννήτρια είναι η E-40 της εταιρείας Enercon στη Βραζιλία και Γερμανία.

Η ανεμογεννήτρια κατασκευάστηκε από τη Γερμανική εταιρεία Enercon (μοντέλο E-40) και έχει 3 πτερύγια, έναν ελεγχόμενης κλίσης δρομέα με ονομαστική ισχύ 500kW ή 600kW (εξαρτάται από την κατανομή των ανέμων). Επίσης, η διάμετρος του

δρομέα και το ύψος της πλήμνης μεταβάλλονται έτσι ώστε να μπορούν να είναι αποτελεσματικά και να προσαρμόζονται στις επικρατέστερες ανεμολογικές συνθήκες σε κάθε τοποθεσία. Επιπλέον, η προλεγόμενη ανεμογεννήτρια δεν έχει κιβώτιο ταχυτήτων και ο δρομέας είναι άμεσα συνδεδεμένος με τη γεννήτρια. Ακόμη, τα πτερύγια του δρομέα (διαμέτρου 40m ή 44m) είναι κατασκευασμένα από εποξιδική ρητίνη με ενισχυμένο υαλόνημα. Τέλος, ο πύργος είναι κατασκευασμένος από σωληνωτό χάλυβα ή χάλυβα-σκυρόδεμα (Lenzen and Wachsmann, 2004).

Το 1996, η Enercon ιδρύει μια θυγατρική στη Βραζιλία. Η ανεμογεννήτρια μοντέλου E-40 άρχισε να συναρμολογείται από τοπικές παραγωγές, πτερυγίων, θεμελίων και πύργων και εισήχθησαν άτρακτοι και γεννήτριες. Η κατασκευή της πλήρους βραζιλιάνικης ανεμογεννήτριας άρχισε το 2000. Στις αρχές του 2001, η θυγατρική είχε εγκαταστήσει 35 ανεμογεννήτριες στις πολιτείες Ceara και Parana συνολικής ονομαστικής ισχύος 17,5MW (81% της συνολικής χωρητικότητας της αιολικής ισχύος της Βραζιλίας) (Lenzen and Wachsmann, 2004).

Από την πετρελαϊκή κρίση του 1970, προέκυψε η ενεργειακή ανάλυση ως επιστημονικός τομέας για να ερευνήσει τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις εκτελώντας το δοθέν έργο. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των διαδικασιών, όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις της βασικής παραγωγικής διαδικασίας και ορισμένες σημαντικές συνεισφορές από τις εισαγωγές των προμηθευτών στην κύρια διαδικασία εκτιμήθηκαν λεπτομερώς. Επιπλέον, εκτιμήθηκε και το σύστημα φόρτωσης και έγιναν αντιληπτά τα στάδια παραγωγής και οι μικρές επιπτώσεις της συνολικής ενσωμάτωσης της ενέργειας. Ακόμη, αυτή η ενεργειακή ανάλυση βασίστηκε στους μετασχηματιστές της αιολικής ενέργειας. Επίσης, αυτά τα συστήματα φόρτωσης έχουν το μειονέκτημα ότι η διαδικασία εντοπισμού τους αποκλείει τα φορτία με συνέπεια να εισάγονται συστηματικά σφάλματα αποκοπής. Επιπροσθέτως, η σημαντικότητα αυτών των σφαλμάτων ποικίλει ανάλογα με τα προϊόντα και είναι της τάξης του 50%. Τέλος, ένας τρόπος για την αποφυγή σημαντικών σφαλμάτων είναι η συμβατική ανάλυση της διαδικασίας αναλύοντας τα εισερχόμενα και εξερχόμενα προϊόντα αποτελεσματικά με τη μέθοδο της υβριδικής εκτίμησης κύκλου ζωής. Αναλυτικότερα, η μέθοδος της υβριδικής εκτίμησης κύκλου ζωής, πραγματοποιεί μια υβριδική κλιμακωτή ανάλυση ενέργειας, όπου μελετώνται οι ενεργειακές απαιτήσεις

άμεσες και έμμεσες από την κατασκευή, τη χρήση μέχρι και το τέλος τη ζωής του προϊόντος (εν προκειμένω η ανεμογεννήτρια) (Lenzen and Wachsmann, 2004).

Στην περίπτωση αυτή, μελετάται ο κύκλος ζωής της ανεμογεννήτριας E-40. Όλες οι τεχνικές λεπτομέρειες που υιοθετούνται είναι, οι συνθήκες του τόπου εγκατάστασης, δηλαδή εξετάζεται η μοναδικότητα της ανεμογεννήτριας όταν λειτουργεί στη Γερμανία και όταν παράγεται και λειτουργεί στη Βραζιλία. Επίσης, μελετάται και η μεταφορά και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται. Τέλος, οι επιπτώσεις της απόθεσής της ως απόβλητο είναι αμελητέες (Lenzen and Wachsmann, 2004).

Επιπροσθέτως, στην περίπτωση που μελετάται εξετάζονται 5 σενάρια τα οποία είναι τα ακόλουθα. Το πρώτο είναι παραγωγή και λειτουργία της ανεμογεννήτριας στη Γερμανία. Το δεύτερο είναι παραγωγή (εκτός των θεμελίων) στη Γερμανία και λειτουργία στη Βραζιλία. Το τρίτο είναι παραγωγή της γεννήτριας και της ατράκτου στη Γερμανία (1999), τα υπόλοιπα τμήματα και η λειτουργία της στη Βραζιλία. Το τέταρτο είναι παραγωγή και λειτουργία στη Βραζιλία. Τέλος, το πέμπτο είναι παραγωγή και λειτουργία στη Βραζιλία, αλλά εκτιμάται η υψηλότερη αναλογία της ανακύκλωσης του χάλυβα. Για κάθε υποθετικό σενάριο από τα προλεγόμενα, λαμβάνονται υπόψη ότι, πραγματοποιούνται εγκαταστάσεις της προαναφερόμενης ανεμογεννήτριας σε 5 διαφορετικές τοποθεσίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 7m/s στη Βραζιλία και 5m/s στη Γερμανία. Επιπλέον, για το υποθετικό σενάριο 5, θεωρείται ότι το 75% του βραζιλιάνικου χάλυβα παράγεται από scrap (Lenzen and Wachsmann, 2004).

Ακόμη, θεωρούνται διαφορές της συσσωρευμένης αρχικής ενέργειας των ανεμογεννητριών που παράγονται στη Γερμανία και στη Βραζιλία. Ο βασικός λόγος ύπαρξης αυτών των διαφορών είναι η υψηλή αποδοτικότητα του βραζιλιάνικου συστήματος ηλεκτρικής παραγωγής (πάνω από 90%). Μια εκτίμηση όλων των σεναρίων που χρησιμοποιούν ισοδύναμα ορυκτά καύσιμα της βραζιλιάνικης υδραυλικής ενέργειας της συσσωρευμένης ενεργειακής απόδοσης είναι όμοια με εκείνη που παράγεται από την κατασκευή των ανεμογεννητριών στη Γερμανία (γύρω στα 12.000 GJ). Επίσης, είναι αξιοσημείωτο ότι η συσσωρευμένη ενέργεια ποικίλει ισχυρά με το σενάριο παραγωγής από ότι με τις συνθήκες της τοποθεσίας

εγκατάστασης (ύψος πύργου, θεμέλια, μάζα) και τις μεταφορικές αποστάσεις. Μελετώντας αυτές τις εξειδικευμένες ενεργειακές απαιτήσεις, οι διαφορές γίνονται περισσότερο εμφανείς και διαφέρουν σε έναν παράγοντα. Αυτό συμβαίνει λόγω της συνολικής εξερχόμενης ενέργειας, όπου είναι υψηλότερη κατά μέσο όρο για τις βραζιλιάνικες τοποθεσίες εγκατάστασης (Lenzen and Wachsman, 2004).

Εν τέλει σε γενικές γραμμές, το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας καταναλώνεται για τον πύργο (περίπου το 30% - 40% της συνολικής), ακολουθούν η γεννήτρια (25% - 30%) και η άτρακτος (10% - 15%). Αναφορικά με την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη μεταφορά αυτή είναι κάτω από 5% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Τα τμήματα των στοιχείων ποικίλουν μόλις ελάχιστα με την εγκατάσταση και τη χώρα παραγωγής τους, εκτός από το σενάριο 5, όπου τα στοιχεία από χάλυβα (πύργος και άτρακτος) καταναλώνουν σχετικά μικρότερα ποσοστά λόγω της αποτελεσματικής βιομηχανίας χάλυβα (Lenzen and Wachsman, 2004).

Επίσης, η ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά είναι εκπληκτικά χαμηλή. Πιο αναλυτικά, η ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά είναι μεταξύ Γερμανίας και Βραζιλίας μεταξύ 4% και 4,5% της αθροιστικής ενέργειας που απαιτείται για τις ανεμογεννήτριες. Ακόμη, εξετάζοντας το αποτέλεσμα της λεπτομερούς μελέτης των εισαγωγών και των εξωτερικών εκπομπών του κύκλου ζωής, οι εκπομπές του CO₂ από τη γερμανική παραγωγή των επιβατικών αυτοκινήτων, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των τροφίμων βρίσκει ότι παρά τις μεγάλες αποστάσεις, οι εκπομπές του CO₂ από τη μεταφορά είναι σχετικά ελάχιστος σημασίας στο σύνολο των εκπομπών (1% με 2% για αυτοκίνητα και ηλεκτρονικούς υπολογιστές και γύρω στο 6% για τρόφιμα) (Lenzen and Wachsman, 2004).

Επιπροσθέτως, τα συσσωρευμένα CO₂ ποικίλουν σημαντικά με την τοποθεσία της παραγωγής τους. Τα περισσότερα στοιχεία παράγονται στη Βραζιλία, που οι εκπομπές είναι χαμηλότερες. Οι εκπομπές CO₂ για την παραγωγή και τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας στη Βραζιλία υπό τις παρούσες συνθήκες είναι ένας παράγοντας του 5 λιγότερος από εκείνες της Γερμανίας, λόγω των διαφορών ανάμεσα στα συστήματα ενεργειακών απαιτήσεων των αντίστοιχων οικονομιών (Lenzen and Wachsman, 2004).

Οι εκπομπές CO₂ ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με το σενάριο παραγωγής. Μεταφέροντας την παραγωγή των συστατικών της ανεμογεννήτριας από τη Γερμανία (1, 2) στη Βραζιλία (3) μειώθηκαν από κάθε τμήμα εκτός από την άτρακτο και τη γεννήτρια, τα οποία μέχρι το 1999 παράγονταν ακόμα στη Γερμανία. Μια φορά η παραγωγή μεταφέρθηκε πλήρως στη Βραζιλία (4), έτσι λοιπόν, η μεταφορά, η εγκατάσταση και η λειτουργία θεωρήθηκαν μεγάλο μέρος, διότι αυτά τα έργα εξαρτώνται ακόμα μόνο από τα ορυκτά καύσιμα. Τέλος, αυτά τα μέρη θα αυξάνονταν αν ο τομέας του χάλυβα γινόταν περισσότερο αποτελεσματικός (Lenzen and Wachsman, 2004).

Η προτελευταία AKZ μελετούσε τον παράγοντα μεταβλητότητας που ήταν η γεωγραφική περιοχή. Η τελευταία AKZ που ακολουθεί, εξετάζει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας του αιολικού συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου).

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην τελευταία AKZ για ανεμογεννήτριες είναι η PCA (Process Chain Analysis), δηλαδή πραγματοποιείται ανάλυση της αλληλουχίας των διαδικασιών. Η προαναφερόμενη μέθοδος υπολογίζει την υπαγόμενη ενέργεια και τις ισοδύναμες εκπομπές αναφορικά με την παγκόσμια υπερθέρμανση, που είναι ως αποτέλεσμα της παραγωγής των υλικών που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή. Ένας ολοκληρωμένος κύκλος ζωής περιλαμβάνει την εξόρυξη των πρώτων υλών, την εργοστασιακή συναρμολόγηση, τη μεταφορά, τη λειτουργία και την αναπόφευκτη αποσυναρμολόγηση (διαχείριση αποβλήτων) (Khan et al., 2005).

Τα βασικά στάδια κατασκευής της ανεμογεννήτριας, του συσσωρευτή της μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, του ηλεκτρολύτη και των άλλων συναφών στοιχείων της μονάδας παραγωγής ενέργειας είναι τα ακόλουθα. Εντάσσονται η εισροή των υλικών, της ενέργειας, των ενδιάμεσων προϊόντων και τα τελικά αγαθά. Αυτή η διαδικασία περιγράφει τον σχηματισμό του σκελετού για την αντιπαραβολή της απογραφής δεδομένων των εισερχόμενων και εξερχόμενων υλικών και ενέργειας καθώς και της επακόλουθης ανάλυσης. Τέλος, η AKZ εξετάζει τα περιβαλλοντικά φορτία των βασικών υλικών και το δυναμικό ανακύκλωσής τους (Khan et al., 2005).

Σε αυτήν την ανάλυση, πραγματοποιούνται οι ακόλουθες παραδοχές: Θεωρούνται έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τις φάσεις, κατασκευής, συντήρησης και κατεδάφισης του συστήματος. Το ευρύτερο πλαίσιο της βιομηχανίας, της οικονομίας και της ενέργειας είναι διαφορετικά για τα διάφορα στοιχεία που παράγονται στις διάφορες χώρες. Έτσι λοιπόν, αυτή η μελέτη διεξάγεται θεωρώντας ότι τα στοιχεία προέρχονται από τον Καναδά. Η απόδοση του αιολικού συστήματος βασίζεται στις κλιματικές συνθήκες της Newfoundland (Khan et al., 2005).

Εν συνεχεία θα αναφερθεί ο καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης.

Ένα φανταστικό ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας χωρητικότητας 500kW, διανέμει ηλεκτρισμό στο εγκατεστημένο δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιείται στη μελέτη. Η λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος είναι να παράγει ηλεκτρισμό στο δίκτυο. Όλες οι εισροές και εκροές του συστήματος (ήτοι, η χρήση των υλικών – και οι πηγές ενέργειας, οι εκπομπές και τα απόβλητα) προσδιορίζονται από το ποσό της παραγόμενης kWh ηλεκτρισμού σε όλο τον κύκλο ζωής. Η επιλεγμένη λειτουργική μονάδα είναι η 1kWh ηλεκτρισμού που παράγεται από το ολοκληρωμένο σύστημα (Khan et al., 2005).

Ενώ ο βασικός σκοπός αυτής της μελέτης είναι να προσδιορίσει και συνεκτιμήσει τις εκπομπές που σχετίζονται με τα στοιχεία του ολοκληρωμένου συστήματος (ανεμογεννήτρια, ηλεκτρολύτης και συσσωρευτής μετατροπής χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική), πραγματοποιείται και μια σχετική σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφορετικών πηγών ενέργειας. Η σύγκριση επιδιώκει να προσδιορίσει τις περιοχές που σχετίζονται με τις πιθανές βελτιώσεις, για παράδειγμα, τη μεταβλητότητα σχετικά με τις πηγές δεδομένων καθώς και την αβεβαιότητά τους. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη το τέλος ζωής κάθε στοιχείου, ήτοι, ανακύκλωση, ταφή και καύση. Όμως, εξαιρούνται από αυτήν την ανάλυση οι παράμετροι της τοποθεσίας κατασκευής και η κατασκευή των θεμελίων, εξαιτίας της έλλειψης γνώσης σε αυτές τις παραμέτρους. Τέλος, η τεχνολογία του συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και της τεχνικής παραγωγής υδρογόνου είναι ακόμα υπό έρευνα και κατά συνέπεια είναι δύσκολο να εκτιμηθεί ο χρόνος ζωής. Παρ' όλα αυτά,

τα περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εκτιμάται ότι έχουν χρόνο ζωής πάνω από 20 χρόνια και αυτός χρησιμοποιείται στη μελέτη (Khan et al., 2005).

Οι περισσότερες τις μελέτες AKZ που υπάρχουν για τις ΑΠΕ επικεντρώνονται στην Ευρώπη (βλέπε παραπάνω). Επίσης, υπάρχουν πολύ λιγότερες για την Newfoundland και το Labrador στον Καναδά. Για το λόγο αυτό, προσδιορίζεται η καλύτερη μέθοδος της δράσης επιτυγχάνοντας την απόκτηση δεδομένων από πολλαπλές πηγές, οι οποίες είναι περιεκτικές για αυτόν το σκοπό και την εφαρμογή τους στη μελέτη. Τέλος, η ανεμογεννήτρια παράγεται οπουδήποτε και μεταφέρεται στην Newfoundland (Khan et al., 2005).

Η πλειονότητα των μελετών κύκλου ζωής διαχειρίζονται τους συσσωρευτές μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια έχοντας επικεντρώσει τη χρήση τους στα οχήματα παρά στα ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Άρα, τα περισσότερα δεδομένα για την απογραφή τους λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία (Khan et al., 2005).

Συγκρίνοντας το συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική με την ανεμογεννήτρια, υπάρχουν ελάχιστα δημοσιευμένα δεδομένα για την παραγωγή υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης και του πρόσθετου εξοπλισμού (αποθηκευτικός χώρος, υγραντήρας, σύστημα ελέγχου, κλπ). Μολονότι οι περισσότερες αναφορές για την παραγωγή υδρογόνου επικεντρώνονται στα οχήματα, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται και για τα ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Συνεπώς, τα δεδομένα λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία αναφορικά με τις εκπομπές από τη μεταφορά, τη χρήση ενέργειας (υδροηλεκτρική και αιολική ενέργεια) και τη λειτουργία (Khan et al., 2005).

Υπολογίζεται το Δυναμικό της Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης (GWP⁶). Η κατανάλωση ενέργειας (MJ/ kWh) στην παραγωγή, μεταφορά, λειτουργία και αποσυναρμολόγηση (διαχείριση αποβλήτων) της ανεμογεννήτριας εκτιμάται στα 0,03MJ/ kWh. Το συνολικό Δυναμικό της Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης (g CO₂ ισοδύναμα/ kWh), για την παραγωγή, λειτουργία και απόθεση της ανεμογεννήτριας είναι 10g CO₂

⁶ GWP→Global Warming Potential

ισοδύναμα/ kWh, 7,1g CO₂ ισοδύναμα/ kWh και 3,7g CO₂ ισοδύναμα/ kWh αντίστοιχα. Η AKZ της ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει 5 κύρια στάδια του κύκλου ζωής της, ήτοι, χρήση ενέργειας, παραγωγή υλικών, συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας, μεταφορά και τελική απόθεση. Όλοι οι υπολογισμοί είναι εξίσου σημαντικοί. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν συμπεριλαμβάνονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου N₂O και CH₄. Η πλειοψηφία των αερίων του θερμοκηπίου είναι από τη χρήση ενέργειας (24%) και η παραγωγή υλικών συν την συναρμολόγηση (75%) της ανεμογεννήτριας. Η απόθεσή της και η μεταφορά της συμβάλλουν μόλις 1% στο συνολικό GWP. Τέλος, ο χρόνος ανταπόδοσης της ενέργειας ανέρχεται στα 0,16 έτη (Khan et al., 2005).

Η μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM⁷) του συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική χρησιμοποιείται στο ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας του αιολικού συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυτή η μεμβράνη αποτελείται από 3 βασικά συστατικά, τα οποία είναι ως ακολούθως, ηλεκτρόδια με καταλύτες λευκόχρυσου, μεμβράνη και γραφίτη. Ο συνολικός κύκλος του GWP του συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική υπολογίζεται στα 19,89g CO₂ ισοδύναμα/ kWh και η κατανάλωση ενέργειας στα 0,1275MJ/ kWh. Η συνολική τιμή του GWP είναι, 2,48g CO₂ ισοδύναμα/ kWh προερχόμενη από την ενεργειακή κατανάλωση, 15,56g CO₂ ισοδύναμα/ kWh προερχόμενη από την παραγωγή υλικών και το υπόλοιπο από τη μεταφορά και την απόθεση. Αυτοί οι υπολογισμοί βασίζονται στη χρήση του καναδικού ενεργειακού μίγματος (65% υδροηλεκτρική, 5% πυρηνική και 30% από θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας) για την παραγωγή των συσσωρευτών μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (εχώρια παραγωγή). Οι ίδιοι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το γερμανικό ενεργειακό μίγμα (λιγνίτης 28%, λιθάνθρακας 25%, πυρηνική 35%, φυσικό αέριο 6% και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 5%) και το αποτέλεσμα είναι 26,84 g CO₂ ισοδύναμα/ kWh, το οποίο είναι υψηλότερο από το καναδικό μίγμα (Khan et al., 2005).

Η παραγωγή του υδρογόνου διαμέσου της ηλεκτρόλυσης του νερού και της αποθήκευσής τους αποτελεί ένα κρίσιμο τμήμα του ολοκληρωμένου συστήματος

⁷ PEM→ Proton Exchange Membrane

παραγωγής ενέργειας του αιολικού συσσωρευτή μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Χρησιμοποιώντας το καναδικό ενεργειακό μίγμα για την κατασκευή του ηλεκτρολύτη και της αιολικής ενέργειας για τη λειτουργία του ηλεκτρολύτη, ο κύκλος ζωής του GWP είναι 11,13g CO₂ ισοδύναμα/ kWh και της ενεργειακής κατανάλωσης είναι 4,32MJ/ kWh (Khan et al., 2005).

Τέλος, τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης είναι ότι η μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση συμβαίνει από τη μονάδα ηλεκτρόλυσης (95%) και ακολουθούν ο συσσωρευτής μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (3,8%) και η ανεμογεννήτρια (1,2%). Τώρα, από την άποψη του GWP, τη μεγαλύτερη συνεισφορά την έχει ο συσσωρευτής μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική (49%) και ακολουθούν ο ηλεκτρολύτης (26%) και η ανεμογεννήτρια (25%) (Khan et al., 2005).

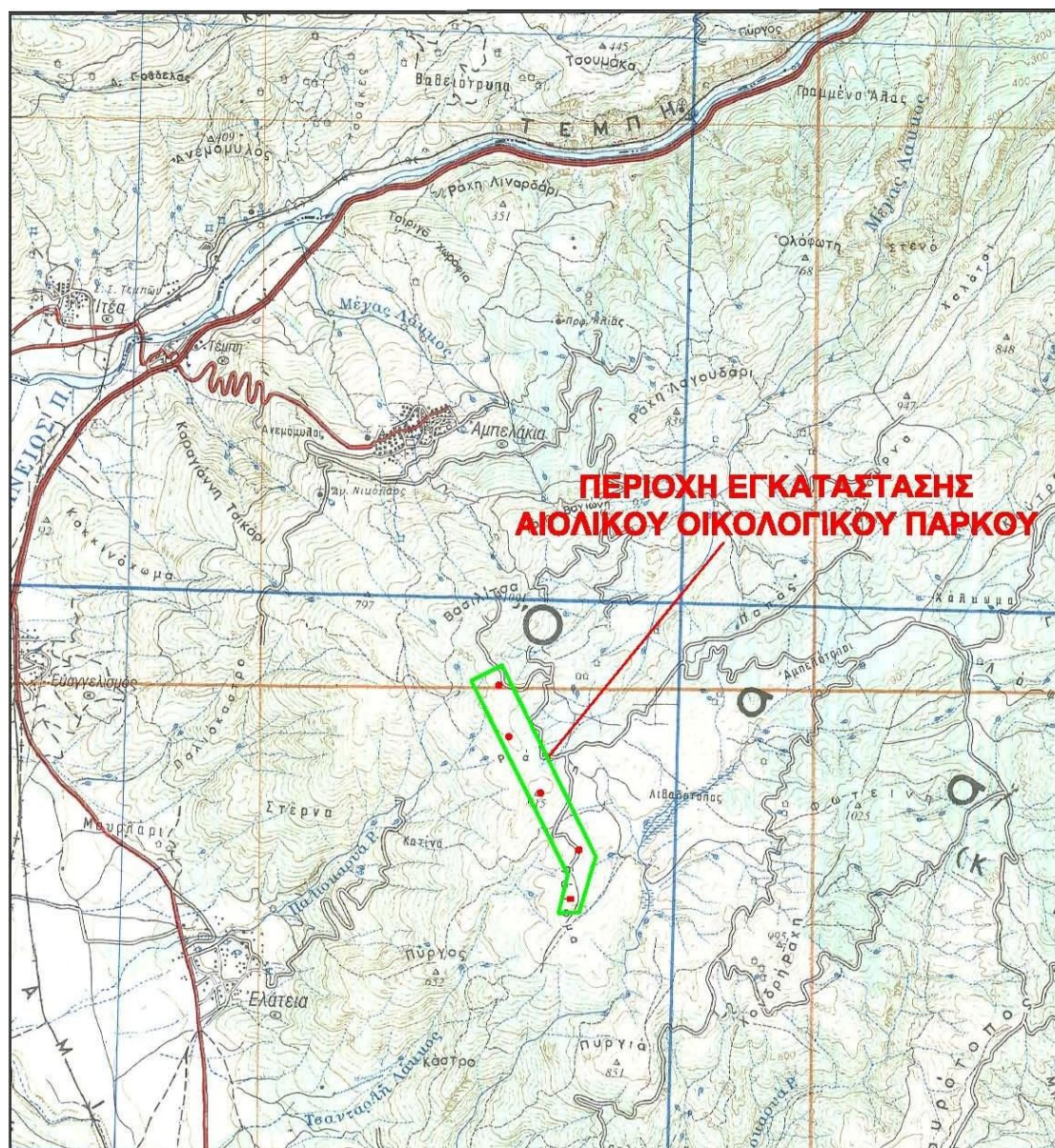
Η παραπάνω μελέτη AKZ ενδεχομένως να θεωρηθεί ότι έπρεπε να αναφερθεί στο πρώτο υποκεφάλαιο, αλλά αναφέρθηκε στο τρέχον με σκοπό την παρουσίαση της ανεμογεννήτριας ως τμήμα ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας πέραν του αιολικού πάρκου.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση της AKZ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας. Ακολουθεί η παρουσίαση της AKZ που θα πραγματοποιηθεί για το αιολικό πάρκο στη θέση: «Πάτωμα», στο Δ. Τεμπών, στο Ν. Λάρισας στην Ελλάδα. Οι λεπτομέρειες θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια (4 και 5).

4. Μελέτη Περίπτωσης - Περιγραφή

4.1. Καθορισμός της Μελέτης Περίπτωσης

Στην παρούσα εργασία η μελέτη περίπτωσης που θα εφαρμοστεί η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι το αιολικό πάρκο στη θέση: «Πάτωμα», στο Δήμο Τεμπών, στο Νομό Λάρισας. Στον χάρτη 4.1 φαίνεται η θέση του Α.Ο.Π.



Χάρτης 4.1: Απόσπασμα του φύλλου της Γ.Υ.Σ «Ραψάνη» κλίμακας 1:50.000 (Γ.Υ.Σ)

Το αιολικό πάρκο έχει 4 ανεμογεννήτριες της εταιρείας Gamesa τύπου G-58 με ονομαστική ισχύ 850kW η κάθε μία. Η συνολική ισχύς του σταθμού είναι κατά συνέπεια 3,4 MW, με το μικρό μέγεθος να έχει επιλεχθεί με σκοπό την ευκολότερη προσαρμογή του στο περιβάλλον (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Η θέση εγκατάστασης του Α.Ο.Π. βρίσκεται εντός των ορίων του αισθητικού δάσους της Όσσας (NATURA SCI 142003) αλλά εκτός οικότοπων προτεραιότητας αυτού, στα δυτικά όριά του και σε σημείο στο οποίο απουσιάζει σχεδόν πλήρως η βλάστηση (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Για την υλοποίηση και λειτουργία του θα αξιοποιηθούν υφιστάμενες υποδομές της περιοχής για περαιτέρω μείωση των επιπτώσεων του στο περιβάλλον. Η τροφοδοσία της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο της χώρας θα πραγματοποιηθεί με διασύνδεση στο υφιστάμενο τοπικό δίκτυο Μέσης Τάσης της περιοχής ή στον υποσταθμού Μακρυχωρίου, ενώ για τη μεταφορά του εξοπλισμού θα χρησιμοποιηθούν κατά κύριο λόγο οι υπάρχουσες οδοί (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Η ακαθάριστη παραγωγή του αιολικού πάρκου σε ηλεκτρικό ρεύμα εκτιμάται περί τις 9.000 MWh σε ετήσια βάση (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη τεχνική περιγραφή της ανεμογεννήτριας G-58.

Η Gamesa G58 είναι μια ασύγχρονη ανεμογεννήτρια, οριζοντίου άξονα, με ρότορα τριών πτερυγίων. Διαθέτει σύστημα ελέγχου και προσαρμογής της ταχύτητας περιστροφής στις εκάστοτε συνθήκες και βέβαια ρύθμισης του βήματος κάθε πτερυγίου (pitch) ξεχωριστά. Επίσης, η Α/Γ περιστρέφεται αυτόματα (yaw) έτσι ώστε να είναι πάντοτε κάθετη στον άνεμο (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Συγκεντρώνει την εμπειρία του γνωστού οίκου Gamesa και έχει εγκατασταθεί με επιτυχία σε αιολικά πάρκα στην Ελλάδα και το εξωτερικό. Η διαθεσιμότητα της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας φθάνει το 98 % (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Βασικό πλεονέκτημα της G58 είναι ότι χάρις στο εξελιγμένο σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου και τη δυνατότητα ρύθμισης των στροφών σε εύρος $\pm 30\%$ της ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής, προσαρμόζεται ιδανικά στις διακυμάνσεις του ανέμου και πετυχαίνει εξαιρετικό βαθμό απόδοσης (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ).

Βασικά μηχανικά και δομικά μέρη της Α/Γ είναι τα εξής, (ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΕ):

- 1) Πτερωτή / ρότορας / δρομέας με 3 πτερύγια
- 2) Κέλυφος / άτρακτος γεννήτριας
- 3) Γεννήτρια ασύγχρονη μεταβλητών στροφών
- 4) Σύστημα ελέγχου και ρύθμισης λειτουργίας

5) Πυλώνας

6) Μετασχηματιστής 690V/20kV εντός του πυλώνα

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας συνοψίζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας Gamesa G-58/850kW.

Ανεμογεννήτρια Gamesa G-58/850kW	
Ονομαστική ισχύς A/Γ	850kW
Τύπος Γεννήτριας	Ασύγχρονη
Τάση εξόδου	690V
Συχνότητα εξόδου	50Hz
Αριθμός πτερυγίων	3
Υλικό πτερυγίων	Εποξικό με ενίσχυση από υαλονήματα
Μήκος πτερυγίου	28.3m
Ταχύτητα περιστροφής πτερωτής	Μεταβλητή από 16.2-30.8rpm
Επιφάνεια σαρώσεως	2642m ²
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου	12m/s
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας	3m/s
Ταχύτητα αποκοπής	21m/s
Ύψος πύργου	55m
Υλικό πυλώνα	χάλυβας

Πηγή: ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΑΙΟΛΙΚΗ Α.Ε

4.2. Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης

Σκοπός της παρούσας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν για την κατασκευή, λειτουργία και μετά τη λήξη της λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Δηλαδή, η παρούσα μελέτη θα εξετάσει τα περιβαλλοντικά φορτία σ' όλη τη διάρκεια ζωής του αιολικού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, από το τι επιπτώσεις στο περιβάλλον προκύπτουν από την κατασκευή των ανεμογεννητριών, τη μεταφορά τους στον τόπο εγκατάστασης, την ανέγερσή τους, τη λειτουργία τους και την απόθεσή τους μετά το πέρας της

λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Τέλος, η παρούσα AKZ σκοπό έχει και τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής ενέργειας από αιολικά πάρκα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους, λ.χ., λιγνίτης.

4.2.1. Ορισμός της Λειτουργικής Μονάδας

Η λειτουργική μονάδα είναι 1MWh παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο επιλεγμένο αιολικό πάρκο. Στη λειτουργική μονάδα «φορτώνονται» όλα τα περιβαλλοντικά «βάρη» που έχουν προκύψει από την ανάλυση σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής.

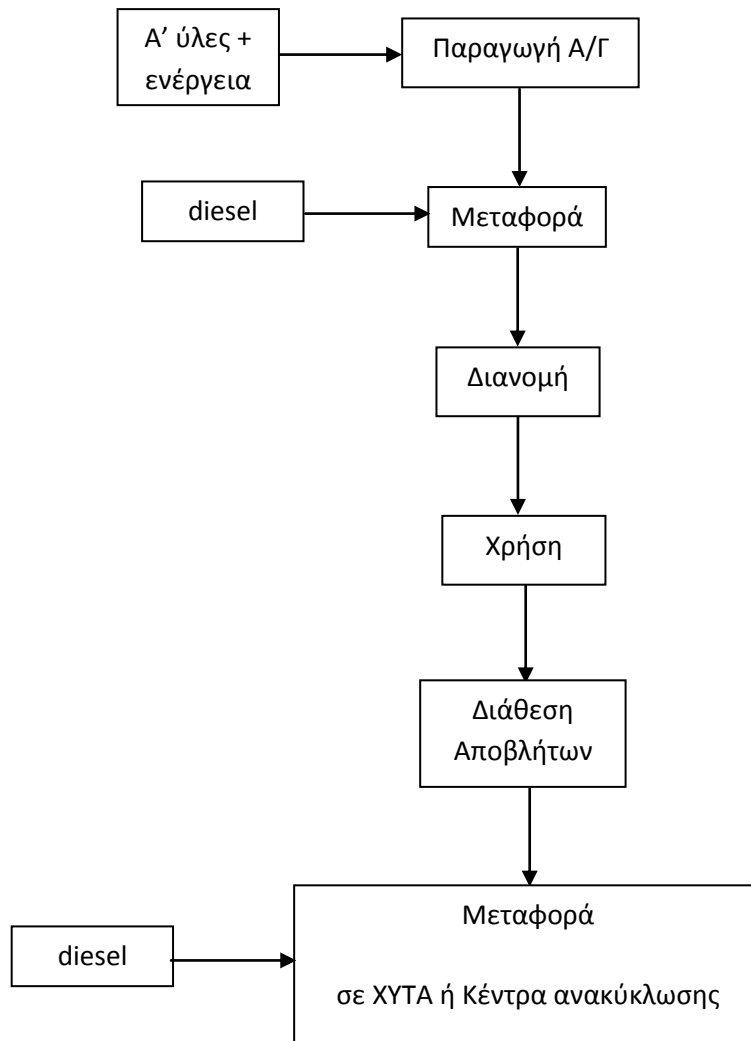
4.3. Ορισμός των ορίων του εξεταζόμενου συστήματος

Το εξεταζόμενο σύστημα έχει όρια που αφορούν τη φύση, τη γεωγραφία και το χρόνο. Τα όρια σχετικά με τη φύση είναι από την παραγωγή της ανεμογεννήτριας μέχρι την απόθεσή της μετά το πέρας της λειτουργίας της. Τα γεωγραφικά όρια του συστήματος είναι ο Δ. Τεμπών στο Ν. Λάρισα. Τα χρονικά όρια είναι τα 20 έτη που είναι ο μέσος χρόνος ζωής των αιολικών πάρκων, όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία.

4.4. Περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας και σχεδιασμός του διαγράμματος ροής

Η παραγωγική διαδικασία ξεκινάει από την παραγωγή των ανεμογεννητριών στην Ισπανία (η Gamesa είναι Ισπανική κατασκευαστική εταιρεία) συνεχίζει με τη μεταφορά τους στο λιμάνι της Ισπανίας για να φτάσουν στην Ελλάδα στο λιμάνι του Βόλου. Από το λιμάνι του Βόλου μεταφέρονται στη θέση εγκατάστασης. Μετά το πέρας των 20 ετών μεταφέρονται προς διάθεση ως απόβλητα είτε με τη μέθοδο της ταφής είτε με τη μέθοδο της ανακύκλωσης. Για καλύτερη κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας του αιολικού πάρκου παρακάτω σχεδιάζεται το διάγραμμα ροής.

Διάγραμμα Ροής της Παραγωγικής Διαδικασίας



Στο παραπάνω διάγραμμα ροής αποτυπώνεται η παραγωγική διαδικασία του αιολικού πάρκου που έχει επιλεχθεί. Στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 5) θα γίνει η απογραφή των δεδομένων και η ανάπτυξη του σεναρίου της ΑΚΖ.

Εν συντομία, η παρούσα ΑΚΖ είναι η ανάλυση κύκλου ζωής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια και θα γίνει σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από συμβατική πηγή. Δηλαδή, θα αναπτυχθεί ένα σενάριο το οποίο θα συγκρίνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ενέργειας από αιολική σε σχέση με τις συμβατικές πηγές.

Για την απογραφή των δεδομένων και την αξιολόγηση των επιπτώσεων θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό SimaPro 5.1, αναλυτικότερα παρουσιάζονται στο ακόλουθο κεφάλαιο 5.

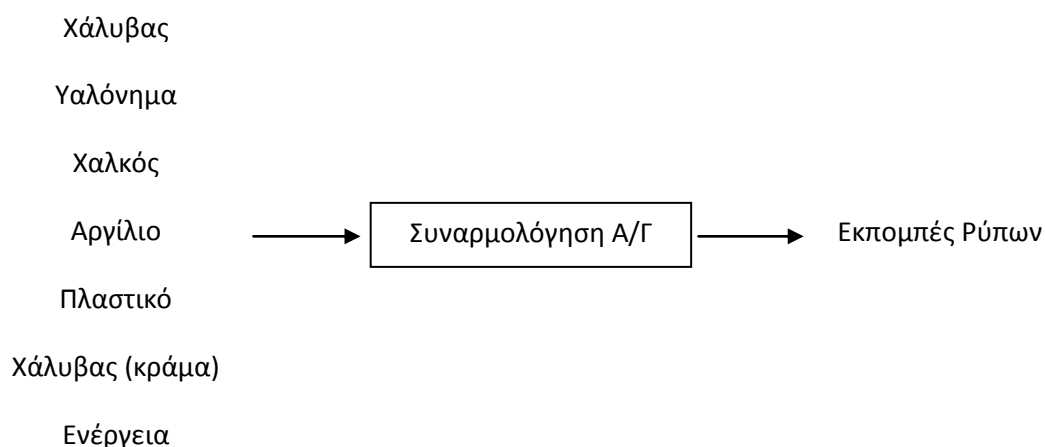
5. ΑΚΖ του αιολικού πάρκου στη θέση: «Πάτωμα», Δ. Τεμπών, Ν. Λαρίσης

5.1. Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης

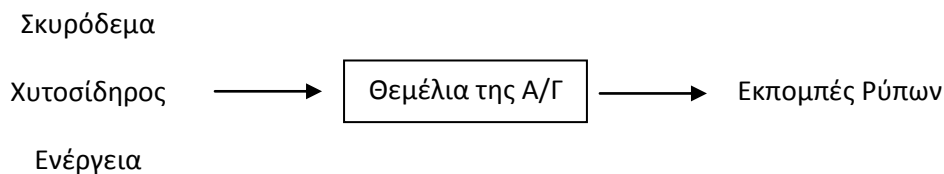
Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αναλυθούν οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκύπτουν από την εγκατάσταση και λειτουργία για 20 χρόνια του αιολικού πάρκου στη θέση Πάτωμα του Δ. Τεμπών του Ν. Λαρίσης.

Η λειτουργική μονάδα ορίζεται ως η 1MWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο επιλεγμένο αιολικό πάρκο. Το αιολικό πάρκο αποτελείται από 4 Α/Γ και έχει χρόνο ζωής 20 έτη. Η συνολική αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αιολικού πάρκου όπως προκύπτει από την ενεργειακή μελέτη είναι 211.760MWh (Ιστός Ανανεώσιμες).

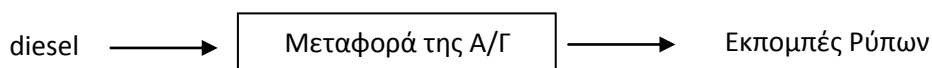
Τα στάδια του κύκλου ζωής που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα μελέτη είναι η μεταφορά των τμημάτων των Α/Γ, η θεμελίωση των Α/Γ, η συναρμολόγηση, και η αποσυναρμολόγηση των Α/Γ καθώς και η διάθεση των αποβλήτων τους. Αυτά τα στάδια του κύκλου ζωής παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικά σε διάγραμμα.



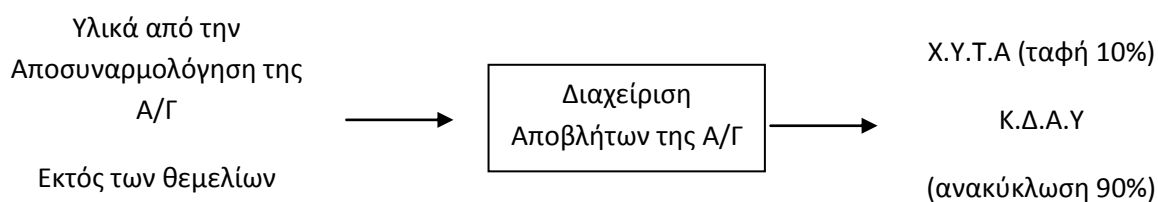
Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα Ροής της Συναρμολόγησης της Α/Γ



Διάγραμμα 5.2: Διάγραμμα Ροής της Θεμελίωσης της Α/Γ



Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα Ροής της Μεταφοράς της Α/Γ



Διάγραμμα 5.4: Διάγραμμα Ροής της Διαχείρισης των Αποβλήτων της Α/Γ

Τα παραπάνω διαγράμματα ροής είναι για κάθε τμήμα του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου που λαμβάνονται υπόψη και εξειδικεύουν το γενικό διάγραμμα ροής του κεφαλαίου 4.

5.2. Πηγές των δεδομένων

Οι πηγές των δεδομένων είναι από την κατασκευάστρια εταιρεία των Α/Γ που επιλέχθηκαν για το αιολικό πάρκο που μελετάται, την ισπανική Gamesa. Επίσης, πηγή για τα δεδομένα για την ενεργειακή παραγωγή του Α.Ο.Π είναι η Ιστός Ανανεώσιμες που έχει κάνει την ενεργειακή μελέτη. Επιπλέον, πηγή δεδομένων αποτελεί και η διεθνής βιβλιογραφία. Τέλος, όλες οι αποστάσεις που αναφέρονται

στην παρούσα μελέτη έχουν υπολογιστεί από τα λογισμικά Google Earth και Toponavigator Pro.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για να εισαχθούν τα δεδομένα για την απογραφή τους και την αξιολόγηση των επιπτώσεων είναι το SimaPro 5.1.

5.3. Απογραφή Δεδομένων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κυριότερες παραδοχές που έγιναν με στόχο τη λεπτομερέστερη απογραφή των δεδομένων.

1. Το αιολικό πάρκο μελέτης έχει χρόνο ζωής 20 έτη.
2. Τα τμήματα των ανεμογεννητριών κατασκευάζονται στην Ισπανία και μεταφέρονται από το λιμάνι της Βαρκελώνης στο λιμάνι του Βόλου με φορτηγό πλοίο σε απόσταση 3.287km. Η κάθε ανεμογεννήτρια έχει βάρος 80t. Επειδή, το υπό μελέτη αιολικό πάρκο αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες το συνολικό βάρος ανέρχεται στους 320t ($4 \cdot 80t$). Το συνολικό μεταφορικό έργο μετράται σε τονοχιλιόμετρα, ήτοι το συνολικό βάρος των ανεμογεννητριών επί τη συνολική απόσταση που μεταφέρονται. Στην προκειμένη περίπτωση $320t \cdot 3.287km = 1.051.840tkm$.
3. Στη συνέχεια, τα τμήματα των ανεμογεννητριών μεταφέρονται από το λιμάνι του Βόλου στο Ν. Λάρισας στο Δ. Τεμπών στη θέση «Πάτωμα», όπου θα εγκατασταθούν. Η μεταφορά τους πραγματοποιείται με φορτηγό 40t σε απόσταση 100km. Το μεταφορικό έργο από το λιμάνι του Βόλου έως την τοποθεσία εγκατάστασης ανέρχεται στα 32.000tkm (ήτοι $320t \cdot 100km$).
4. Η έκταση του αιολικού πάρκου είναι $2.000m^2$. Αναλυτικότερα, ως έκταση λαμβάνεται υπόψη το εμβαδόν των νέων δασικών δρόμων, το εμβαδόν του οικίσκου και το εμβαδόν της κάθε πλατείας. Δηλαδή, το εμβαδόν των νέων δασικών δρόμων ισούται με το μήκος που είναι 100m επί τη διαπλάτυνση που είναι 4m και το αποτέλεσμα είναι $400m^2$. Το εμβαδόν του οικίσκου είναι $100m^2$. Τέλος, το εμβαδόν πλατειών είναι $4 \cdot 375 m^2$ που ισούται με $1500m^2$.

(τα εμβαδά λήφθηκαν από προσωπική επικοινωνία με το γραφείο περιβαλλοντικών μελετών Υετός που εδρεύει στη Θεσσαλονίκη).

5. Η κατασκευή και λειτουργία του οικίσκου καθώς και των επιπλέον δασικών δρόμων δεν λήφθηκε υπόψη στην παρούσα μελέτη.
6. Για την κατασκευή του αιολικού πάρκου απαιτούνται τα ακόλουθα υλικά, τα οποία παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα (5.1).

Πίνακας 5.1: Υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή του αιολικού πάρκου.

Υλικά	Βάρος	Τμήματα Α/Γ
σκυρόδεμα	1.190t	Θεμελίωση
χυτοσίδηρος	83,2t (=20,8t*4)	
χάλυβας	180t (=45t*4)	Πύργος
υαλόνημα	48t (=12t*4)	Πτερύγια
χαλκός	4,6 t (=0,65t*4)	Άτρακτος
αλουμίνιο	2,6(=1,15t*4)	
πλαστικό	0,8 (=0,2t*4)	
Χάλυβας (κράμα)	46kg	

Πηγή: Crawford, 2009 & επεξεργασία συγγραφέως.

7. Τα δεδομένα του πίνακα 5.1 έχουν ληφθεί από τη βιβλιογραφία και έχουν επεξεργαστεί για να ταιριάζουν με τα στοιχεία της ανεμογεννήτριας που μελετάται.
8. Για κάθε ανεμογεννήτρια κατασκευάζεται από μία πλατεία, η οποία χρησιμεύει για τη θεμελίωσή της. Το υλικό κατασκευής της είναι το σκυρόδεμα συνολικού όγκου 124 m³ (προσωπική επικοινωνία με Gamesa). Η κάθε πλατεία έχει εμβαδό 375 m². Σε κάθε πλατεία πραγματοποιείται εκσκαφή βάθους 2,47m σε διάμετρο 8m για την κατασκευή της βάσης της ανεμογεννήτριας (προσωπική επικοινωνία με το γραφείο περιβαλλοντικών μελετών Υετός που εδρεύει στη Θεσσαλονίκη).
9. Οι ανεμογεννήτριες θα συντηρούνται κάθε 2 χρόνια και θα τους αλλάζονται λιπαντικά έλαια τα οποία είναι 1.500kg και για τις 4 ανεμογεννήτριες. Δεν πραγματοποιούνται συχνές αντικαταστάσεις των στοιχείων των ανεμογεννητριών παρά μόνο εφόσον κριθεί απαραίτητο για τεχνικούς λόγους (προσωπική επικοινωνία με την εταιρεία Gamesa).

10. Μετά το πέρας της ζωής τους οι ανεμογεννήτριες αποσυναρμολογούνται και τα απόβλητα διατίθενται το 90% προς ανακύκλωση και το 10% προς ταφή. Το σκυρόδεμα των θεμελίων θάβεται 100% στο σημείο εγκατάστασης και αποτελεί το 80% του βάρους των υλικών που οδηγούνται προς διαχείριση ως απόβλητα. Τα υπόλοιπα αποτελούν το 20% του βάρους και μεταφέρονται με φορτηγό 40t 15km δυτικά της θέσης «Πάτωμα» του αιολικού πάρκου στη θέση «Μαυρόλιθος ή Μικρόλιθος», όπου βρίσκονται ο Χ.Υ.Τ.Α και το ΚΔΑΥ. Ο Χ.Υ.Τ.Α και το ΚΔΑΥ δεν απέχουν περισσότερο από 500m μεταξύ τους (προσωπική επικοινωνία με το Δ. Λάρισας). Τέλος, τα πλαστικά οδηγούνται στον Χ.Υ.Τ.Α σε ποσοστό 100%, ενώ, τα σιδηρούχα και τα μη σιδηρούχα μέταλλα οδηγούνται κατά 10% στον Χ.Υ.Τ.Α και ενώ το υπόλοιπο 90% στο ΚΔΑΥ.

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι αποστάσεις εντός του ελληνικού εδάφους, ήτοι λιμάνι Βόλου-θέση: «Πάτωμα» και θέση: «Πάτωμα»- θέση «Μαυρόλιθος ή Μικρόλιθος» (Αιολικό Πάρκο-Χ.Υ.Τ.Α & ΚΔΑΥ).



Χάρτης 5.1: Απεικόνιση των χιλιομετρικών αποστάσεων ανάμεσα στο λιμάνι του Βόλου, το Αιολικό Πάρκο και τον χώρο διάθεσης αποβλήτων.

Οι περιορισμοί της μελέτης είναι οι εξής:

1. Ο πρώτος περιορισμός είναι όσον αφορά τα δεδομένα των μαζών των υλικών κατασκευής των ανεμογεννητριών τα οποία δεν δόθηκαν από την εταιρεία παραγωγής τους. Αναγκαστικά, λοιπόν, χρησιμοποιήθηκαν ανάλογα δεδομένα από τη βιβλιογραφία. Δηλαδή, αντί για πρωτογενή δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν δευτερογενή.
2. Υπάρχουν περιορισμοί από το ίδιο το λογισμικό (SimaPro 5.1) που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η μοντελοποίηση και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Το εν λόγω λογισμικό έχει περιορισμένο αριθμό υλικών που ο χρήστης περιορίζεται ώστε να μοντελοποιήσει το προϊόν του ή τη διαδικασία του. Στην προκειμένη περίπτωση, της μοντελοποίησης του αιολικού πάρκου αντιμετωπίστηκαν ορισμένες ελλείψεις υλικών όπως για παράδειγμα η εποξειδική ρητίνη. Αντ' αυτής επιλέχθηκε το πλαστικό.

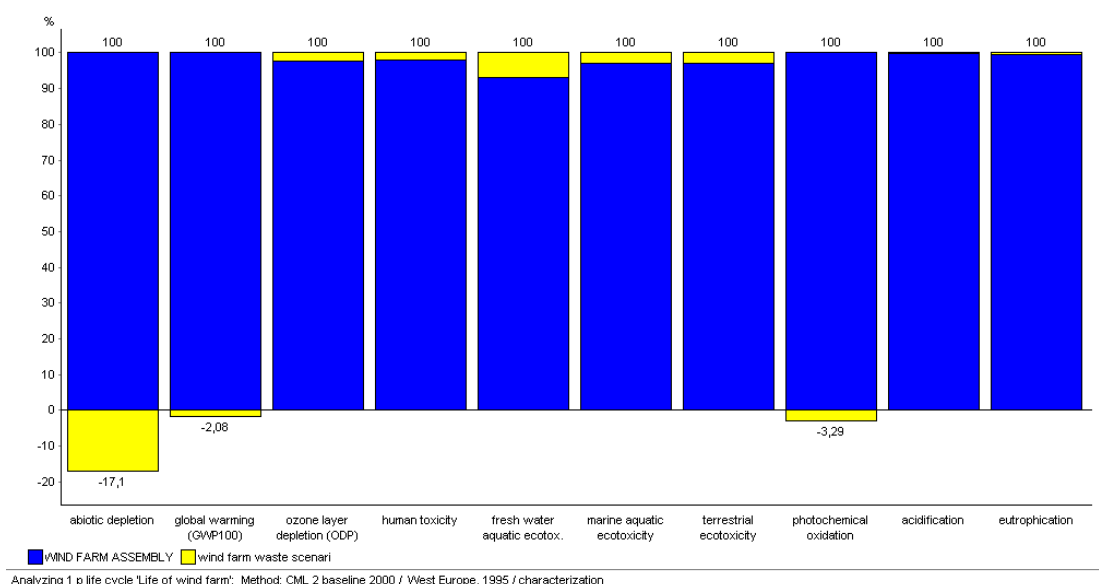
Αξίζει να σημειωθεί ότι, για το σκυρόδεμα τα δεδομένα που λήφθηκαν ήταν σε m^3 , επομένως χρειάστηκε να ληφθεί και η πυκνότητά του η οποία είναι 2.400 kg/m^3 (Lydon,1987). Έτσι, $124m^3$ (προσωπική επικοινωνία την εταιρεία Gamesa) επί 2.400 kg/m^3 ισούται με 297.600kg , ήτοι $297,6\text{t}$. Τέλος αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι και για τη συντήρηση των ανεμογεννητριών χρειάστηκε να βρεθεί η πυκνότητα των λιπαντικών ελαίων που χρησιμοποιούνται καθώς η εταιρεία Gamesa έδωσε δεδομένα σε λίτρα και όχι σε κιλά. Η πυκνότητα του λιπαντικού ελαίου που χρησιμοποιείται είναι η ίδια με τα λιπαντικά έλαια των αυτοκινήτων και είναι 940 kg/m^3 (www.bp.gr) και από τη σχέση της πυκνότητας, του όγκου και του βάρους υπολογίζονται τα κιλά του λιπαντικού ελαίου που απαιτούνται για τη συντήρηση της ανεμογεννήτριας. Οπότε, λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο $m=d*V$, όπου m είναι η μάζα, d η πυκνότητα και V ο όγκος, το αποτέλεσμα είναι $m= 940 \text{ kg/m}^3*0,16 \text{ m}^3=105,4\text{kg}$. Δηλαδή, τα 160 λίτρα λιπαντικού ελαίου (προσωπική επικοινωνία με την εταιρεία Gamesa) ισούται με $0,16m^3$ και ζυγίζουν $105,4\text{kg}$. Επειδή, η συντήρηση θα πραγματοποιείται κάθε 2 χρόνια και ο κύκλος ζωής είναι 20 έτη, η συνολική ποσότητα είναι $105,4\text{kg}*10=1.054\text{kg}$.

5.4. Αξιολόγηση Επιπτώσεων

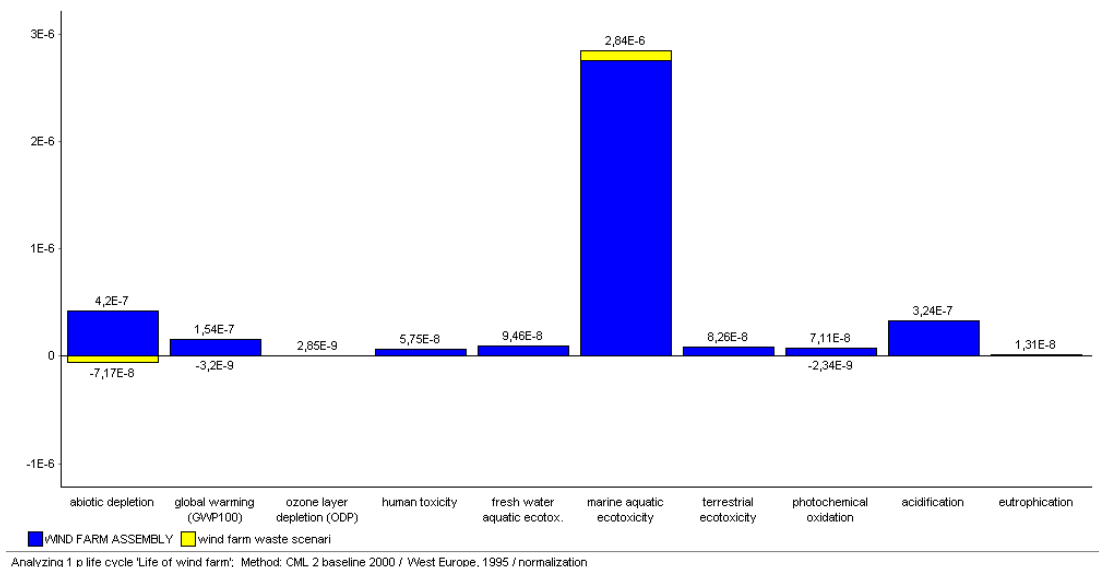
Για να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση των επιπτώσεων πρέπει πρώτα να αναφερθούν ποια μέθοδος αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε για τη εξαγωγή του αποτελέσματος και κατόπιν ποιες κατηγορίες των επιπτώσεων προέκυψαν.

Η μέθοδος αξιολόγησης επιπτώσεων που χρησιμοποιήθηκε είναι η CML 2 Baseline 2000 ενώ για την κανονικοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τη Δυτική Ευρώπη το 1995 (West Europe 1995).

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται από τη μέθοδο CML 2 Baseline 2000 για την ανάλυση της απογραφής των δεδομένων παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 5.5: Απεικόνιση Κατηγοριών Επιπτώσεων-Χαρακτηρισμός



Διάγραμμα 5.6: Απεικόνιση Κατηγοριών Επιπτώσεων-Κανονικοποίηση

Στα διαγράμματα 5.5 και 5.6 παρουσιάζονται οι κατηγορίες των επιπτώσεων που προκύπτουν από τα στάδια συναρμολόγησης του αιολικού πάρκου και της διαχείρισης των αποβλήτων. Το στάδιο της συναρμολόγησης του αιολικού πάρκου παριστάνεται με το μπλε χρώμα και το στάδιο της διαχείρισης των αποβλήτων με το κίτρινο χρώμα. Οι κατηγορίες των επιπτώσεων είναι συνολικά 10, ήτοι, η εξάντληση των αβιοτικών πόρων, η παγκόσμια υπερθέρμανση, η εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος, η ανθρώπινη τοξικότητα, η οικοτοξικότητα του γλυκού νερού, η θαλάσσια οικοτοξικότητα, η εδαφική οικοτοξικότητα, η φωτοχημική οξείδωση, η οξίνιση και ο ευτροφισμός. Προχωρώντας στην κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τη μέση τιμή της Δυτικής Ευρώπης για το 1995, από τις αρχικές 10 κατηγορίες, αναδεικνύονται ως πιο σημαντικές 4 κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες είναι η θαλάσσια οικοτοξικότητα, η εξάντληση των αβιοτικών πόρων, η οξίνιση και τέλος η παγκόσμια υπερθέρμανση. Σημειώνουμε όμως, ότι το στάδιο της κανονικοποίησης των αποτελεσμάτων είναι προαιρετικό σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040. Από τα διαγράμματα 5.5 και 5.6, παρατηρείται ότι το στάδιο διαχείρισης των αποβλήτων δεν συμβάλει σημαντικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, από την ΑΚΖ προκύπτει ότι η θαλάσσια οικοτοξικότητα επιβαρύνεται περισσότερο και ακολουθούν, η εξάντληση των αβιοτικών πόρων, η οξίνιση και η παγκόσμια υπερθέρμανση.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών επιπτώσεων

Επίπτωση (δείκτης)	Στάδιο Συναρμολόγησης	Στάδιο Αποσυναρμολόγησης / Διαχείρισης αποβλήτων	Σύνολο
Θαλάσσια Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	313.000.000	9.890.000	323.000.000
Εξάντληση Αβιοτικών Πόρων (kg Sbeq)	6.300	-1.080	5.230
Οξίνιση (kg SO ₂ eq)	8.830	21,6	8.850
Παγκόσμια Υπερθέρμανση (kg CO ₂ eq)	726.000	-15.100	711.000
Ευτροφισμός (kg PO ₄ eq)	162	0,825	163
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (kg 1,4-DBeq)	44.300	3.410	47.800
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	427.000	8.950	436.000
Εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος (kg CFC-11 eq)	0,232	0,0056	0,237
Φωτοχημική Οξείδωση (kg C ₂ H ₂)	588	-19,3	586
Εδαφική Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	37.000	121	3.900

Από τον παραπάνω πίνακα και τις υποθέσεις παρατηρείται ότι το στάδιο της συναρμολόγησης του αιολικού πάρκου επιβαρύνει περισσότερο από το στάδιο της αποσυναρμολόγησης/διαχείρισης των αποβλήτων του. Επιπλέον, η θαλάσσια οικοτοξικότητα είναι η κατηγορία των επιπτώσεων που επιβαρύνεται περισσότερο, λόγω της μεταφοράς των ανεμογεννητριών με πλοίο από τη Βαρκελώνη στο Βόλο. Επίσης, λόγω του σταδίου της διαχείρισης των αποβλήτων η εξάντληση των αβιοτικών πόρων μειώνεται, αφού τα μέταλλα ανακυκλώνονται κατά 90%. Τέλος, η παγκόσμια υπερθέρμανση αποφεύγεται αφού αποφεύγονται οι εκπομπές CO₂ με το σενάριο διαχείρισης των αποβλήτων λόγω της μικρής χιλιομετρικής απόστασης των χώρων διάθεσης αποβλήτων από την αιολική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού.

Όσον αφορά, τη μέση ετήσια αναμενόμενη παραγωγή του υπό μελέτη αιολικού πάρκου, όπως προκύπτει από την ενεργειακή μελέτη που πραγματοποίησε η Ιστός Ανανεώσιμες, αυτή είναι 10.588MWh/y. Αλλά, επειδή οι υπολογισμοί κατά τη μοντελοποίηση έχουν γίνει για τη διάρκεια της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ήτοι 20 έτη, θα πολλαπλασιαστεί η μέση ετήσια αναμενόμενη παραγωγή με το 20 και συνεπώς το αποτέλεσμα είναι 211.760MWh (10.588MWh*20).

Συνεπώς, υπολογίζονται οι δείκτες των επιπτώσεων ανά MWh διαιρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.2 με τις συνολικά παραγόμενες MWh από το αιολικό πάρκο στη διάρκεια των 20 ετών λειτουργίας του.

Πίνακας 5.3: Επιπτώσεις ανά παραγόμενη MWh

Επίπτωση (δείκτης/MWh)	Στάδιο Συναρμολόγησης	Στάδιο Αποσυναρμολόγησης / Διαχείρισης αποβλήτων	Σύνολο
Θαλάσσια Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	1.478	46,7	1.525
Εξάντληση αβιοτικών πόρων (kg Sbeq)	0,029	-0,005	0,025
Οξίνιση (kg SO ₂ eq)	0,042	0,0001	0,042
Παγκόσμια Υπερθέρμανση (kg CO ₂ eq)	3,43	-0,07	3,358
Ευτροφισμός (kg PO ₄ eq)	7,65*10 ⁻⁴	0,0389*10 ⁻⁴	7,69*10 ⁻⁴
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (kg 1,4-DBeq)	0,209	0,016	0,226
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	2,016	0,042	2,059
Εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος (kg CFC-11 eq)	1,09*10 ⁻⁶	0,026*10 ⁻⁶	1,12*10 ⁻⁶
Φωτοχημική Οξείδωση (kg C ₂ H ₂)	2,78*10 ⁻³	-0,091*10 ⁻³	2,68*10 ⁻³
Εδαφική Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	0,017	0,0057	0,018

Από τον πίνακα 5.3 διαπιστώνεται η ελάχιστη συμβολή της φάσης της διαχείρισης των αποβλήτων.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ελληνικό ενεργειακό ηλεκτροπαραγωγικό ισοζύγιο σύμφωνα με το ΔΕΣΜΗΕ (2011), το οποίο αποτυπώνει την υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα. Η παρουσίασή του πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ακόλουθου πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό ισοζύγιο σε MWh την περίοδο Ιανουάριος-Νοέμβριος 2011.

Πηγή Ενέργειας	MWh	Ποσοστό (%)
Λιγνίτης	25.080.450	52,91
Πετρέλαιο	8.584	0,02
Φυσικό Αέριο	13.655.751	28,81
ΥΗΣ	3.432.465	7,24
ΑΠΕ	2.262.326	4,77
Εισαγωγές	2.963.044	6,25
ΣΥΝΟΛΟ	47.402.620	100

Πηγή: <http://www.desmie.gr/leitoyrgia-dedomena/ekkatharisi/miniaia-deltia-energeias/>, Επεξεργασία συγγραφέως

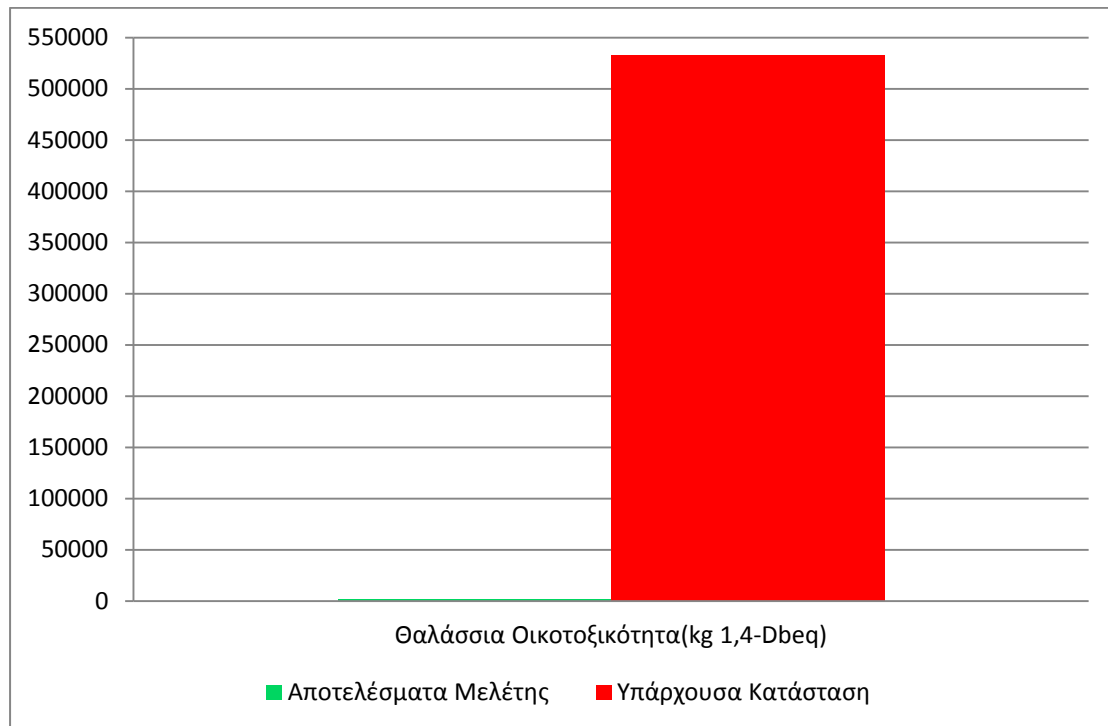
Από τον πίνακα 5.4 παρατηρείται ότι ο λιγνίτης κυριαρχεί με 52,91% στο ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό ισοζύγιο, ενώ το πετρέλαιο είναι ελάχιστο μόλις 0,02%. Μετά το λιγνίτη στη δεύτερη θέση είναι το φυσικό αέριο με 28,81% και ακολουθούν τα ΥΗΣ (7,24%), οι εισαγωγές (6,25%) και οι ΑΠΕ (4,77%).

Κατόπιν, τα αποτελέσματα της μελέτης ανά MWh συγκρίνονται με την υπάρχουσα κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα, όπως παρουσιάστηκαν στον πίνακα 5.4. Τα προλεγόμενα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 5.5.

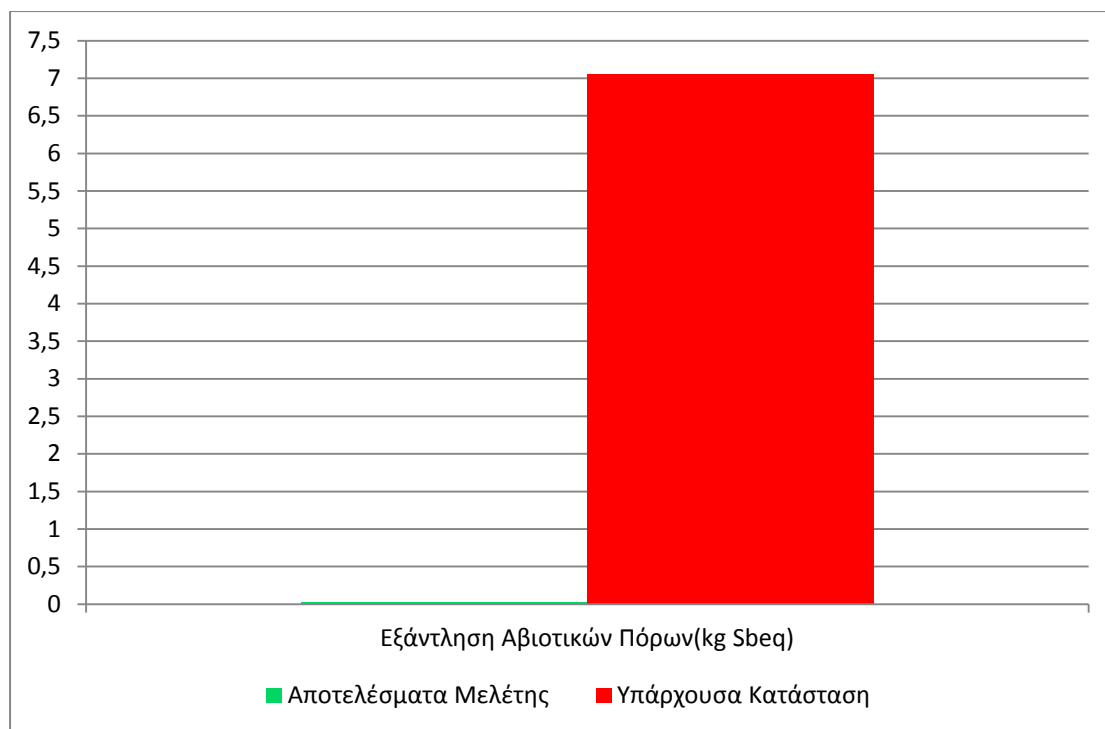
Πίνακας 5.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων μελέτης με την υπάρχουσα κατάσταση στην Ελλάδα ανά παραγόμενη MWh για κάθε κατηγορία επιπτώσεων.

Επίπτωση (δείκτης/MWh)	Αποτελέσματα Μελέτης	Υπάρχουσα Κατάσταση
Θαλάσσια Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	1.525	532.374
Εξάντληση αβιοτικών πόρων (kg Sbeq)	0,025	7,05
Οξίνιση (kg SO ₂ eq)	0,042	4,64
Παγκόσμια Υπερθέρμανση (kg CO ₂ eq)	3,358	974,82
Ευτροφισμός (kg PO ₄ eq)	7,69*10 ⁻⁴	3,74*10 ⁻³
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (kg 1,4-DBeq)	0,226	0,63
Ανθρώπινη τοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	2,059	98,20
Εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος (kg CFC-11 eq)	1,12*10 ⁻⁶	18,88*10 ⁻⁶
Φωτοχημική Οξειδωση (kg C ₂ H ₂)	2,68*10 ⁻³	20,47*10 ⁻²
Εδαφική Οικοτοξικότητα (kg 1,4-DBeq)	0,018	1,02

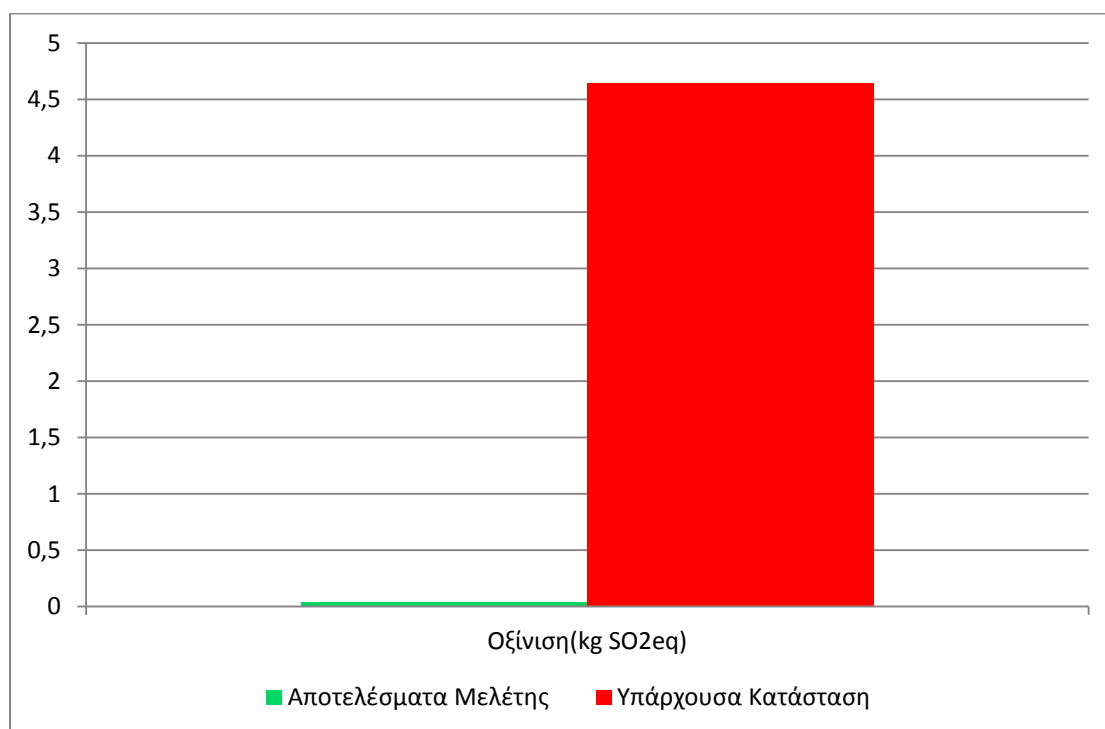
Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα του πίνακα 5.5 παρουσιάζονται στα κάτωθι διαγράμματα 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 & 5.16. Στα διαγράμματα 5.7 – 5.16 παρουσιάζονται ξεχωριστά οι κατηγορίες επιπτώσεων σχετιζόμενες με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την παρούσα μελέτη και την υπάρχουσα ελληνική κατάσταση, λόγω του ότι επικρατούν διαφορετικές κλίμακες.



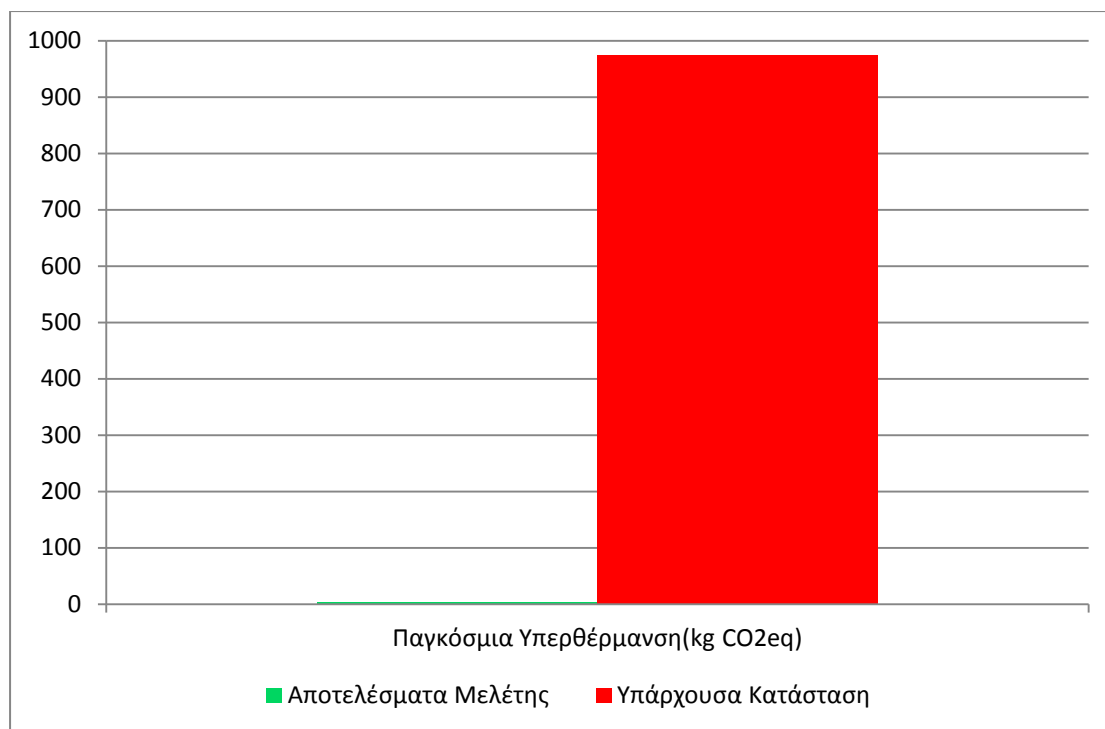
Διάγραμμα 5.7: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της θαλάσσιας οικοτοξικότητας.



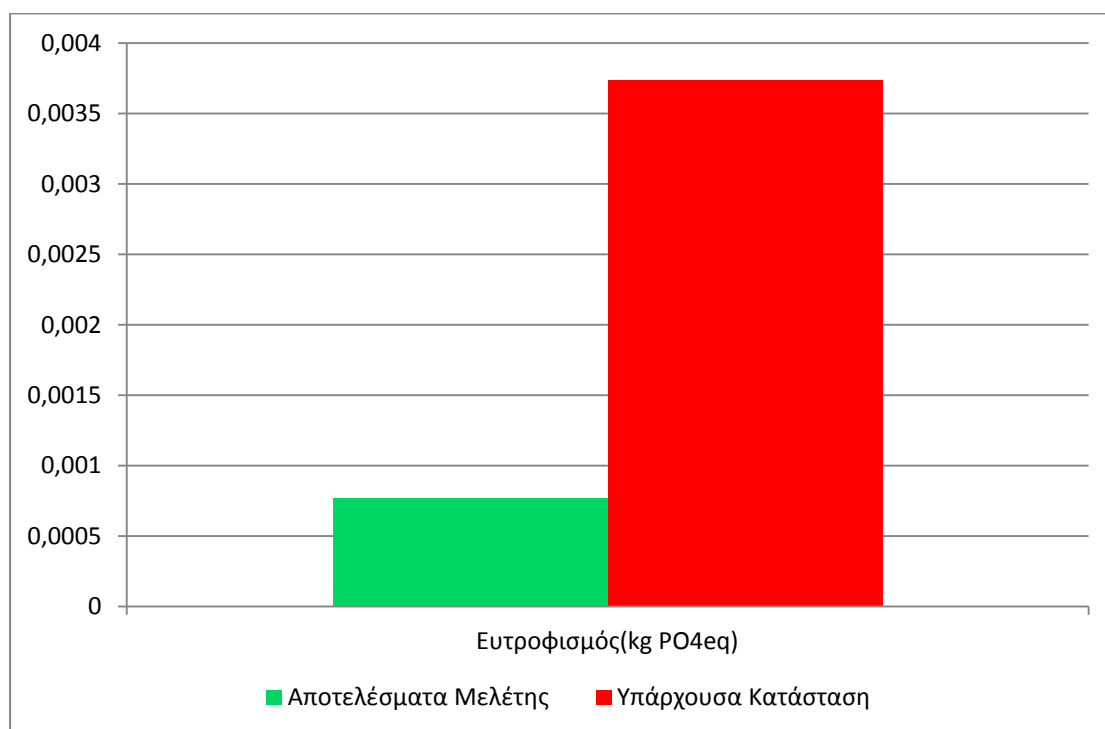
Διάγραμμα 5.8: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της εξάντλησης αβιοτικών πόρων.



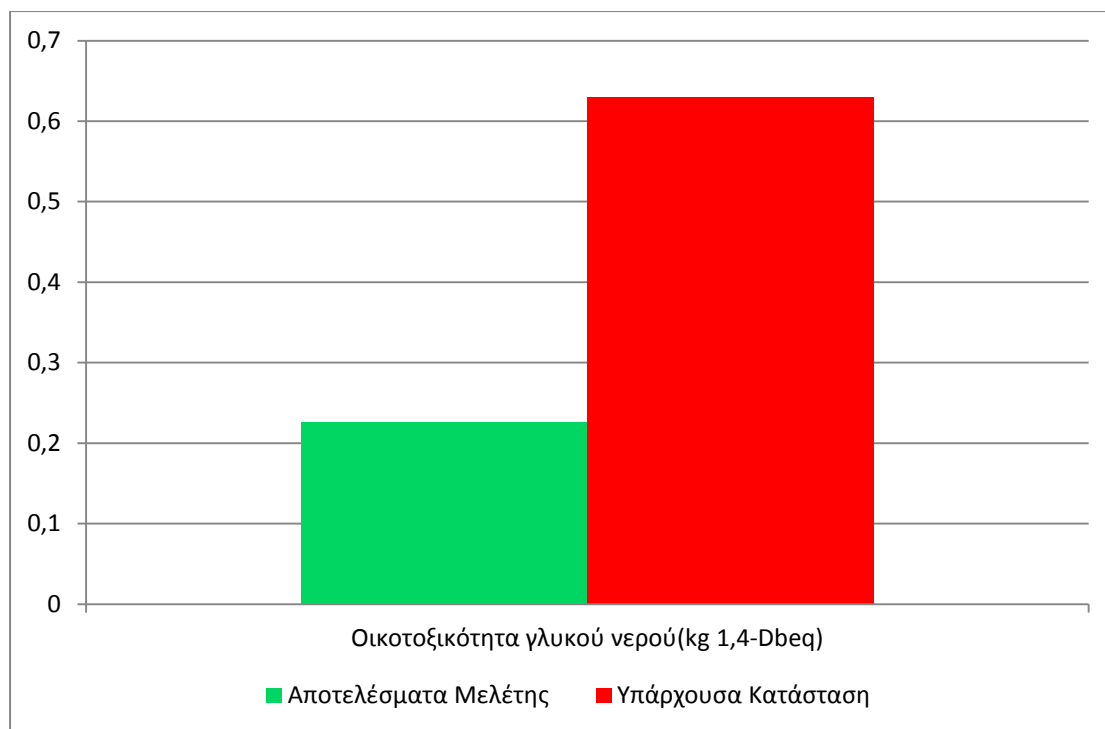
Διάγραμμα 5.9: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της οξίνισης.



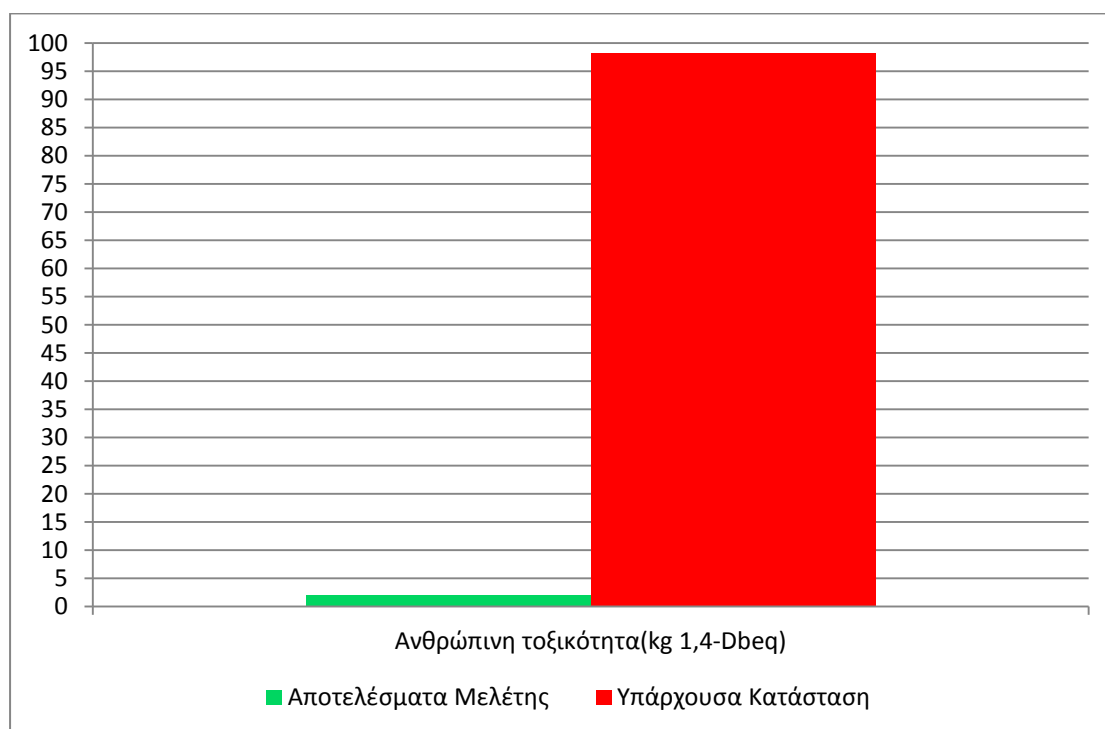
Διάγραμμα 5.10: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της παγκόσμιας υπερθέρμανσης.



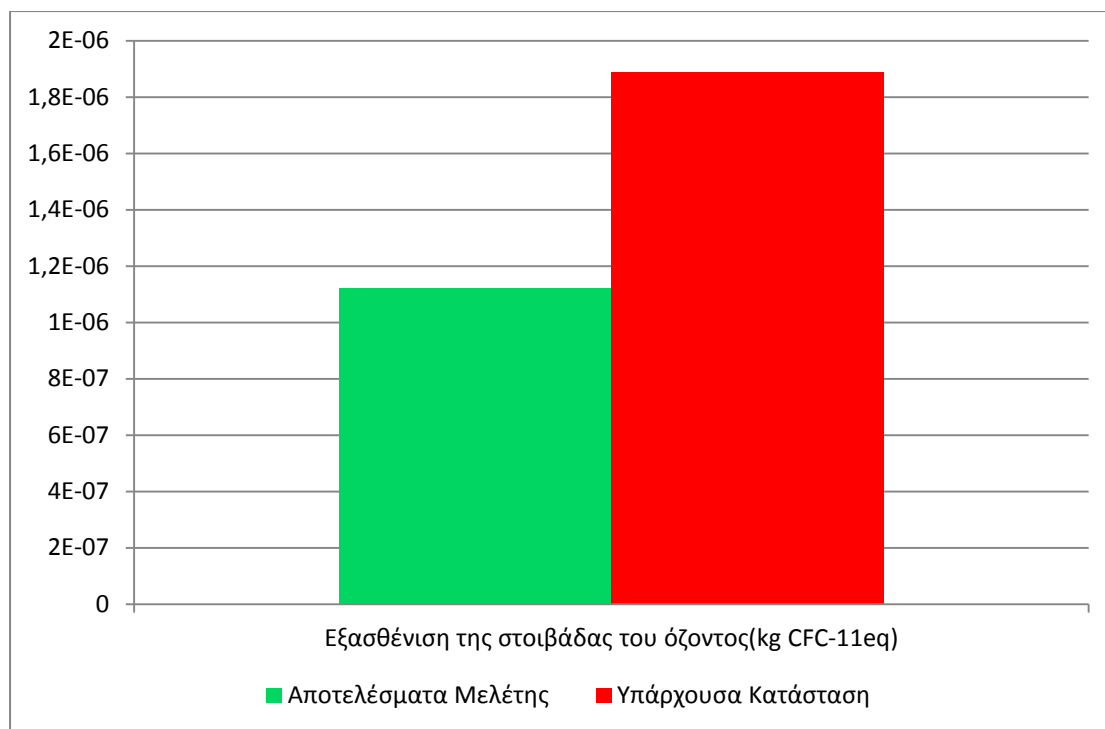
Διάγραμμα 5.11: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh του ευτροφισμού.



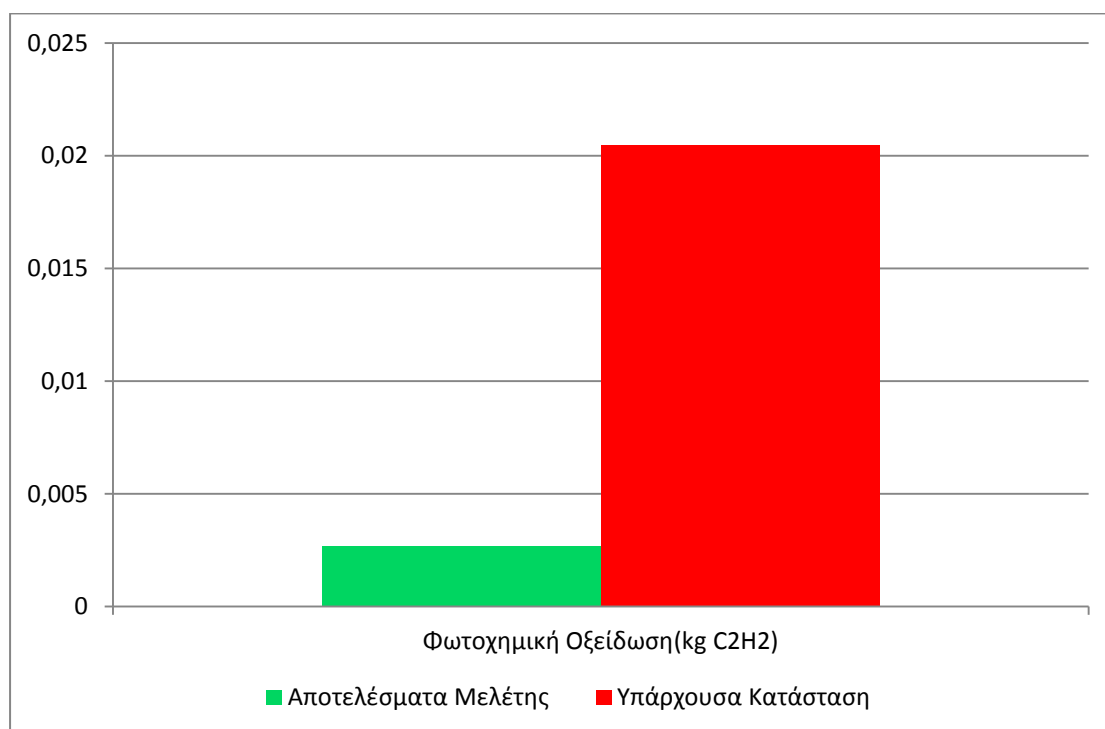
Διάγραμμα 5.12:Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της οικοτοξικότητας του γλυκού νερού.



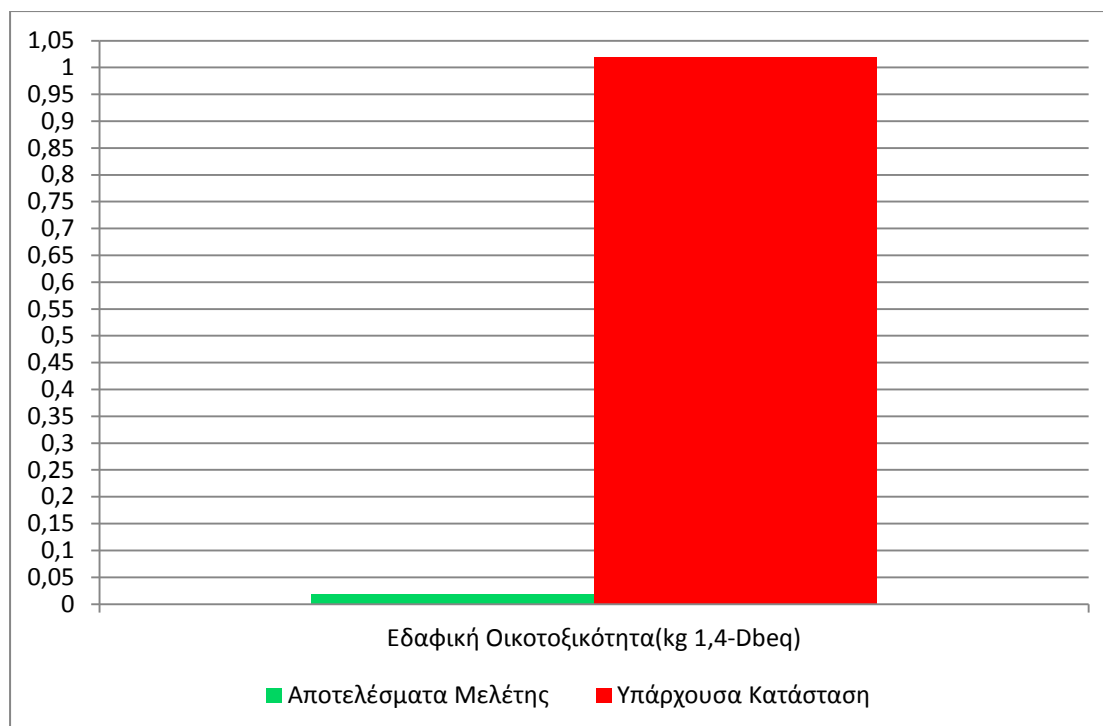
Διάγραμμα 5.13:Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της ανθρώπινης τοξικότητας.



Διάγραμμα 5.14: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της εξασθένισης της στοιβάδας του όζοντος.



Διάγραμμα 5.15: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της φωτοχημικής οξείδωσης.



Διάγραμμα 5.16: Απεικόνιση της σύγκρισης των αποτελεσμάτων της μελέτης με την ελληνική υπάρχουσα κατάσταση ανά MWh της εδαφικής οικοτοξικότητας.

Από τον πίνακα 5.5 και τα διαγράμματα 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15 & 5.16 παρατηρείται ότι το υπό μελέτη αιολικό πάρκο σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση συνεισφέρει ελάχιστα και στις 10 κατηγορίες των επιπτώσεων.

Όμως, για να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν θα πρέπει να συγκριθούν με τη διεθνή βιβλιογραφία που πραγματοποιείται στη συνέχεια.

5.5. Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Για να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν θα πρέπει να συγκριθούν με τα σχετικά δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία. Από την ανασκόπηση στη διεθνή βιβλιογραφία, προκύπτει ότι οι περισσότερες ΑΚΖ έχουν πραγματοποιηθεί για ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 2MW, 3MW και κάτω των 500kW καθώς και σε μία μόνο των 850 kW (το υπό μελέτη αιολικό πάρκο αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες των 850 kW). Επιπλέον, στη διεθνή βιβλιογραφία, επικρατεί η

αναφορά των αποτελεσμάτων της AKZ των ανεμογεννητριών ως προς τις επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας και πιο συγκεκριμένα σε σχέση με τις συμβατικές πηγές. Επομένως, η σύγκριση των αποτελεσμάτων της AKZ που πραγματοποιήθηκε για το αιολικό πάρκο στη θέση «Πάτωμα» στο Δ. Τεμπών, στο Ν. Λάρισα θα ξεκινήσει από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων ανεμογεννητριών της ίδιας ονομαστικής ισχύος και θα ακολουθήσουν οι υπόλοιπες.

Ο Crawford (2009) πραγματοποίησε AKZ για 2 A/Γ ονομαστικής ισχύος 850kW και 3MW εξετάζοντάς τες ως προς τις επιπτώσεις της στην παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: *Συσσωρευμένες εκπομπές που συμβάλλουν στην παγκόσμια υπερθέρμανση της A/Γ*

	A/Γ 850kW	A/Γ 3MW
Συσσωρευμένες εκπομπές/ MW ονομαστική ισχύ	2.074 t CO ₂ eq	1.844 t CO ₂ eq

Πηγή: Crawford, 2009

Για να γίνουν συγκρίσιμα τα αποτελέσματα του Crawford (2009) με της παρούσας μελέτης θα πρέπει οι εκπομπές να εκφραστούν σε kg CO₂eq/ MWh. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να γίνουν ορισμένες υποθέσεις. Πρώτον, γνωρίζοντας το συντελεστή φόρτισης της ανεμογεννήτριας και την ονομαστική της ισχύ τα MW μπορούν να μετατραπούν σε MWh. Δεύτερον, ο συντελεστής φόρτισης ισούται με την πραγματική παραγωγή της ανεμογεννήτριας προς την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας εάν λειτουργούσε 24 ώρες το 24ωρο για ένα έτος (μέγιστο χρονικό διάστημα λειτουργίας). Δηλαδή, ο τύπος είναι συντελεστής φόρτισης = πραγματική παραγωγή A/Γ σε MWh / 365ημ*24h*ονομαστική ισχύς της A/Γ σε MW ($C_f = \frac{X \text{ MWh}}{365 \text{ days} * 24 \text{ h} * Y \text{ MW}}$). Ο συντελεστής φόρτισης της A/Γ των 850kW(=0,85MW) είναι 0,34 (Crawford, 2009). Έτσι λοιπόν, $X(\text{MWh}) = 0,34 * 365 \text{ days} * 24 \text{ h} * 0,85 \text{ MW} = 2.532 \text{ MWh/y}$. Επειδή ο κύκλος ζωής της A/Γ είναι 20 έτη οι 2.532 MWh πολλαπλασιάζονται επί 20 και το αποτέλεσμα είναι 50.640 MWh. Τρίτον, τα αποτελέσματα του πίνακα 5.6 σε kg γίνονται 2.074.000kg CO₂eq/ MW (1t= 1.000kg). Τέταρτον, για τον ίδιο συντελεστή φόρτισης 0,34 αφού

υπολογίστηκαν οι MWh για την ονομαστική ισχύ των 0,85MW με μια απλή μέθοδο των τριών υπολογίζονται οι MWh για την ονομαστική ισχύ του 1MW. Το αποτέλεσμα είναι 57.576 MWh για τα 20 έτη. Τέλος, τα 2.074.000kgCO₂eq διαιρούνται με τις 57.576 MWh και το αποτέλεσμα είναι 36,02 kgCO₂eq/ MWh.

Άρα, ο Crawford (2009) έχει βγάλει ως αποτέλεσμα για την παγκόσμια υπερθέρμανση 36,02kg CO₂eq/ MWh και η παρούσα μελέτη 3,36kg CO₂eq/ MWh. Ο Crawford (2009), έχει λάβει υπόψη το στάδιο επεξεργασίας των υλικών σύνθεσης των Α/Γ για την κατασκευή τους, ενώ στην παρούσα μελέτη δεν λήφθηκε υπόψη. Επίσης, ο συντελεστής εκπομπών της συσσωρευμένης ενέργειας που χρησιμοποίησε ο Crawford (2009) είναι μικρότερος, ήτοι 0,06kgCO₂eq/ MWh εν συγκρίσει με αυτόν της παρούσας μελέτης, ήτοι 0,271kgCO₂eq/ MWh.

Επιπλέον, θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης AKZ με τα αποτελέσματα της AKZ για μεγαλύτερης και μικρότερης ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριες από 850kW.

Ο Crawford (2009) σύγκρινε τα αποτελέσματα της παγκόσμιας υπερθέρμανσης των Α/Γ των 850kW και των 3MW, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4. Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή φόρτισης γίνονται οι υπολογισμοί για την Α/Γ ονομαστικής ισχύος 3MW που έχει συντελεστή φόρτισης 0,33. Αντίστοιχα με την Α/Γ των 850kW, η Α/Γ των 3MW έχει πραγματική παραγωγή 8.672,4 MWh/y. Για την 20ετία η πραγματική παραγωγή είναι 173.448MWh. Χρησιμοποιώντας πάλι την απλή μέθοδο των τριών με τον ίδιο συντελεστή φόρτισης υπολογίζεται η πραγματική παραγωγή του 1MW που είναι 57.816 MWh για τα 20 έτη. Τέλος τα 1.844.000 kgCO₂eq διαιρούνται με τις 57.816 MWh και το αποτέλεσμα είναι 31,89 kgCO₂eq/ MWh.

Συνεπώς, ο Crawford (2009) εξήγαγε τα ακόλουθα αποτελέσματα. Από την Α/Γ των 850kW εκπέμπονται 36,02 kgCO₂eq/ MWh, ενώ από την Α/Γ των 3MW εκπέμπονται 31,89 kgCO₂eq/ MWh. Παρατηρείται μια μείωση των εκπομπών CO₂eq όσο αυξάνεται η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.

Οι Guezuraga et al. (2012) πραγματοποίησαν AKZ για δύο ανεμογεννήτριες 2MW (με κιβώτιο ταχυτήτων) και 1,8MW (χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων), οι οποίες

εξετάστηκαν ως προς τις επιπτώσεις τους στην παγκόσμια υπερθέρμανση. Τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7: Η παγκόσμια υπερθέρμανση ολόκληρου του κύκλου ζωής των Α/Γ εκφρασμένη σε τιμές $\text{gCO}_2\text{eq/ kWh}$

	A/Γ 2MW (με κιβώτιο ταχυτήτων)	A/Γ 1,8MW (χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων)
$\text{gCO}_2\text{eq/ kWh}$	9,73	8,82

Πηγή: Guezuraga et al., 2012

Για να γίνουν συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των Guezuraga et al. (2012) με της παρούσας μελέτης θα πρέπει οι εκπομπές να γίνουν σε $\text{kg CO}_2\text{eq/ MWh}$. Πρέπει να μετατραπούν τα g σε kg και οι kWh σε MWh. Γνωρίζοντας ότι το $1\text{g}=0,001\text{kg}$ και η $1\text{kWh}=0,001\text{MWh}$ πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι υπολογισμοί. Για την Α/Γ των 2MW, $9,73 \cdot 0,001 \text{ kg CO}_2\text{eq/ } 0,001 \text{ MWh} = 9,73 \text{ kg CO}_2\text{eq/ MWh}$ και για την Α/Γ των 1,8MW, $8,82 \cdot 0,001 \text{ kg CO}_2\text{eq/ } 0,001 \text{ MWh} = 8,82 \text{ kg CO}_2\text{eq/ MWh}$. Συνεπώς, οι εκπομπές είναι $9,73 \text{ kg CO}_2\text{eq/ MWh}$ για την 1^η Α/Γ και $8,82 \text{ kg CO}_2\text{eq/ MWh}$ για τη 2^η Α/Γ. Παρατηρείται ότι, η ανεμογεννήτρια χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων έχει λιγότερες εκπομπές που συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη σε σχέση με την πρώτη που έχει κιβώτιο ταχυτήτων. Επιπλέον, οι Guezuraga et al. (2012) έχουν λάβει υπόψη το στάδιο της επεξεργασίας των υλικών σύνθεσης της Α/Γ για την κατασκευή τους, που η παρούσα μελέτη δεν έχει λάβει υπόψη της. Ακόμη, οι Guezuraga et al. (2012) έχουν υποθέσει ότι η αλλαγή των λιπαντικών ελαίων θα γίνεται 3 φορές το έτος και κάθε 7 χρόνια θα υπάρχει αντικατάσταση κιβωτίων ταχυτήτων. Αντίθετα, η παρούσα μελέτη αναφορικά με την αλλαγή των λιπαντικών ελαίων έχει υποθέσει ότι θα γίνεται κάθε 2 χρόνια, ενώ δεν έχει λάβει υπόψη της την αντικατάσταση κιβωτίων ταχυτήτων.

Οι Ardente et al. (2008) πραγματοποίησαν AKZ για ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 11 Α/Γ ονομαστικής ισχύος 660kW, όπου εξετάζονται οι εκπομπές ως προς την παγκόσμια υπερθέρμανση. Το αποτέλεσμα είναι $14,8 \text{ gCO}_2\text{eq/ kWh}$. Όμως για να μπορεί να συγκριθεί το αποτέλεσμα των Ardente et al. (2008) θα πρέπει να εκφραστεί σε $\text{kg CO}_2\text{eq/ MWh}$. Δηλαδή, τα g μετατρέπονται σε kg και οι kWh σε MWh. Γνωρίζοντας ότι το $1\text{g}=0,001\text{kg}$ και η $1\text{kWh}=0,001\text{MWh}$ πραγματοποιούνται οι

ακόλουθοι υπολογισμοί. $14,8 \cdot 0,001 \text{ kg CO}_2\text{eq} / 0,001 \text{ MWh} = 14,8 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{MWh}$. Το αιολικό πάρκο της παρούσας μελέτης αποτελείται από 4 Α/Γ ονομαστικής ισχύος 850kW και το αποτέλεσμα αναφορικά με την παγκόσμια υπερθέρμανση είναι $3,36 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{MWh}$. Επίσης, οι Ardente et al. (2008), έχουν λάβει υπόψη τους την επεξεργασία των υλικών σύνθεσης της Α/Γ για την κατασκευή της κάτι το οποίο δεν έχει ληφθεί υπόψη στην παρούσα μελέτη. Ακόμη, η ποσότητα αλλαγής των λιπαντικών ελαίων στη μελέτη των Ardente et al. (2008) είναι 2.500 kg, ενώ στην παρούσα μελέτη 1.500 kg.

Τέλος, οι Kabir et al. (2012), πραγματοποίησαν ΑΚΖ για 3 διαφορετικούς αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής εξετάζοντας τις εκπομπές ως προς την παγκόσμια υπερθέρμανση και την οξίνιση. Το 1^ο αιολικό πάρκο αποτελείται από 20 Α/Γ των 5 kW της εταιρείας Endurance (EN), το 2^ο αιολικό πάρκο αποτελείται από 5 Α/Γ των 20kW της εταιρείας Jacobs (JA) και το 3^ο αιολικό πάρκο αποτελείται από 1 Α/Γ των 100 kW της εταιρείας Northern Power (NP). Ο χρόνος ζωής τους είναι τα 25 έτη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Εκπομπές που συμβάλλουν στην παγκόσμια υπερθέρμανση & την οξίνιση

Επίπτωση (δείκτης/kWh)	1 ^ο Α/Π (20 EN Α/Γ*5 kW)	2 ^ο Α/Π (5 JA Α/Γ*20 kW)	3 ^ο Α/Π (1 NP Α/Γ*100 kW)
Οξίνιση (g SO ₂ eq)	$11,2 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
Παγκόσμια Υπερθέρμανση (g CO ₂ eq)	42,7	25,1	17,8

Πηγή: Kabir et al., 2012

Όμως, τα αποτελέσματα του πίνακα 5.6, πρέπει να μετατραπούν σε kg CO₂eq/ MWh και σε kg SO₂eq / MWh. Δηλαδή, τα g μετατρέπονται σε kg και οι kWh σε MWh. Γνωρίζοντας ότι το $1\text{g}=0,001\text{kg}$ και η $1\text{kWh}=0,001\text{MWh}$ πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι υπολογισμοί. Όπως, διαπιστώθηκε και από τις προηγούμενες όμοιες μετατροπές είναι οι ίδιοι αριθμοί εκφρασμένοι σε kg CO₂eq/ MWh και σε kg SO₂eq /

MWh, αφού πολλαπλασιάζονται και διαιρούνται με τον ίδιο αριθμό. Συνεπώς, τα αποτελέσματα του πίνακα 5.8 μετατρέπονται στα δεδομένα του πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9: Εκπομπές που συμβάλλουν στην παγκόσμια υπερθέρμανση & την οξίνιση

Επίπτωση (δείκτης/MWh)	1° A/Π (20 EN A/Γ*5 kW)	2° A/Π (5 JA A/Γ*20 kW)	3° A/Π (1 NP A/Γ*100 kW)
Οξίνιση (kg SO ₂ eq)	11,2*10 ⁻²	8,8*10 ⁻²	4,2*10 ⁻²
Παγκόσμια Υπερθέρμανση (kg CO ₂ eq)	42,7	25,1	17,8

Πηγή: Kabir et al., 2012

Λαμβάνοντας υπόψη ότι, τα προαναφερόμενα αιολικά πάρκα έχουν χρόνο ζωής 25 έτη ενώ το αιολικό πάρκο του Ν. Λάρισας 20 έτη, εν συνεχεία, συγκρίνονται τα αποτελέσματα του πίνακα 5.9 και τα αποτελέσματα του πίνακα 5.3 της στήλης του συνόλου και ως προς την οξίνιση και την παγκόσμια υπερθέρμανση. Παρατηρείται ότι το αιολικό πάρκο του Ν. Λάρισας έχει τη μικρότερη συμβολή ως προς την οξίνιση και την παγκόσμια υπερθέρμανση σε σχέση με τα αιολικά πάρκα που μελέτησαν οι Kabir et al. (2012). Επειδή, οι Kabir et al. (2012), εξέτασαν και το στάδιο της επεξεργασίας των υλικών της σύνθεσης των Α/Γ και η αλλαγή των λιπαντικών γίνεται κάθε 1 έτος για 25 έτη.

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα είναι το είδος της Α/Γ δηλαδή με ή χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων, η ονομαστική της ισχύς, ο συντελεστής φόρτισής της, καθώς και η τοποθεσία εγκατάστασής της. Επιπροσθέτως, σημαντικός παράγοντας για τα αποτελέσματα είναι ποια στάδια του κύκλου ζωής των Α/Γ λαμβάνονται υπόψη καθώς και η διάρκεια.

Αναλυτικότερα τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο 6.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση κύκλου ζωής έχει εφαρμοστεί στα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, όπως τα συστήματα βιομάζας, τα υδροηλεκτρικά, τα φωτοβολταϊκά, τα αιολικά, κ.λ.π. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση συμπεραίνεται ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Επιπλέον, από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η πιο ρυπογόνος πηγή είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από βιομάζα και η πιο φιλική προς το περιβάλλον είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αιολικά πάρκα.

Αναλυτικότερα, η βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι σαφώς φιλικότερη προς το περιβάλλον από τις συμβατικές πηγές. Όμως, προβληματισμό προκαλεί το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται εκτάσεις γης για την καλλιέργεια των ενεργειακών φυτών, τα οποία χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας, ενώ θα μπορούσαν σε αυτές τις εκτάσεις να καλλιεργηθούν φυτά για τη διατροφή των ανθρώπων. Αναφορικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτά καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια όσον αφορά την παραγωγή τους, λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Δηλαδή, είναι πολύπλοκη η κατασκευή των πανέλων και απαιτούνται πολλά υλικά και ενέργεια, περισσότερα από μια Α/Γ. Η κατασκευή υδροηλεκτρικών μονάδων είναι πιο χρονοβόρα. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια συνηθίζονται σε ορισμένες περιπτώσεις να μετατρέπονται σε υβριδικά λόγω της ενίσχυσής τους από γειτονικές αιολικές μονάδες με αποτέλεσμα να υπάρχει εξισορρόπηση κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, οι αιολικές εγκαταστάσεις συνοδεύουν και εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου κάτι το οποίο είναι σε πειραματικό στάδιο ακόμα τουλάχιστον για την Ελλάδα. Τέλος, τα αιολικά πάρκα αποδείχθηκαν ότι εξισορροπούν κατά πολύ την ενέργεια που καταναλώνουν για την κατασκευή τους με την ενέργεια που παράγουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους.

Για τις αιολικές εγκαταστάσεις, αν εξεταστεί ολόκληρος ο κύκλος ζωής τους, παρατηρείται ότι το στάδιο το οποίο είναι το πιο περιβαλλοντικά επιβαρυνόμενο είναι η επεξεργασία των υλικών κατασκευής των ανεμογεννητριών και το λιγότερο είναι το στάδιο της αποσυναρμολόγησης και διάθεσης των αποβλήτων. Επιπλέον, το στάδιο της μεταφοράς είναι ένα στάδιο σημαντικό ως προς τις εκπομπές ρύπων. Τέλος, η

θαλάσσια οικοτοξικότητα και η παγκόσμια υπερθέρμανση είναι οι δύο βασικές κατηγορίες επιπτώσεων που ενισχύονται κατά τη συναρμολόγηση των Α/Γ και κατά τη μεταφορά τους.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της AKZ σε αιολική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μια AKZ για το υπό κατασκευή αιολικό πάρκο στη θέση «Πάτωμα», στο Δ. Τεμπών, στο Ν. Λάρισα. Το Α/Π αποτελείται από 4 Α/Γ μοντέλου G58 ονομαστικής ισχύος 850kWp η κάθε μια, της Ισπανικής Gamesa. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro 5.1, για τη μοντελοποίηση του προλεγόμενου Α/Π. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος CML 2 Baseline 2000 ενώ για την κανονικοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τη Δυτική Ευρώπη το 1995 (West Europe 1995).

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε τα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα ακόλουθα. Πρώτον, η διάρκεια του κύκλου ζωής ενός αιολικού πάρκου ανέρχεται από 20χρόνια έως 30χρόνια. Δεύτερον, τα στάδια του κύκλου ζωής του είναι 5 βασικά, ήτοι, στάδιο κατασκευής, στάδιο μεταφοράς, στάδιο συναρμολόγησης, στάδιο λειτουργίας-συντήρησης και τέλος στάδιο αποσυναρμολόγησης-διάθεσης αποβλήτων. Τρίτον, η βασική επίπτωση καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του αιολικού πάρκου διαπιστώθηκε ότι είναι η θαλάσσια τοξικότητα και ακολουθεί η παγκόσμια υπερθέρμανση. Τέταρτον, διαπιστώθηκε ότι η κατασκευή του αιολικού πάρκου που εξετάστηκε δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το φυσικό περιβάλλον ως προς τις εκπομπές ρύπων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα είναι το είδος της Α/Γ δηλαδή με ή χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων, η ονομαστική της ισχύς, ο συντελεστής φόρτισής της, καθώς και η τοποθεσία εγκατάστασής της. Εν κατακλείδι, οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τον επηρεασμό των αποτελεσμάτων είναι ποια στάδια του κύκλου ζωής των Α/Γ λαμβάνονται υπόψη καθώς και η διάρκεια του κύκλου ζωής. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο παίζει και η μέθοδος αξιολόγησης των επιπτώσεων που χρησιμοποιείται.

Ακόμη, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της μελέτης AKZ είναι σαφώς καλύτερα από την υπάρχουσα κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα για την ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι επειδή στην Ελλάδα κυριαρχεί ο λιγνίτης για την ηλεκτροπαραγωγή εάν αυτός μειωθεί αυξάνοντας τις εγκαταστάσεις αιολικών

πάρκων τότε όλες οι επιπτώσεις θα μειωθούν αισθητά. Πιο συγκεκριμένα, από την αιολική εγκατάσταση που μελετήθηκε σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση τα αποτελέσματα αναφορικά με τις κατηγορίες επιπτώσεων έχει ως ακολούθως. Για τη θαλάσσια οικοτοξικότητα είναι σχεδόν 400 φορές λιγότερα kg 1,4-DBeq/MWh σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Για την εξάντληση των αβιοτικών πόρων είναι 282 φορές λιγότερα kg Sbeq/MWh, για την οξίνιση 110 φορές λιγότερα kg SO₂eq/MWh, για την παγκόσμια υπερθέρμανση είναι 290 φορές λιγότερα kg CO₂eq/MWh. Για τον ευτροφισμό είναι 5 φορές λιγότερα kg PO₄eq/MWh. Όσο για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού είναι 3 φορές μικρότερα kg 1,4-DBeq/MWh και για την ανθρώπινη τοξικότητα είναι 48 φορές λιγότερα kg 1,4-DBeq/MWh. Επίσης, για την εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος είναι 17 φορές λιγότερα kg CFC-11eq/MWh και για τη φωτοχημική οξείδωση είναι 76 φορές λιγότερα kg C₂H₂/MWh. Τέλος, για την εδαφική οικοτοξικότητα είναι 57 φορές λιγότερα kg 1,4-DBeq/MWh.

Τέλος, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση διαπιστώθηκε ότι σχεδόν όλες οι AKZ εστιάζονται στην επίπτωση της παγκόσμιας υπερθέρμανσης με αποτέλεσμα η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης να εστιαστεί και αυτή σε αυτήν την επίπτωση. Από αυτήν την συγκριτική ανάλυση προέκυψε ότι τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι συγκρίσιμα και κυμαίνονται από 8,82 kg CO₂eq/MWh – 42,7kg CO₂eq/MWh, ενώ το αποτέλεσμα της παρούσας μελέτης είναι 3,36 kg CO₂eq/MWh. Όμως, από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση βρέθηκε και μια AKZ όπου εξέτασε την οξίνιση και τα αποτελέσματα κυμαίνονται από 4,2*10⁻² kg SO₂eq/MWh – 11,2*10⁻² kg SO₂eq/MWh. Τα αποτελέσματα της παρούσας AKZ είναι 0,0042 kg SO₂eq/MWh.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

1. Ardente F, Beccali M, Cellura M, Lo Brano V (2008). Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 200 – 217.
2. Crawford H.R (2009). Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2653 - 2660.
3. Goralczyk M (2003). Life-cycle assessment in the renewable energy sector. *Applied Energy*, 75, 205 - 211.
4. Guezuraga B, Zauner R, Polz W (2012). Life cycle assessment of two different 2MW class wind turbines. *Renewable Energy*, 37, 37 – 44.
5. Kabir M.R, Rooke B, Bassanayake G.D.M, Fleck A.B (2012). Comparative life cycle energy, emission, and economic analysis of 100kW nameplate wind power generation. *Renewable Energy*, 34, 133 – 141.
6. Khan I.F, Hawboldt K, Iqbal T.M (2005). Life Cycle Analysis of wind-fuel cell integrated system. *Renewable Energy*, 30, 157 – 177.
7. Lenzen M, Wachsman U (2004). Wind turbines in Brazil and Germany: an example of geographical variability in life – cycle assessment. *Applied Energy*, 77, 119 - 130.
8. Lydon D.F (1987). Observations on the density and quality of concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Volume 9, Number 4, 205-216.
9. Martinez E, Sanz F, Pellegrini S, Jimenez E, Blanco J (2009). Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. *Renewable Energy*, 34, 667 – 673.
10. Pehnt M (2006). Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31, 55 – 71.
11. Schleisner L (2000). Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renewable Energy*, 20, 279 – 288.
12. Songlin T, Xiliang Z, Licheng W (2011). Life cycle analysis of wind power: A case of Fuzhou. *Energy Procedia*, 5, 1847 – 1851.

13. Tillman A.M (2000). Significance of decision-making for LCA methodology. *Environmental Impact Assessment Review*, 20, 113 – 123.
14. Tremeac B, Meunier F (2009). Life cycle analysis of 4.5MW and 250W wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2104 – 2110.
15. Varun, Bhat I.K, Prakash R (2009). LCA of renewable energy for electricity generation systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1067 – 1073.
16. Wagner H.J, Baack C, Eickelkamp T, Epe A, Lohmann J, Troy S (2011). Life Cycle Assessment of the offshore wind farm alpha ventus. *Energy*, 36, 2459 – 2464.
17. Zhong W.Z, Song B, Loh E.P (2011). LCAs of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine. *Renewable Energy*, 36, 2227 – 2237.

Ελληνική

1. Καρβούνης Σωτ και Γεωργακέλλος Δημ (2003). *Διαχείριση του Περιβάλλοντος. Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη*. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα.

Διαδίκτυο

1. BP. www.bp.gr/Technical_Data_Sheet.pdf, Ημ. Τελευταίας Πρόσβασης: 24/12/2011.
2. ΔΕΗ Ανανεώσιμες. <http://www.ppcr.gr/Home.aspx?C=2>, Ημ. Τελευταίας Πρόσβασης: 20/10/2011
3. ΔΕΣΜΗΕ. www.desmie.gr/leitoyrgia-dedomena/ekkatharisi/miniaia-deltia-energeias, Ημ. Τελευταίας Πρόσβασης: 23/12/2011.
4. ΚΑΠΕ. <http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24761&locale=el>, Ημ. Τελευταίας Πρόσβασης: 20/10/2011

Προσωπική Έρευνα

1. Ελληνική Gamesa. Προσωπική Επικοινωνία.
2. Ιστός Ανανεώσιμες ΕΠΕ. Ενεργειακή Μελέτη Αιολικού Πάρκου Πατώματος. Προσωπική Επικοινωνία.
3. ΟΣΣΑ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ Α.Ε. Γενική Περιγραφή Αιολικό Οικολογικό Πάρκο. Θέση «Πάτωμα», Δ. Τεμπών, Ν. Λάρισας. Προσωπική Επικοινωνία.
4. ΥΕΤΟΣ. Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Αιολικό Οικολογικό Πάρκο Ισχύος 3.4MW στη θέση «Πάτωμα», Δ. Τεμπών, Ν. Λάρισας. Προσωπική Επικοινωνία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1: Απογραφή Δεδομένων για την Θαλάσσια Οικοτοξικότητα, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg 1,4-DB eq	323000000	313000000	9890000
Coal tailings in landfill U	kg 1,4-DB eq	72200000	72200000	3580
Aluminium 0% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	53700000	53700000	2320
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	47700000	47700000	758
Sinter ETH U	kg 1,4-DB eq	44400000	44400000	1350
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg 1,4-DB eq	28600000	x	28600000
Electricity UCPTE coal I	kg 1,4-DB eq	20900000	20900000	x
Coal power plant in E U	kg 1,4-DB eq	11400000	11400000	2980
Lignite power plant in D U	kg 1,4-DB eq	9710000	9710000	3940
Coal power plant in D U	kg 1,4-DB eq	8950000	8940000	2340
Freighter oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	5940000	5940000	140
Lignite power plant in Gr U	kg 1,4-DB eq	5040000	5030000	2040
Crude oil production offshore U	kg 1,4-DB eq	4410000	4410000	3220
Coal power plant in F U	kg 1,4-DB eq	4120000	4120000	1210
Coal power plant in B U	kg 1,4-DB eq	3390000	3390000	883
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg 1,4-DB eq	3340000	3340000	341
Coal power plant in I U	kg 1,4-DB eq	3280000	3280000	919
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	2700000	2700000	2380
Coal power plant in P U	kg 1,4-DB eq	2020000	2020000	508
Coal power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	1290000	1290000	331
Lignite power plant in E U	kg 1,4-DB eq	1180000	1180000	481
Electricity oil I U	kg 1,4-DB eq	1110000	1110000	428
Landfill Ceramics	kg 1,4-DB eq	1030000	x	1030000
Electricity UCPTE gas I	kg 1,4-DB eq	635000	635000	x
Crude oil production onshore U	kg 1,4-DB eq	548000	548000	400
Iron pellets ETH U	kg 1,4-DB eq	534000	534000	16,4
Electricity UCPTE oil I	kg 1,4-DB eq	479000	479000	x
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	473000	473000	193
Tanker oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	442000	442000	334
Steel I	kg 1,4-DB eq	388000	388000	x
Crude iron ETH U	kg 1,4-DB eq	363000	363000	11,1
Landfill Ferro metals	kg 1,4-DB eq	238000	x	238000
Cast iron ETH U	kg 1,4-DB eq	209000	209000	0,00358
Coal power plant in A U	kg 1,4-DB eq	194000	194000	55,9
Lignite power plant in F U	kg 1,4-DB eq	167000	167000	68
Converter steel ETH U	kg 1,4-DB eq	124000	123000	269
Electricity oil P U	kg 1,4-DB eq	100000	100000	39,6

Coal cokes U	kg 1,4-DB eq	95600	95600	2,14
Electricity oil W-D U	kg 1,4-DB eq	94800	94700	37,4
Electricity oil E U	kg 1,4-DB eq	89800	89700	35,4
Uranium natural in concentrate U	kg 1,4-DB eq	89000	89000	32,2
Rail transport ETH U	kg 1,4-DB eq	86200	86200	7,44
Electricity oil Gr U	kg 1,4-DB eq	85300	85200	32,9
HDPE A	kg 1,4-DB eq	77800	77800	x
Residual oil refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	77500	77500	5,33
Electricity oil F U	kg 1,4-DB eq	69300	69200	28,2
Ceramics ETH U	kg 1,4-DB eq	67200	67200	5,8
Coal power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	54600	54600	20,4
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	53300	53300	19,2
Uranium in ore (underground mine) U	kg 1,4-DB eq	49700	49700	18
Drilling waste to land farming U	kg 1,4-DB eq	49100	49000	35,2
Uranium in ore (open mine) U	kg 1,4-DB eq	43700	43700	15,8
Coal ash in landfill U	kg 1,4-DB eq	42700	42700	9,62
Electricity oil NL U	kg 1,4-DB eq	33000	33000	12,7
Electricity oil Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	27800	27800	11,1
Glass fibre I	kg 1,4-DB eq	23500	23500	x
Electricity oil A U	kg 1,4-DB eq	23000	23000	9,05
Crude oil I	kg 1,4-DB eq	22400	22400	x
Coal from underground mine UCPTE U	kg 1,4-DB eq	20200	20200	0,826
Electricity UCPTE nuclear I	kg 1,4-DB eq	18400	18400	x
Electricity oil B U	kg 1,4-DB eq	15200	15100	5,85
Truck 40t ETH U	kg 1,4-DB eq	12700	12500	195
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	9510	9490	19,5
Uranium natural in UF6 U	kg 1,4-DB eq	9470	9470	3,43
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg 1,4-DB eq	7600	7600	2,77
Lignite power plant in A U	kg 1,4-DB eq	7020	7020	2,92
Diesel refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	6550	6510	41,1
Uranium enriched 3.5% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	5180	5180	1,92
HF ETH U	kg 1,4-DB eq	5160	5160	1,87
Phosphoric acid ETH U	kg 1,4-DB eq	5130	5130	0,115
Trailer I	kg 1,4-DB eq	4670	4670	x
Desulphurisation unit U	kg 1,4-DB eq	4470	4470	1,18
Silicate (waterglass) ETH U	kg 1,4-DB eq	4240	4240	1,67
Residual oil in refinery furnace CH U	kg 1,4-DB eq	4190	4180	8,21
Refinery gas refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	3530	3520	2,55
Mineral wool ETH U	kg 1,4-DB eq	3110	3110	0,17
Bitumen refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	2720	2710	7,55
Nickel enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	2380	2370	14,6
Plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	2380	2340	34,6
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg 1,4-DB eq	2350	2350	0,845

LT plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	2160	2140	18,1
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg 1,4-DB eq	1740	1740	0,636
Coal from open mine U	kg 1,4-DB eq	1730	1730	0,183
Drilled metres onshore U	kg 1,4-DB eq	1640	1640	1,18
Sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	1590	1590	0,0355
Electricity oil CH U	kg 1,4-DB eq	1540	1540	0,677
Wood chip furnace 300kW U	kg 1,4-DB eq	1090	1080	1,05
Diesel I	kg 1,4-DB eq	1060	1060	x
Electro steel ETH U	kg 1,4-DB eq	1020	1020	2,14
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	1010	1010	0,362
Float glass uncoated ETH U	kg 1,4-DB eq	857	847	9,38
Refinery sludge to landfarming U	kg 1,4-DB eq	856	855	0,59
Electricity oil L U	kg 1,4-DB eq	853	853	0,347
Lead ETH U	kg 1,4-DB eq	817	807	10,1
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	787	787	0,309
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg 1,4-DB eq	754	754	0,296
Plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	478	474	4,01
Coal from underground mine S-Africa U	kg 1,4-DB eq	467	467	0,0696
LT drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	432	431	0,309
Coal from underground mine E-Europe U	kg 1,4-DB eq	409	409	0,0467
Coal from stock UCPTU U	kg 1,4-DB eq	398	398	0,0196
Spent fuel processing U	kg 1,4-DB eq	393	393	0,142
Cement ETH U	kg 1,4-DB eq	374	372	1,71
Copper ETH U	kg 1,4-DB eq	362	361	0,489
Naphtha refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	338	333	5
LT plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	302	298	4,39
Fuel oil lowS refinery CH U	kg 1,4-DB eq	281	280	0,587
Uranium 3.4% in fuel element PWR F U	kg 1,4-DB eq	250	250	0,0899
NaOH ETH U	kg 1,4-DB eq	230	230	0,0104
LT decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	229	228	0,0479
Waste to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	206	205	0,525
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	188	187	0,129
Zinc for plating ETH U	kg 1,4-DB eq	170	169	1,6
Refinery gas in furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	154	154	0,111
LT waste to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	117	117	0,0372
Truck 28t ETH U	kg 1,4-DB eq	117	116	0,0213
Electricity UCPTU hydro I	kg 1,4-DB eq	109	109	x
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	98,2	98,1	0,0677

Coal from underground mine N-America U	kg 1,4-DB eq	96,9	96,9	0,021
Coal from underground mine Australia U	kg 1,4-DB eq	87,2	87,2	0,0152
Heating oil petro refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	85,8	85,5	0,316
Wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	75,5	75,5	0,0192
Gypsum ETH U	kg 1,4-DB eq	75,5	75,2	0,346
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg 1,4-DB eq	70,6	70,6	0,0253
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	64,3	64,2	0,0234
Residual oil stock Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	60,8	60,8	0,00174
Rhodium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	50,3	50	0,242
Passenger car W-Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	48,4	47,7	0,71
Petroleum gas flaring U	kg 1,4-DB eq	35,6	35,6	0,026
LT wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	35,2	35,2	0,00896
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg 1,4-DB eq	34,1	33,9	0,214
Platinum ETH U	kg 1,4-DB eq	31,1	31	0,155
LT sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	30,2	30,2	0,000675
Uranium 3.4% in fuel element BWR D U	kg 1,4-DB eq	28,9	28,9	0,0104
Coaster I	kg 1,4-DB eq	26,7	26,7	x
LT refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	23,3	23,3	0,0161
Truck 16t ETH U	kg 1,4-DB eq	22,1	22,1	0,0172
Coal from stock S-Africa U	kg 1,4-DB eq	21,5	21,5	0,00321
Palladium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	18,7	18,6	0,0887
Coal from stock E-Europe U	kg 1,4-DB eq	13,6	13,6	0,00156
Residual oil refinery CH U	kg 1,4-DB eq	11,8	11,7	0,00681
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	11,4	11,4	0,00505
Drilled metres offshore U	kg 1,4-DB eq	11,3	11,3	0,00809
Bilge oil to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	10,2	10,2	0,000899
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg 1,4-DB eq	8,79	8,78	0,00641
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg 1,4-DB eq	8,37	8,37	0,00332
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg 1,4-DB eq	8,35	8,35	0,00327
Diesel stock Europe U	kg 1,4-DB eq	8,33	8,28	0,0523
Coal from stock Australia U	kg 1,4-DB eq	8,04	8,04	0,0014
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	7,9	7,89	0,00291
Pipeline transport gas NL U	kg 1,4-DB eq	7,48	7,48	0,00206
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg 1,4-DB eq	7,07	7,07	0,00517
Output flare production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	6,99	6,98	0,00189
Output gas turbine production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	6,65	6,65	0,00181
Pipeline transport gas GUS U	kg 1,4-DB eq	6,28	6,27	0,00172

Chlorine ETH U	kg 1,4-DB eq	6,26	6,26	0,00181
Coal from stock N-America U	kg 1,4-DB eq	5,95	5,95	0,00129
Petrol leaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	5,47	5,39	0,0803
Coal from stock S-America U	kg 1,4-DB eq	5,19	5,19	0,000896
Bitumen refinery CH U	kg 1,4-DB eq	4,39	4,38	0,00516
Oil sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	4,15	4,15	0,00296
Produced natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	3,75	3,75	0,00103
Ethylene ETH U	kg 1,4-DB eq	3,72	3,66	0,055
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg 1,4-DB eq	2,69	2,69	0,00152
Petroleum gas blow off U	kg 1,4-DB eq	2,57	2,57	0,00188
Electricity gas power plant in I U	kg 1,4-DB eq	2,55	2,54	0,000812
Electricity gas power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	2,51	2,51	0,000801
Electricity gas power plant in W-D U	kg 1,4-DB eq	2,43	2,43	0,000825
Pipeline transport gas N U	kg 1,4-DB eq	2,35	2,35	0,000639
Produced natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	2,32	2,32	0,000639
Refinery gas refinery CH U	kg 1,4-DB eq	2,32	2,32	0,00455
Pipeline transport gas D U	kg 1,4-DB eq	1,92	1,92	0,000488
Petrol unleaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	1,78	1,76	0,0261
Pipeline transport gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	1,59	1,59	0,000431
Waste from cooling U	kg 1,4-DB eq	1,5	1,5	0,000476
Produced natural gas D U	kg 1,4-DB eq	1,2	1,2	0,000304
PP ETH U	kg 1,4-DB eq	1,02	1	0,0154
Leakage raw natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,983	0,982	0,00027
Wood ash mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,969	0,968	0,000939
LT wood ashes mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,966	0,965	0,000936
Produced natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,957	0,956	0,000254
Output gas turbine production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,931	0,93	0,000245
Produced natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,75	0,75	0,000204
Pipeline transport gas U	kg 1,4-DB eq	0,748	0,748	0,000194
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg 1,4-DB eq	0,711	0,71	0,000739
LT bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,676	0,675	0,000553
MWI 95 per kg (process specific) U	kg 1,4-DB eq	0,656	0,654	0,00156
Electricity gas power plant in B U	kg 1,4-DB eq	0,632	0,632	0,000209
Carbon black ETH U	kg 1,4-DB eq	0,575	0,567	0,00875
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg 1,4-DB eq	0,559	0,559	0,000203
Electricity gas power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,554	0,554	0,000178
MG-Silicium ETH U	kg 1,4-DB eq	0,547	0,547	0,000309
Diesel in building equipment U	kg 1,4-DB eq	0,534	0,533	0,00113
Fuel oil lowS stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,529	0,528	0,0011

Output flare production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,423	0,423	0,000116
Refinery gas in furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,406	0,405	0,000796
Vinyl chloride ETH U	kg 1,4-DB eq	0,403	0,403	0,0000718
Electricity gas power plant in F U	kg 1,4-DB eq	0,391	0,391	0,000147
Leakage raw natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,38	0,38	0,000105
Crude oil in drill tests U	kg 1,4-DB eq	0,362	0,362	0,000259
Petrol leaded refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,264	0,264	0,0000438
Aluminium 100% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	0,237	0,237	0,000134
Leakage production natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,196	0,196	0,0000539
Decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,175	0,175	0,0000366
LDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,153	0,153	0,0000401
Waste collection municipality per kg U	kg 1,4-DB eq	0,141	0,139	0,00203
Power saw (per hour) U	kg 1,4-DB eq	0,129	0,129	0,0000215
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,126	0,126	0,0000454
Leakage raw natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,121	0,121	0,0000308
Leakage raw natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,0969	0,0969	0,0000258
Phenol ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0922	0,0918	0,000394
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,09	0,09	0,0000323
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,0818	0,0818	0,0000239
Leakage raw natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,076	0,076	0,0000207
LT asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0745	0,0745	0,000071
Excavation hydraulic digger U	kg 1,4-DB eq	0,0706	0,0706	0,000008
PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0512	0,0512	0,0000489
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,0479	0,0479	0,0000173
Electricity gas power plant in L U	kg 1,4-DB eq	0,0459	0,0459	0,0000191
Diesel refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0444	0,0437	0,000641
Propylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0428	0,0422	0,000516
Leakage production natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,0367	0,0367	0,00000957
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,035	0,035	0,0000126
Drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0348	0,0348	0,000025
Electricity gas power plant in E U	kg 1,4-DB eq	0,032	0,032	0,0000129
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,0291	0,0291	0,0000109
Leakage production natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,0291	0,0291	0,00000801
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,0215	0,0215	0,00000784
Emission process water	kg 1,4-DB eq	0,0163	0,0163	0,00000445

natural gas U				
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0161	0,0161	0,00000585
Fuel oil lowS stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0145	0,0145	0,00000641
Leakage production natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,0092	0,0092	0,00000234
Petrol leaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00693	0,00683	0,000102
Leakage production natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0063	0,0063	0,00000171
Excavation skid steer loader U	kg 1,4-DB eq	0,0054	0,00537	0,0000288
Leakage natural gas UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,00491	0,00491	0,00000157
Bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00371	0,0037	0,00000303
PVC high impact ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00296	0,00296	0,000000527
Freighter inland ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00268	0,00268	9,74E-08
Paraxylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00237	0,00236	0,0000101
Petrol unleaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00226	0,00222	0,0000331
Diesel in diesel generator onshore U	kg 1,4-DB eq	0,00222	0,00222	0,0000016
Delivery van <3.5t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0022	0,00219	0,000012
Diesel in diesel generator offshore U	kg 1,4-DB eq	0,00178	0,00178	0,00000129
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,000836	0,000835	0,000000328
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,000836	0,000835	0,000000328
Petrol leaded stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,000501	0,000501	8,32E-08
Tanker inland ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000454	0,000454	0,000000255
LT PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000336	0,000336	0,000000321
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000191	0,00019	0,000000464
LT carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000157	0,000156	0,00000088
Train I	kg 1,4-DB eq	0,0000998	0,0000998	x
HDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000991	0,0000976	0,00000148
Diesel stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000837	0,0000825	0,00000121
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg 1,4-DB eq	0,0000812	0,0000811	4,11E-08
Carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0000729	0,0000725	0,000000409
Formaldehyde ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000309	0,0000308	0,000000128
Fuel oil lowS 2000 stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000303	0,0000303	0,000000011
Crude oil transport Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0000233	0,0000233	1,68E-08
Asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0000212	0,0000212	2,02E-08
Crude oil transport GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0000188	0,0000188	1,32E-08
Crude oil transport N-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,00000985	0,00000984	7,59E-09
Crude oil transport M-East U	kg 1,4-DB eq	0,00000869	0,00000868	6,7E-09
Crude oil transport C-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,00000505	0,00000505	3,84E-09
Emission process water petroleum gas U	kg 1,4-DB eq	0,00000259	0,00000259	7,04E-10
Crude oil transport S-America U	kg 1,4-DB eq	0,00000226	0,00000226	1,59E-09
Crude oil transport N-	kg 1,4-DB eq	0,000000891	0,00000089	6,22E-10

America U				
CORUS slags I	kg 1,4-DB eq	0	0	x
Coke S	kg 1,4-DB eq	-428	x	-428
Electricity UCPTE High Voltage	kg 1,4-DB eq	-1180000	x	-1180000
Sinter, pellet	kg 1,4-DB eq	-18800000	x	-18800000

Πίνακας Π.2: Απογραφή Δεδομένων για την Εξάντληση Αβιοτικών Πόρων, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg Sb eq	5230	6300	-1080
Coal from underground mine UCPTE U	kg Sb eq	2050	2050	0,0835
Steel I	kg Sb eq	1300	1300	x
Crude oil production onshore U	kg Sb eq	530	529	0,387
Crude oil production offshore U	kg Sb eq	426	426	0,311
Energy gas I	kg Sb eq	334	334	x
Crude oil I	kg Sb eq	309	309	x
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg Sb eq	248	x	248
Glass fibre I	kg Sb eq	232	232	x
Copper I	kg Sb eq	205	205	x
Coal from open mine U	kg Sb eq	149	149	0,0158
Diesel I	kg Sb eq	133	133	x
Electricity UCPTE gas I	kg Sb eq	112	112	x
Electricity UCPTE coal I	kg Sb eq	112	112	x
Crude lignite mine UCPTE U	kg Sb eq	81,4	81,4	0,0331
Energy oil I	kg Sb eq	66,4	66,4	x
Coal from underground mine S-Africa U	kg Sb eq	47,2	47,2	0,00703
Coal from underground mine E-Europe U	kg Sb eq	41,4	41,4	0,00472
Energy Australia I	kg Sb eq	40,5	40,5	x
Raw natural gas NL U	kg Sb eq	32,9	32,9	0,00905
HDPE A	kg Sb eq	30,6	30,6	x
Raw natural gas GUS U	kg Sb eq	20,4	20,4	0,00561
Raw natural gas D U	kg Sb eq	10,5	10,5	0,00267
Coal from underground mine N-America U	kg Sb eq	9,79	9,79	0,00212
Electricity UCPTE oil I	kg Sb eq	9,11	9,11	x
Coal from underground mine Australia U	kg Sb eq	8,82	8,82	0,00154
Raw natural gas Alg. U	kg Sb eq	8,39	8,39	0,00223
Raw natural gas N U	kg Sb eq	6,58	6,58	0,00179
Scrap (copper) I	kg Sb eq	1,16	1,16	x
Output gas turbine production sweet gas U	kg Sb eq	0,691	0,691	0,000188
Output flare production sweet gas U	kg Sb eq	0,403	0,403	0,000109

Diesel B	kg Sb eq	0,368	x	0,368
Crude oil in drill tests U	kg Sb eq	0,16	0,159	0,000114
Electricity UCPTE nuclear I	kg Sb eq	0,116	0,116	x
Output gas turbine production sour gas U	kg Sb eq	0,0967	0,0967	0,0000255
Lead ETH U	kg Sb eq	0,084	0,083	0,00104
Copper ETH U	kg Sb eq	0,0414	0,0414	0,000056
Output flare production sour gas U	kg Sb eq	0,0244	0,0244	0,00000668
Iron ore from mine ETH U	kg Sb eq	0,0115	0,0115	0,000000351
Chromium ETH U	kg Sb eq	0,00342	0,00341	0,0000154
Cadmium free brazing ETH U	kg Sb eq	0,00274	0,00274	0,00000189
Electricity UCPTE hydro I	kg Sb eq	0,00173	0,00173	x
Scrap (iron) I	kg Sb eq	0,00164	0,00164	x
Uranium in ore (open mine) U	kg Sb eq	0,00162	0,00162	0,000000587
Uranium in ore (underground mine) U	kg Sb eq	0,00108	0,00108	0,000000391
Rhodium enriched ETH U	kg Sb eq	0,000305	0,000304	0,00000147
Zinc for plating ETH U	kg Sb eq	0,000219	0,000217	0,00000207
Nickel enriched ETH U	kg Sb eq	0,000189	0,000188	0,00000116
Manganese ETH U	kg Sb eq	0,0000317	0,0000316	8,11E-08
Aluminium 0% recycled ETH U	kg Sb eq	0,0000203	0,0000203	8,76E-10
Platinum ETH U	kg Sb eq	0,0000131	0,0000131	6,54E-08
Refinery gas refinery Europe U	kg Sb eq	0,00000533	0,00000533	3,85E-09
Palladium enriched ETH U	kg Sb eq	0,00000286	0,00000284	1,36E-08
Naphtha refinery Europe U	kg Sb eq	0,00000159	0,00000157	2,35E-08
Diesel refinery Europe U	kg Sb eq	5,99E-08	5,95E-08	3,76E-10
Fuel oil lowS refinery CH U	kg Sb eq	3,69E-08	3,69E-08	7,72E-11
Petrol leaded refinery Europe U	kg Sb eq	2,64E-08	0,000000026	3,87E-10
Petrol unleaded refinery Europe U	kg Sb eq	8,38E-09	8,26E-09	1,23E-10
Refinery gas refinery CH U	kg Sb eq	4,98E-09	4,97E-09	9,76E-12
Petrol leaded refinery CH U	kg Sb eq	1,43E-09	1,43E-09	2,38E-13
Heating oil petro refinery Europe U	kg Sb eq	7,84E-10	7,81E-10	2,89E-12
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg Sb eq	1,04E-10	1,04E-10	4,62E-14
Diesel refinery CH U	kg Sb eq	5,83E-12	5,75E-12	8,43E-14
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg Sb eq	2,11E-12	2,11E-12	7,69E-16
CORUS slags I	kg Sb eq	0	0	x
Iron ore	kg Sb eq	-0,00313	x	-0,00313
Lime stone bj	kg Sb eq	-0,235	x	-0,235
Electricity UCPTE High Voltage	kg Sb eq	-10,2	x	-10,2
Natural gas B	kg Sb eq	-142	x	-142
Crude coal bj	kg Sb eq	-370	x	-370
Crude coal B	kg Sb eq	-802	x	-802

Πίνακας Π.3: Απογραφή Δεδομένων για την Οξίνιση, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg SO2 eq	8850	8830	21,6
Copper I	kg SO2 eq	3700	3700	x
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg SO2 eq	1810	1810	0,0287
Bulk carrier I	kg SO2 eq	839	839	x
Freighter oceanic ETH U	kg SO2 eq	529	529	0,0125
Steel I	kg SO2 eq	447	447	x
Cast iron ETH U	kg SO2 eq	238	238	0,00000408
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg SO2 eq	195	x	195
Sinter ETH U	kg SO2 eq	130	130	0,00397
Glass fibre I	kg SO2 eq	128	128	x
Energy oil I	kg SO2 eq	76,9	76,9	x
Lignite power plant in D U	kg SO2 eq	75,1	75,1	0,0305
Electricity UCPTE coal I	kg SO2 eq	63,9	63,9	x
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg SO2 eq	60,4	60,4	0,0533
Electricity oil I U	kg SO2 eq	53,4	53,4	0,0206
Energy gas I	kg SO2 eq	52,8	52,8	x
Coal cokes U	kg SO2 eq	41,9	41,9	0,000939
Coal power plant in E U	kg SO2 eq	41,4	41,4	0,0108
Energy Australia I	kg SO2 eq	39,7	39,7	x
Tanker oceanic ETH U	kg SO2 eq	35,6	35,6	0,0269
Barge I	kg SO2 eq	34,9	34,9	x
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg SO2 eq	30,8	30,8	0,00314
Truck 40t ETH U	kg SO2 eq	29,6	29,2	0,456
Lignite power plant in Gr U	kg SO2 eq	29	29	0,0117
Lignite power plant in E U	kg SO2 eq	24,8	24,7	0,0101
Residual oil refinery Europe U	kg SO2 eq	23,3	23,3	0,0016
Crude iron ETH U	kg SO2 eq	23,2	23,2	0,000707
Coal power plant in D U	kg SO2 eq	19,9	19,9	0,0052
Electricity UCPTE oil I	kg SO2 eq	18	18	x
Diesel in diesel generator onshore U	kg SO2 eq	17	17	0,0123
Diesel in building equipment U	kg SO2 eq	17	17	0,0359
Coal power plant in F U	kg SO2 eq	14	14	0,00412
Refinery gas in furnace Europe U	kg SO2 eq	13,8	13,8	0,00995
HDPE A	kg SO2 eq	13,1	13,1	x
Diesel I	kg SO2 eq	12,9	12,9	x
Coal power plant in I U	kg SO2 eq	12,9	12,9	0,0036
Petroleum gas flaring U	kg SO2 eq	11,9	11,9	0,00867
Coal power plant in B U	kg SO2 eq	8,44	8,43	0,0022
Electricity UCPTE gas I	kg SO2 eq	8,24	8,24	x
Coal power plant in P U	kg SO2 eq	7,6	7,6	0,00191
Rail transport ETH U	kg SO2 eq	6,36	6,36	0,000548
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg SO2 eq	5,9	5,9	0,0024
Diesel in diesel generator offshore U	kg SO2 eq	5,75	5,74	0,00416

Freighter inland ETH U	kg SO2 eq	5,56	5,56	0,000202
Nickel enriched ETH U	kg SO2 eq	5,04	5,01	0,031
Electricity oil P U	kg SO2 eq	4,84	4,83	0,00191
Electricity oil W-D U	kg SO2 eq	4,55	4,55	0,0018
Electricity oil E U	kg SO2 eq	4,33	4,32	0,00171
Electricity oil Gr U	kg SO2 eq	4,1	4,1	0,00158
Explosives ETH U	kg SO2 eq	3,53	3,53	0,000142
Electricity oil F U	kg SO2 eq	3,34	3,33	0,00136
Electricity gas power plant in I U	kg SO2 eq	3,11	3,11	0,000994
Copper ETH U	kg SO2 eq	3,07	3,07	0,00416
Coal power plant in NL U	kg SO2 eq	2,55	2,55	0,000653
Train I	kg SO2 eq	2,38	2,38	x
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg SO2 eq	2,27	2,27	0,00166
Excavation hydraulic digger U	kg SO2 eq	2,23	2,23	0,000253
Electricity gas power plant in W-D U	kg SO2 eq	2,01	2,01	0,000681
Diesel refinery Europe U	kg SO2 eq	1,97	1,96	0,0124
Electricity oil NL U	kg SO2 eq	1,59	1,59	0,000611
Lignite power plant in F U	kg SO2 eq	1,53	1,53	0,000625
Crude oil I	kg SO2 eq	1,52	1,52	x
Cement ETH U	kg SO2 eq	1,48	1,47	0,00676
Electricity oil Ex-Ju U	kg SO2 eq	1,34	1,34	0,000536
Produced natural gas D U	kg SO2 eq	1,15	1,15	0,000291
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg SO2 eq	1,14	1,14	0,00083
Electricity oil A U	kg SO2 eq	1,11	1,1	0,000435
Electricity gas power plant in NL U	kg SO2 eq	1,1	1,1	0,000351
Refinery gas refinery Europe U	kg SO2 eq	1,06	1,06	0,000767
Tanker inland ETH U	kg SO2 eq	1,01	1,01	0,000568
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg SO2 eq	0,988	0,986	0,00202
Ammonia ETH U	kg SO2 eq	0,966	0,965	0,000165
H2SO4 ETH U	kg SO2 eq	0,894	0,894	0,000128
Produced natural gas GUS U	kg SO2 eq	0,89	0,89	0,000245
Bitumen refinery Europe U	kg SO2 eq	0,817	0,815	0,00227
Electricity oil B U	kg SO2 eq	0,729	0,729	0,000282
Trailer I	kg SO2 eq	0,697	0,697	x
Truck I	kg SO2 eq	0,664	0,664	x
Coal power plant in Ex-Ju U	kg SO2 eq	0,605	0,605	0,000226
Carbon black ETH U	kg SO2 eq	0,6	0,591	0,00912
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg SO2 eq	0,594	0,593	0,000335
Output gas turbine pipeline GUS U	kg SO2 eq	0,582	0,582	0,00016
Output gas turbine production sour gas U	kg SO2 eq	0,553	0,553	0,000146
Coaster I	kg SO2 eq	0,426	0,426	x
Truck 28t ETH U	kg SO2 eq	0,301	0,301	0,000055
Output flare production sour gas U	kg SO2 eq	0,274	0,274	0,000075
Electricity gas power plant in A U	kg SO2 eq	0,255	0,254	0,0000817
Crude oil in drill tests U	kg SO2 eq	0,229	0,229	0,000164
Electricity gas power plant in B U	kg SO2 eq	0,229	0,228	0,0000756
NOx retained in SCR U	kg SO2 eq	0,221	0,221	0,000069

Coal power plant in A U	kg SO2 eq	0,21	0,21	0,0000605
Output gas turbine production sweet gas U	kg SO2 eq	0,185	0,185	0,0000503
Excavation skid steer loader U	kg SO2 eq	0,172	0,171	0,000917
Electricity oil CH U	kg SO2 eq	0,147	0,147	0,0000645
Nitric acid ETH U	kg SO2 eq	0,135	0,135	0,000034
Electricity UCPTE nuclear I	kg SO2 eq	0,134	0,134	x
Output flare production sweet gas U	kg SO2 eq	0,129	0,129	0,0000349
Electricity gas power plant in F U	kg SO2 eq	0,118	0,118	0,0000444
Truck 16t ETH U	kg SO2 eq	0,108	0,108	0,0000841
Naphtha refinery Europe U	kg SO2 eq	0,102	0,1	0,0015
Residual oil in refinery furnace CH U	kg SO2 eq	0,0952	0,095	0,000187
Diesel engine truck B	kg SO2 eq	0,0878	x	0,0878
Lignite power plant in A U	kg SO2 eq	0,0867	0,0867	0,0000361
Diesel B	kg SO2 eq	0,0853	x	0,0853
Fuel oil lowS refinery CH U	kg SO2 eq	0,0795	0,0793	0,000166
Rhodium enriched ETH U	kg SO2 eq	0,0755	0,0751	0,000363
Wood chip furnace 300kW U	kg SO2 eq	0,0724	0,0723	0,0000701
Produced natural gas N U	kg SO2 eq	0,0721	0,0721	0,0000196
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg SO2 eq	0,0673	0,0672	0,0000196
Output gas turbine pipeline NL U	kg SO2 eq	0,0618	0,0618	0,000017
Sludge to HA chemical landfill U	kg SO2 eq	0,0614	0,0614	0,00000137
Passenger car W-Europe ETH U	kg SO2 eq	0,0568	0,056	0,000834
Platinum ETH U	kg SO2 eq	0,0461	0,0459	0,000229
Mineral wool ETH U	kg SO2 eq	0,0437	0,0437	0,00000238
Electricity oil L U	kg SO2 eq	0,041	0,041	0,0000167
Output gas turbine pipeline Alg U	kg SO2 eq	0,0409	0,0409	0,0000111
Electricity gas power plant in L U	kg SO2 eq	0,0396	0,0395	0,0000165
Output gas turbine pipeline N U	kg SO2 eq	0,0364	0,0364	0,00000989
MWI 95 per kg (process specific) U	kg SO2 eq	0,0322	0,0321	0,0000764
Electricity gas power plant in E U	kg SO2 eq	0,0316	0,0316	0,0000127
Electro steel ETH U	kg SO2 eq	0,0297	0,0296	0,0000622
Refinery gas in furnace CH U	kg SO2 eq	0,0284	0,0284	0,0000558
Gypsum ETH U	kg SO2 eq	0,0281	0,028	0,000129
Palladium enriched ETH U	kg SO2 eq	0,0275	0,0274	0,00013
Waste to special waste incinerator U	kg SO2 eq	0,0268	0,0267	0,0000685
Heating oil petro refinery Europe U	kg SO2 eq	0,0258	0,0257	0,000095
Converter steel ETH U	kg SO2 eq	0,0197	0,0197	0,0000428
PP ETH U	kg SO2 eq	0,0187	0,0184	0,000283
Uranium natural in UF6 U	kg SO2 eq	0,0163	0,0163	0,0000059
Output gas turbine pipeline D U	kg SO2 eq	0,0159	0,0159	0,00000403
Output gas turbine TJin U	kg SO2 eq	0,0133	0,0133	0,00000328
Output Gasmotor Alg. U	kg SO2 eq	0,0131	0,0131	0,00000339
Ceramics ETH U	kg SO2 eq	0,0113	0,0113	0,000000978
Uranium natural in concentrate U	kg SO2 eq	0,00983	0,00982	0,00000355
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg SO2 eq	0,00833	0,00828	0,0000524
Output gas turbine NL U	kg SO2 eq	0,00718	0,00718	0,00000211
Wooden poles to MWI U	kg SO2 eq	0,00692	0,00692	0,00000176

Soda ETH U	kg SO2 eq	0,00683	0,00682	0,00000917
Output gas turbine pipeline UCPTE U	kg SO2 eq	0,00617	0,00617	0,0000016
Bilge oil to special waste incinerator U	kg SO2 eq	0,00454	0,00454	0,0000004
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg SO2 eq	0,00451	0,00451	0,00000311
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg SO2 eq	0,00425	0,00425	0,00000293
Plastics to MWI U	kg SO2 eq	0,0037	0,00365	0,0000538
Waste from cooling U	kg SO2 eq	0,00352	0,00352	0,00000112
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg SO2 eq	0,00343	0,00343	0,00000152
Residual oil refinery CH U	kg SO2 eq	0,00333	0,00333	0,00000193
Output gas turbine D U	kg SO2 eq	0,00311	0,00311	0,000000998
Spent fuel processing U	kg SO2 eq	0,00263	0,00263	0,000000951
Output gas turbine GUS U	kg SO2 eq	0,00207	0,00207	0,00000057
Produced natural gas NL U	kg SO2 eq	0,00176	0,00176	0,000000484
Petrol leaded refinery Europe U	kg SO2 eq	0,00164	0,00162	0,0000241
Bitumen refinery CH U	kg SO2 eq	0,00124	0,00124	0,00000146
Output gas turbine Alg. U	kg SO2 eq	0,00106	0,00106	0,000000282
Electricity UCPTE hydro I	kg SO2 eq	0,00101	0,00101	x
Uranium 3.4% in fuel element PWR F U	kg SO2 eq	0,000985	0,000984	0,000000354
Bitumen to HA chemical landfill U	kg SO2 eq	0,000914	0,000914	0,000000748
Waste collection municipality per kg U	kg SO2 eq	0,00085	0,000837	0,0000123
Output gas turbine N U	kg SO2 eq	0,000785	0,000785	0,000000213
Refinery gas refinery CH U	kg SO2 eq	0,000657	0,000656	0,00000129
Petrol unleaded refinery Europe U	kg SO2 eq	0,000535	0,000527	0,00000786
Refinery sludge to landfarming U	kg SO2 eq	0,000525	0,000524	0,000000361
Plastics to HA chemical landfill U	kg SO2 eq	0,000456	0,000453	0,00000382
Produced natural gas Alg. U	kg SO2 eq	0,000449	0,000448	0,000000119
Uranium in ore (underground mine) U	kg SO2 eq	0,000431	0,000431	0,000000156
Output Gasmotor NL U	kg SO2 eq	0,000419	0,000419	0,000000115
Silicate (waterglass) ETH U	kg SO2 eq	0,000403	0,000403	0,000000159
Oil sludge to special waste incinerator U	kg SO2 eq	0,000383	0,000383	0,000000273
Output Gasmotor GUS U	kg SO2 eq	0,000352	0,000352	9,67E-08
Paper ETH U	kg SO2 eq	0,000329	0,000326	0,00000315
Power saw (per hour) U	kg SO2 eq	0,00032	0,00032	5,31E-08
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg SO2 eq	0,000279	0,000278	9,99E-08
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg SO2 eq	0,000253	0,000253	9,22E-08
HF ETH U	kg SO2 eq	0,000181	0,000181	6,56E-08
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg SO2 eq	0,000174	0,000174	0,000000181
Output Gasmotor N U	kg SO2 eq	0,000132	0,000132	3,58E-08
Uranium 3.4% in fuel element BWR D U	kg SO2 eq	0,000114	0,000114	0,000000041
Output Gasmotor D U	kg SO2 eq	0,000108	0,000108	2,73E-08
Float glass uncoated ETH U	kg SO2 eq	8,14E-05	0,0000805	0,000000891
Petrol leaded refinery CH U	kg SO2 eq	7,64E-05	0,0000763	1,27E-08
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg SO2 eq	6,59E-05	0,0000659	0,000000024

Ureum ETH U	kg SO2 eq	5,74E-05	0,0000572	0,000000234
Paraxylene ETH U	kg SO2 eq	4,64E-05	0,0000462	0,000000198
Pipeline transport gas GUS U	kg SO2 eq	4,47E-05	0,0000447	1,23E-08
Output gasmotor TJin U	kg SO2 eq	4,19E-05	0,0000419	1,09E-08
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg SO2 eq	0,000033	0,000033	1,31E-08
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg SO2 eq	3,29E-05	0,0000329	1,29E-08
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg SO2 eq	3,11E-05	0,0000311	1,15E-08
Wood ash mixed to MWI U	kg SO2 eq	0,000023	0,000023	2,23E-08
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg SO2 eq	2,12E-05	0,0000211	5,14E-08
Diesel refinery CH U	kg SO2 eq	1,26E-05	0,0000124	0,000000181
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg SO2 eq	1,16E-05	0,0000116	5,87E-09
Pipeline transport gas NL U	kg SO2 eq	8,91E-06	0,0000089	2,45E-09
Pipeline transport gas Alg. U	kg SO2 eq	5,9E-06	0,0000059	1,6E-09
Pipeline transport gas N U	kg SO2 eq	5,25E-06	0,00000524	1,43E-09
Asphalt to HA chemical landfill U	kg SO2 eq	5,22E-06	0,00000521	4,97E-09
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg SO2 eq	4,55E-06	0,00000455	1,66E-09
Delivery van <3.5t ETH U	kg SO2 eq	3,42E-06	0,0000034	1,86E-08
Pipeline transport gas D U	kg SO2 eq	2,29E-06	0,00000229	5,81E-10
Natural gas HP user in Europe U	kg SO2 eq	1,64E-06	0,00000164	3,65E-10
MG-Silicium ETH U	kg SO2 eq	1,16E-06	0,00000116	6,57E-10
Pipeline transport gas U	kg SO2 eq	8,9E-07	0,00000089	2,31E-10
Packaging carton ETH U	kg SO2 eq	6,22E-07	0,000000622	9,29E-10
Natural gas HP user in D U	kg SO2 eq	4,86E-07	0,000000486	1,65E-10
Natural gas HP user in I U	kg SO2 eq	3,72E-07	0,000000372	1,19E-10
Natural gas HP user in NL U	kg SO2 eq	2,52E-07	0,000000252	8,04E-11
Natural gas HP user in A U	kg SO2 eq	1,04E-07	0,000000104	3,34E-11
Natural gas HP user in B U	kg SO2 eq	1,02E-07	0,000000102	3,38E-11
Output gas turbine CH U	kg SO2 eq	9,85E-08	9,84E-08	4,99E-11
Aluminium 100% recycled ETH U	kg SO2 eq	5,28E-08	5,28E-08	2,98E-11
Natural gas HP user in F U	kg SO2 eq	3,66E-08	3,66E-08	1,38E-11
Carton to MWI U	kg SO2 eq	2,75E-08	2,74E-08	1,54E-10
PE to MWI U	kg SO2 eq	1,08E-08	1,08E-08	1,03E-11
Natural gas HP user in E U	kg SO2 eq	4,92E-10	4,92E-10	1,98E-13
Natural gas HP user in CH U	kg SO2 eq	2,64E-11	2,64E-11	1,34E-14
CORUS slags I	kg SO2 eq	0	0	x
Furnace gas B	kg SO2 eq	-0,241	x	-0,241
Lime stone bj	kg SO2 eq	-0,351	x	-0,351
Electricity UCPTE High Voltage	kg SO2 eq	-8	x	-8
Natural gas B	kg SO2 eq	-14,4	x	-14,4
Iron	kg SO2 eq	-16,2	x	-16,2
Crude coal B	kg SO2 eq	-21,2	x	-21,2
Sinter, pellet	kg SO2 eq	-37,8	x	-37,8
Coke S	kg SO2 eq	-76	x	-76

Πίνακας Π.4: Απογραφή Δεδομένων για την Παγκόσμια Υπερθέρμανση, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg CO2 eq	711000	726000	-15100
Steel I	kg CO2 eq	118000	118000	x
Crude iron ETH U	kg CO2 eq	101000	101000	3,09
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg CO2 eq	93400	93400	1,48
Cast iron ETH U	kg CO2 eq	50800	50800	0,000872
Bulk carrier I	kg CO2 eq	43700	43700	x
Energy gas I	kg CO2 eq	37700	37700	x
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg CO2 eq	34500	x	34500
Copper I	kg CO2 eq	33000	33000	x
Coal from underground mine UCPTE U	kg CO2 eq	23800	23800	0,971
Glass fibre I	kg CO2 eq	20300	20300	x
Sinter ETH U	kg CO2 eq	17900	17900	0,546
Electricity UCPTE gas I	kg CO2 eq	16400	16400	x
Freighter oceanic ETH U	kg CO2 eq	14800	14800	0,351
Electricity UCPTE coal I	kg CO2 eq	14200	14200	x
Energy oil I	kg CO2 eq	11200	11200	x
Barge I	kg CO2 eq	10900	10900	x
Coal power plant in D U	kg CO2 eq	10600	10600	2,77
Aluminium 0% recycled ETH U	kg CO2 eq	10400	10400	0,45
Lignite power plant in D U	kg CO2 eq	7930	7920	3,22
Energy Australia I	kg CO2 eq	7080	7080	x
Refinery gas in furnace Europe U	kg CO2 eq	5260	5260	3,8
Petroleum gas flaring U	kg CO2 eq	4770	4770	3,48
Truck 40t ETH U	kg CO2 eq	4130	4070	63,4
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg CO2 eq	4050	4050	0,413
Electricity oil I U	kg CO2 eq	3780	3780	1,46
Coal cokes U	kg CO2 eq	3760	3760	0,0841
Coal power plant in E U	kg CO2 eq	3690	3690	0,963
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg CO2 eq	3400	3400	3
Electricity gas power plant in I U	kg CO2 eq	3290	3290	1,05
Crude oil I	kg CO2 eq	2530	2530	x
Diesel in building equipment U	kg CO2 eq	2170	2170	4,59
Truck I	kg CO2 eq	1920	1920	x
Coal power plant in F U	kg CO2 eq	1790	1790	0,527
Petroleum gas blow off U	kg CO2 eq	1750	1750	1,28
Coal power plant in NL U	kg CO2 eq	1720	1720	0,441
Electricity gas power plant in NL U	kg CO2 eq	1710	1710	0,544
Diesel I	kg CO2 eq	1700	1700	x
Lignite power plant in Gr U	kg CO2 eq	1670	1670	0,677
Coal power plant in I U	kg CO2 eq	1570	1570	0,438
Electricity gas power plant in W- D U	kg CO2 eq	1500	1500	0,51

HDPE A	kg CO2 eq	1490	1490	x
Electricity UCPTE oil I	kg CO2 eq	1480	1480	x
Train I	kg CO2 eq	1460	1460	x
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg CO2 eq	1380	1380	0,78
Coal power plant in B U	kg CO2 eq	1290	1290	0,336
Diesel in diesel generator onshore U	kg CO2 eq	1200	1200	0,865
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg CO2 eq	1190	1190	0,866
Crude oil production onshore U	kg CO2 eq	1170	1170	0,852
Tanker oceanic ETH U	kg CO2 eq	1150	1150	0,869
Freighter inland ETH U	kg CO2 eq	1150	1150	0,0416
Diesel in diesel generator offshore U	kg CO2 eq	1020	1020	0,738
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg CO2 eq	959	959	0,701
Crude oil production offshore U	kg CO2 eq	916	915	0,669
Coal power plant in P U	kg CO2 eq	772	772	0,194
Rail transport ETH U	kg CO2 eq	754	754	0,065
Lignite power plant in E U	kg CO2 eq	717	717	0,293
Electricity gas power plant in F U	kg CO2 eq	707	706	0,266
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg CO2 eq	679	678	1,39
Cement ETH U	kg CO2 eq	656	653	3
Electricity gas power plant in B U	kg CO2 eq	631	631	0,209
Trailer I	kg CO2 eq	566	566	x
Coal from underground mine E-Europe U	kg CO2 eq	396	396	0,0452
Residual oil refinery Europe U	kg CO2 eq	381	380	0,0262
Electricity oil P U	kg CO2 eq	342	342	0,135
Output gas turbine pipeline GUS U	kg CO2 eq	330	329	0,0906
Electricity oil W-D U	kg CO2 eq	323	323	0,127
Electricity oil E U	kg CO2 eq	307	307	0,121
Electricity gas power plant in A U	kg CO2 eq	298	298	0,0958
Coal from underground mine S-Africa U	kg CO2 eq	297	297	0,0442
Electricity oil Gr U	kg CO2 eq	290	290	0,112
Electricity MV use in UCPTE U	kg CO2 eq	289	289	0,163
Excavation hydraulic digger U	kg CO2 eq	285	285	0,0323
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg CO2 eq	267	266	0,108
Wood waste in forest U	kg CO2 eq	260	260	0,0432
Coaster I	kg CO2 eq	255	255	x
Leakage production natural gas GUS U	kg CO2 eq	247	247	0,0679
Lime (burnt) ETH U	kg CO2 eq	236	236	0,0207
Electricity oil F U	kg CO2 eq	236	236	0,0961
Electricity MV use in aluminium industry U	kg CO2 eq	221	221	0,00958
Coal power plant in A U	kg CO2 eq	212	212	0,0609
Tanker inland ETH U	kg CO2 eq	209	209	0,117
Converter steel ETH U	kg CO2 eq	176	175	0,381
Ammonia ETH U	kg CO2 eq	155	155	0,0265
Lignite power plant in F U	kg CO2 eq	147	147	0,0601

Electricity oil NL U	kg CO2 eq	113	113	0,0435
Output gas turbine production sweet gas U	kg CO2 eq	112	112	0,0305
Electricity gas power plant in L U	kg CO2 eq	111	111	0,0463
Wooden poles to MWI U	kg CO2 eq	110	109	0,0279
Electricity oil Ex-Ju U	kg CO2 eq	94,9	94,8	0,038
Lignite power plant in A U	kg CO2 eq	87,3	87,2	0,0363
Bilge oil to special waste incinerator U	kg CO2 eq	86,9	86,9	0,00765
Electricity oil A U	kg CO2 eq	78,6	78,6	0,0309
Wood chip furnace 300kW U	kg CO2 eq	78	77,9	0,0756
Coal from underground mine N-America U	kg CO2 eq	77,2	77,2	0,0167
Output Gasmotor Alg. U	kg CO2 eq	70,7	70,7	0,0184
Electricity HV use in UCPTE U	kg CO2 eq	65,9	65,9	0,0045
Waste to special waste incinerator U	kg CO2 eq	60,4	60,3	0,155
Explosives ETH U	kg CO2 eq	59,2	59,2	0,00238
Diesel engine truck B	kg CO2 eq	59,1	x	59,1
Coal from underground mine Australia U	kg CO2 eq	57,9	57,9	0,0101
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg CO2 eq	54,4	54,4	0,0375
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg CO2 eq	53,7	53,7	0,0193
Electricity oil B U	kg CO2 eq	51,6	51,6	0,0199
Desulphurisation unit U	kg CO2 eq	46,6	46,6	0,0123
Leakage production natural gas Alg. U	kg CO2 eq	46,3	46,3	0,0121
Output flare production sweet gas U	kg CO2 eq	45,8	45,8	0,0124
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg CO2 eq	43,6	43,5	0,0127
Truck 28t ETH U	kg CO2 eq	42,7	42,7	0,0078
Electricity LV use UCPTE U	kg CO2 eq	40,6	40,6	0,0046
Electricity gas power plant in E U	kg CO2 eq	38,4	38,4	0,0154
Output gas turbine pipeline NL U	kg CO2 eq	35,5	35,5	0,00977
Leakage production natural gas NL U	kg CO2 eq	34,6	34,6	0,00954
Leakage raw natural gas GUS U	kg CO2 eq	33,8	33,8	0,00929
Plastics to MWI U	kg CO2 eq	32,7	32,2	0,476
Diesel refinery Europe U	kg CO2 eq	32,1	31,9	0,202
Leakage natural gas UCPTE U	kg CO2 eq	30,1	30,1	0,00961
Coal from open mine U	kg CO2 eq	26,2	26,2	0,00278
Electricity oil CH U	kg CO2 eq	26,1	26,1	0,0114
Crude oil in drill tests U	kg CO2 eq	25,4	25,4	0,0182
Output gas turbine pipeline Alg U	kg CO2 eq	24,1	24,1	0,00654
Coal power plant in Ex-Ju U	kg CO2 eq	22,1	22,1	0,00825
Excavation skid steer loader U	kg CO2 eq	22	21,8	0,117
Output gas turbine pipeline N U	kg CO2 eq	21,4	21,4	0,00582
Drilled metres onshore U	kg CO2 eq	20,7	20,7	0,0148
Desulphurisation lignite U	kg CO2 eq	17,9	17,9	0,00729
Refinery gas refinery Europe U	kg CO2 eq	17,3	17,3	0,0125
Oil sludge to special waste incinerator U	kg CO2 eq	17,1	17,1	0,0122

Output gas turbine production sour gas U	kg CO2 eq	17,1	17,1	0,00451
Drilled metres offshore U	kg CO2 eq	16,7	16,7	0,012
Electricity UCPTE nuclear I	kg CO2 eq	15,9	15,9	x
Sludge to HA chemical landfill U	kg CO2 eq	15,8	15,8	0,000353
Truck 16t ETH U	kg CO2 eq	15,6	15,6	0,0122
Passenger car W-Europe ETH U	kg CO2 eq	13,7	13,5	0,201
Refinery gas in furnace CH U	kg CO2 eq	13,7	13,7	0,0268
Leakage raw natural gas NL U	kg CO2 eq	13,5	13,5	0,00372
Bitumen refinery Europe U	kg CO2 eq	13,3	13,3	0,0371
Output gas turbine TJin U	kg CO2 eq	11,4	11,4	0,00282
Leakage production natural gas D U	kg CO2 eq	11,3	11,3	0,00286
Crude lignite mine UCPTE U	kg CO2 eq	10,2	10,2	0,00414
Output gas turbine pipeline D U	kg CO2 eq	8,99	8,99	0,00228
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg CO2 eq	8,02	8,02	0,00553
Leakage production natural gas N U	kg CO2 eq	7,95	7,95	0,00216
Ethylene ETH U	kg CO2 eq	7,82	7,7	0,116
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg CO2 eq	7,67	7,66	0,00279
Gypsum ETH U	kg CO2 eq	7,53	7,49	0,0345
Residual oil in refinery furnace CH U	kg CO2 eq	7,17	7,15	0,0141
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg CO2 eq	6,83	6,79	0,043
Copper ETH U	kg CO2 eq	6,4	6,4	0,00866
Output gas turbine NL U	kg CO2 eq	6,17	6,16	0,00181
Diesel B	kg CO2 eq	5,98	x	5,98
Mineral wool ETH U	kg CO2 eq	5,8	5,8	0,000316
Uranium enriched 3.5% EUODIF U	kg CO2 eq	5,23	5,22	0,00194
Leakage raw natural gas D U	kg CO2 eq	3,95	3,95	0,001
Plastics to HA chemical landfill U	kg CO2 eq	3,84	3,81	0,0322
Ceramics ETH U	kg CO2 eq	3,8	3,8	0,000328
Output gas turbine pipeline UCPTE U	kg CO2 eq	3,55	3,55	0,00092
Leakage raw natural gas Alg. U	kg CO2 eq	3,45	3,45	0,000919
Electricity oil L U	kg CO2 eq	2,91	2,9	0,00118
Output flare production sour gas U	kg CO2 eq	2,78	2,78	0,000759
Leakage raw natural gas N U	kg CO2 eq	2,68	2,68	0,00073
Output gas turbine D U	kg CO2 eq	2,63	2,63	0,000845
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg CO2 eq	2,37	2,37	0,000852
Silicate (waterglass) ETH U	kg CO2 eq	2,28	2,28	0,000899
Output Gasmotor NL U	kg CO2 eq	2,21	2,21	0,00061
Fuel oil lowS refinery CH U	kg CO2 eq	2,08	2,07	0,00434
Output Gasmotor GUS U	kg CO2 eq	1,83	1,83	0,000504
Soda ETH U	kg CO2 eq	1,8	1,8	0,00242
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg CO2 eq	1,76	1,76	0,000641
Output gas turbine GUS U	kg CO2 eq	1,76	1,76	0,000483
Naphtha refinery Europe U	kg CO2 eq	1,66	1,64	0,0245
Electricity HV use in F + imports U	kg CO2 eq	1,61	1,6	0,000692
Electricity HV use in W-D +	kg CO2 eq	1,23	1,23	0,00053

imports U				
Electricity HV use in I + imports U	kg CO2 eq	1,18	1,17	0,000506
Vinyl chloride ETH U	kg CO2 eq	1,14	1,14	0,000204
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg CO2 eq	1,02	1,02	0,000365
Output gas turbine Alg. U	kg CO2 eq	0,933	0,933	0,000248
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg CO2 eq	0,84	0,839	0,000301
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg CO2 eq	0,793	0,793	0,000311
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg CO2 eq	0,76	0,76	0,000298
Electro steel ETH U	kg CO2 eq	0,748	0,747	0,00157
Output Gasmotor N U	kg CO2 eq	0,714	0,714	0,000194
Output gas turbine N U	kg CO2 eq	0,691	0,691	0,000188
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg CO2 eq	0,598	0,598	0,000214
Output Gasmotor D U	kg CO2 eq	0,561	0,561	0,000142
Crude oil transport Europe U	kg CO2 eq	0,541	0,54	0,000389
Float glass uncoated ETH U	kg CO2 eq	0,494	0,488	0,0054
Electricity HV use in A + imports U	kg CO2 eq	0,447	0,447	0,000193
Crude oil transport GUS U	kg CO2 eq	0,437	0,436	0,000306
Power saw (per hour) U	kg CO2 eq	0,427	0,427	0,0000709
Electricity HV use in E + imports U	kg CO2 eq	0,424	0,424	0,000183
Heating oil petro refinery Europe U	kg CO2 eq	0,421	0,42	0,00155
Electricity UCPTE hydro I	kg CO2 eq	0,322	0,322	x
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg CO2 eq	0,318	0,318	0,000115
Radioactive waste in final storage B U	kg CO2 eq	0,315	0,315	0,000114
NaOH ETH U	kg CO2 eq	0,305	0,305	0,0000138
Electricity HV use in L + imports U	kg CO2 eq	0,302	0,302	0,00013
Electricity LV use in CH U	kg CO2 eq	0,288	0,288	0,000572
Electricity HV use in B + imports U	kg CO2 eq	0,28	0,28	0,000121
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg CO2 eq	0,232	0,232	0,0000839
Paper ETH U	kg CO2 eq	0,231	0,229	0,00221
Crude oil transport N-Africa U	kg CO2 eq	0,228	0,228	0,000176
Output gasmotor TJin U	kg CO2 eq	0,221	0,221	0,0000574
Bitumen to HA chemical landfill U	kg CO2 eq	0,217	0,217	0,000178
Electricity MV use in CH U	kg CO2 eq	0,211	0,211	0,0000821
Crude oil transport M-East U	kg CO2 eq	0,202	0,201	0,000155
Electricity HV use in CH + imports U	kg CO2 eq	0,198	0,198	0,000092
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg CO2 eq	0,193	0,193	0,0000723
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg CO2 eq	0,143	0,143	0,000052
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg CO2 eq	0,143	0,142	0,000148

Crude oil transport C-Africa U	kg CO2 eq	0,117	0,117	0,0000891
Waste collection municipality per kg U	kg CO2 eq	0,107	0,106	0,00155
Phenol ETH U	kg CO2 eq	0,101	0,1	0,000431
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg CO2 eq	0,0981	0,0978	0,000238
Residual oil refinery CH U	kg CO2 eq	0,087	0,0869	0,0000504
Electricity HV use in P + imports U	kg CO2 eq	0,0741	0,0741	0,0000319
Electricity HV use in Gr + imports U	kg CO2 eq	0,074	0,074	0,0000319
Propylene ETH U	kg CO2 eq	0,0646	0,0638	0,000779
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg CO2 eq	0,056	0,056	0,0000248
Crude oil transport S-America U	kg CO2 eq	0,0525	0,0525	0,0000369
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg CO2 eq	0,0418	0,0418	0,0000212
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg CO2 eq	0,0392	0,0392	0,0000143
Electricity HV use in Ex-Ju + imports U	kg CO2 eq	0,0352	0,0352	0,0000152
Bitumen refinery CH U	kg CO2 eq	0,0325	0,0324	0,0000382
Waste from cooling U	kg CO2 eq	0,03	0,0299	0,00000953
Petrol leaded refinery Europe U	kg CO2 eq	0,0268	0,0265	0,000394
Crude oil transport N-America U	kg CO2 eq	0,0207	0,0206	0,0000144
Refinery gas refinery CH U	kg CO2 eq	0,0172	0,0171	0,0000337
MWI 95 per kg (process specific) U	kg CO2 eq	0,0126	0,0125	0,0000298
Petrol unleaded refinery Europe U	kg CO2 eq	0,00874	0,00861	0,000128
Chlorine ETH U	kg CO2 eq	0,00829	0,00829	0,0000024
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg CO2 eq	0,00555	0,00555	0,00000218
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg CO2 eq	0,00555	0,00555	0,00000218
PVC high impact ETH U	kg CO2 eq	0,00288	0,00288	0,000000514
Leakage natural gas LP CH U	kg CO2 eq	0,0024	0,0024	0,00000122
Petrol leaded refinery CH U	kg CO2 eq	0,00196	0,00196	0,000000326
Asphalt to HA chemical landfill U	kg CO2 eq	0,00125	0,00124	0,00000119
Delivery van <3.5t ETH U	kg CO2 eq	0,000904	0,000899	0,00000491
Leakage natural gas HP CH U	kg CO2 eq	0,000784	0,000783	0,000000397
Wood ash mixed to MWI U	kg CO2 eq	0,000656	0,000655	0,000000636
Packaging carton ETH U	kg CO2 eq	0,000417	0,000417	0,000000622
Diesel refinery CH U	kg CO2 eq	0,000328	0,000323	0,00000474
Aluminium 100% recycled ETH U	kg CO2 eq	0,000281	0,000281	0,000000159
MG-Silicium ETH U	kg CO2 eq	0,00016	0,00016	9,05E-08
PE to MWI U	kg CO2 eq	0,000151	0,000151	0,000000144
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg CO2 eq	0,000119	0,000119	4,33E-08
Carton to MWI U	kg CO2 eq	0,000109	0,000108	0,00000061
Paraxylene ETH U	kg CO2 eq	0,0000885	0,0000881	0,000000378
Output gas turbine CH U	kg CO2 eq	0,0000846	0,0000845	4,28E-08
Petrol leaded stock Europe U	kg CO2 eq	0,0000785	0,0000774	0,00000115
Petrol unleaded stock Europe U	kg CO2 eq	0,0000256	0,0000252	0,000000375
Petrol leaded stock CH U	kg CO2 eq	0,00000348	0,00000348	5,78E-10
Electricity HV use in CH U	kg CO2 eq	0,00000341	0,00000336	4,92E-08

Infra municipal waste collection per kg U	kg CO2 eq	0,000000124	0,000000122	1,79E-09
CORUS slags I	kg CO2 eq	0	0	x
Lime stone bj	kg CO2 eq	-41	x	-41
Electricity UCPTE High Voltage	kg CO2 eq	-1420	x	-1420
Iron	kg CO2 eq	-2210	x	-2210
Natural gas B	kg CO2 eq	-2230	x	-2230
Wood in forest U	kg CO2 eq	-2940	-2940	-0,551
Coke S	kg CO2 eq	-10000	x	-10000
Crude coal B	kg CO2 eq	-13900	x	-13900
Furnace gas B	kg CO2 eq	-19900	x	-19900

Πίνακας Π.5: Απογραφή Δεδομένων για τον Ευτροφισμό, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg PO4--- eq	163	162	0,825
Freighter oceanic ETH U	kg PO4--- eq	27,1	27,1	0,000641
Steel I	kg PO4--- eq	25,3	25,3	x
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg PO4--- eq	24,8	24,8	0,000393
Coal tailings in landfill U	kg PO4--- eq	16,6	16,6	0,000822
Energy gas I	kg PO4--- eq	13,3	13,3	x
Truck 40t ETH U	kg PO4--- eq	6,69	6,59	0,103
Coal cokes U	kg PO4--- eq	5,01	5,01	0,000112
Diesel in building equipment U	kg PO4--- eq	3,86	3,85	0,00815
Diesel in diesel generator onshore U	kg PO4--- eq	3,44	3,44	0,00248
Petroleum gas flaring U	kg PO4--- eq	3,09	3,08	0,00225
Energy oil I	kg PO4--- eq	2,79	2,79	x
Sinter ETH U	kg PO4--- eq	2,61	2,61	0,0000795
Cast iron ETH U	kg PO4--- eq	2,16	2,16	3,71E-08
Energy Australia I	kg PO4--- eq	1,68	1,68	x
Rail transport ETH U	kg PO4--- eq	1,45	1,45	0,000125
Lignite power plant in D U	kg PO4--- eq	1,39	1,39	0,000565
Refinery gas in furnace Europe U	kg PO4--- eq	1,19	1,19	0,000858
Freighter inland ETH U	kg PO4--- eq	1,16	1,16	0,000042
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg PO4--- eq	1,15	1,15	0,000117
Crude iron ETH U	kg PO4--- eq	1,11	1,11	0,0000339
Coal power plant in E U	kg PO4--- eq	1,05	1,05	0,000273
Coal power plant in D U	kg PO4--- eq	1,04	1,04	0,000272
Diesel in diesel generator offshore U	kg PO4--- eq	0,94	0,939	0,000681
Tanker oceanic ETH U	kg PO4--- eq	0,913	0,912	0,000689
Electricity oil I U	kg PO4--- eq	0,896	0,895	0,000345
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg PO4--- eq	0,858	x	0,858
Explosives ETH U	kg PO4--- eq	0,848	0,848	0,0000341
Electricity UCPTE coal I	kg PO4--- eq	0,844	0,844	x

Electricity gas power plant in I U	kg PO4--- eq	0,78	0,78	0,000249
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg PO4--- eq	0,71	0,709	0,000626
Coal power plant in F U	kg PO4--- eq	0,625	0,625	0,000184
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg PO4--- eq	0,59	0,59	0,000431
Coal power plant in I U	kg PO4--- eq	0,519	0,519	0,000145
Excavation hydraulic digger U	kg PO4--- eq	0,507	0,507	0,0000575
Drilling waste to land farming U	kg PO4--- eq	0,451	0,451	0,000323
Lignite power plant in Gr U	kg PO4--- eq	0,424	0,424	0,000172
Electricity gas power plant in W-D U	kg PO4--- eq	0,393	0,392	0,000133
Residual oil refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,332	0,332	0,0000228
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg PO4--- eq	0,296	0,296	0,000216
Sludge to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,296	0,296	0,00000662
Electricity gas power plant in NL U	kg PO4--- eq	0,283	0,283	0,0000901
Coal power plant in P U	kg PO4--- eq	0,266	0,266	0,0000668
Coal power plant in B U	kg PO4--- eq	0,249	0,249	0,0000649
Tanker inland ETH U	kg PO4--- eq	0,211	0,211	0,000118
Glass fibre I	kg PO4--- eq	0,188	0,188	x
Ammonia ETH U	kg PO4--- eq	0,182	0,182	0,0000312
Cement ETH U	kg PO4--- eq	0,174	0,174	0,000799
Lignite power plant in E U	kg PO4--- eq	0,151	0,151	0,0000616
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg PO4--- eq	0,151	0,15	0,000085
Output gas turbine pipeline GUS U	kg PO4--- eq	0,15	0,15	0,0000413
Leakage raw natural gas GUS U	kg PO4--- eq	0,133	0,133	0,0000366
Coal power plant in NL U	kg PO4--- eq	0,132	0,132	0,0000338
Electricity UCPTE gas I	kg PO4--- eq	0,12	0,12	x
Leakage production natural gas NL U	kg PO4--- eq	0,12	0,12	0,0000331
Electricity oil P U	kg PO4--- eq	0,081	0,081	0,0000319
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg PO4--- eq	0,0801	0,0801	0,0000326
Electricity oil W-D U	kg PO4--- eq	0,0763	0,0763	0,0000301
Electricity oil E U	kg PO4--- eq	0,0724	0,0724	0,0000285
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg PO4--- eq	0,0714	0,0712	0,000146
Electricity oil Gr U	kg PO4--- eq	0,0688	0,0688	0,0000265
Truck 28t ETH U	kg PO4--- eq	0,0678	0,0678	0,0000124
EPDM rubber ETH U	kg PO4--- eq	0,0595	0,0586	0,000904
Leakage raw natural gas NL U	kg PO4--- eq	0,0576	0,0576	0,0000159
Electricity oil F U	kg PO4--- eq	0,0559	0,0558	0,0000227
Leakage natural gas UCPTE U	kg PO4--- eq	0,0524	0,0524	0,0000167
Electricity gas power plant in A U	kg PO4--- eq	0,0501	0,0501	0,0000161
NOx retained in SCR U	kg PO4--- eq	0,0485	0,0484	0,0000151
Leakage production natural gas GUS U	kg PO4--- eq	0,048	0,048	0,0000132
Output gas turbine production sweet gas U	kg PO4--- eq	0,048	0,048	0,0000131
Desulphurisation unit U	kg PO4--- eq	0,0439	0,0439	0,0000116
Electricity gas power plant in B U	kg PO4--- eq	0,0419	0,0419	0,0000139
Excavation skid steer loader U	kg PO4--- eq	0,039	0,0388	0,000208

Diesel refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,0363	0,0361	0,000228
Nitric acid ETH U	kg PO4--- eq	0,0338	0,0338	0,0000085
Output flare production sweet gas U	kg PO4--- eq	0,0336	0,0336	0,00000909
Lignite power plant in F U	kg PO4--- eq	0,0292	0,0292	0,0000119
Electricity oil NL U	kg PO4--- eq	0,0267	0,0267	0,0000103
Waste to special waste incinerator U	kg PO4--- eq	0,0256	0,0255	0,0000654
Truck 16t ETH U	kg PO4--- eq	0,0242	0,0241	0,0000189
Electricity gas power plant in F U	kg PO4--- eq	0,0226	0,0226	0,00000851
Electricity oil Ex-Ju U	kg PO4--- eq	0,0225	0,0225	0,000009
Drilled metres onshore U	kg PO4--- eq	0,0215	0,0215	0,0000154
Leakage production natural gas D U	kg PO4--- eq	0,02	0,02	0,00000507
Refinery gas refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,0196	0,0195	0,0000141
Electricity oil A U	kg PO4--- eq	0,0186	0,0186	0,00000732
Carbon black ETH U	kg PO4--- eq	0,0183	0,018	0,000278
Coal power plant in A U	kg PO4--- eq	0,0175	0,0175	0,00000504
Output gas turbine pipeline NL U	kg PO4--- eq	0,016	0,0159	0,00000439
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg PO4--- eq	0,015	0,015	0,00000438
Leakage raw natural gas Alg. U	kg PO4--- eq	0,0147	0,0147	0,00000391
Passenger car W-Europe ETH U	kg PO4--- eq	0,0137	0,0135	0,000201
Leakage raw natural gas D U	kg PO4--- eq	0,0135	0,0135	0,00000342
Wood chip furnace 300kW U	kg PO4--- eq	0,0132	0,0132	0,0000128
Electricity oil B U	kg PO4--- eq	0,0122	0,0122	0,00000473
Bitumen refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,0113	0,0112	0,0000313
Leakage raw natural gas N U	kg PO4--- eq	0,0112	0,0112	0,00000305
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,0112	0,0112	0,0000077
Output gas turbine pipeline Alg U	kg PO4--- eq	0,0106	0,0106	0,00000287
Coal power plant in Ex-Ju U	kg PO4--- eq	0,0105	0,0105	0,00000391
Electricity gas power plant in L U	kg PO4--- eq	0,0103	0,0103	0,00000428
Output gas turbine pipeline N U	kg PO4--- eq	0,0094	0,00939	0,00000255
Leakage production natural gas Alg. U	kg PO4--- eq	0,00899	0,00899	0,00000235
MWI 95 per kg (process specific) U	kg PO4--- eq	0,00835	0,00833	0,0000198
HDPE A	kg PO4--- eq	0,00799	0,00799	x
Electro steel ETH U	kg PO4--- eq	0,00772	0,0077	0,0000162
Electricity gas power plant in E U	kg PO4--- eq	0,00734	0,00734	0,00000295
Lignite power plant in A U	kg PO4--- eq	0,00701	0,00701	0,00000292
Output gas turbine production sour gas U	kg PO4--- eq	0,00672	0,00672	0,00000177
Refinery sludge to landfarming U	kg PO4--- eq	0,00575	0,00574	0,00000396
Mineral wool ETH U	kg PO4--- eq	0,00507	0,00507	0,000000276
Crude oil in drill tests U	kg PO4--- eq	0,00506	0,00505	0,00000362
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg PO4--- eq	0,00496	0,00496	0,00000342
PP ETH U	kg PO4--- eq	0,00486	0,00479	0,0000736
Residual oil stock Europe ETH U	kg PO4--- eq	0,0047	0,0047	0,000000134
Spent fuel processing U	kg PO4--- eq	0,00424	0,00424	0,00000153
Uranium natural in concentrate U	kg PO4--- eq	0,00423	0,00423	0,00000153
Output gas turbine pipeline D U	kg PO4--- eq	0,0041	0,0041	0,00000104

Converter steel ETH U	kg PO4--- eq	0,00352	0,00351	0,00000764
Electricity UCPTE oil I	kg PO4--- eq	0,00345	0,00345	x
Output gas turbine TJin U	kg PO4--- eq	0,00341	0,00341	0,000000845
Electricity oil CH U	kg PO4--- eq	0,00322	0,00322	0,00000141
Output Gasmotor Alg. U	kg PO4--- eq	0,00318	0,00318	0,000000826
Refinery gas in furnace CH U	kg PO4--- eq	0,00302	0,00301	0,00000592
Ethylene ETH U	kg PO4--- eq	0,00298	0,00293	0,0000441
Uranium natural in UF6 U	kg PO4--- eq	0,0029	0,0029	0,00000105
LT bitumen to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,00271	0,00271	0,00000222
Output flare production sour gas U	kg PO4--- eq	0,00204	0,00204	0,000000557
Naphtha refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,00188	0,00185	0,0000277
Output gas turbine NL U	kg PO4--- eq	0,00185	0,00185	0,000000542
Gypsum ETH U	kg PO4--- eq	0,00184	0,00183	0,00000843
Fuel oil lowS refinery CH U	kg PO4--- eq	0,00173	0,00173	0,00000362
Ceramics ETH U	kg PO4--- eq	0,00165	0,00165	0,000000142
Output gas turbine pipeline UCPTE U	kg PO4--- eq	0,00159	0,00159	0,000000413
Leakage production natural gas N U	kg PO4--- eq	0,00154	0,00154	0,00000042
Residual oil in refinery furnace CH U	kg PO4--- eq	0,00142	0,00142	0,00000279
Diesel I	kg PO4--- eq	0,00131	0,00131	x
Aluminium 0% recycled ETH U	kg PO4--- eq	0,0011	0,0011	4,74E-08
Wooden poles to MWI U	kg PO4--- eq	0,00106	0,00106	0,000000269
LT refinery sludge to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,00101	0,00101	0,000000698
Bilge oil to special waste incinerator U	kg PO4--- eq	0,000858	0,000858	7,55E-08
Output gas turbine D U	kg PO4--- eq	0,000801	0,0008	0,000000257
Electricity oil L U	kg PO4--- eq	0,000689	0,000689	0,00000028
Diesel stock Europe U	kg PO4--- eq	0,000647	0,000643	0,00000406
Uranium in ore (underground mine) U	kg PO4--- eq	0,000646	0,000646	0,000000234
Electricity UCPTE nuclear I	kg PO4--- eq	0,000628	0,000628	x
Soda ETH U	kg PO4--- eq	0,000586	0,000585	0,000000786
Output gas turbine GUS U	kg PO4--- eq	0,000534	0,000534	0,000000147
Heating oil petro refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,000476	0,000474	0,00000175
Oil sludge to special waste incinerator U	kg PO4--- eq	0,000464	0,000464	0,00000033
Produced natural gas NL U	kg PO4--- eq	0,000457	0,000457	0,000000126
Crude oil I	kg PO4--- eq	0,00031	0,00031	x
LT asphalt to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,000301	0,000301	0,000000287
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg PO4--- eq	0,000299	0,000297	0,00000188
Uranium 3.4% in fuel element PWR F U	kg PO4--- eq	0,000283	0,000283	0,000000102
Produced natural gas GUS U	kg PO4--- eq	0,000283	0,000283	7,78E-08
Output gas turbine Alg. U	kg PO4--- eq	0,000273	0,000273	7,26E-08
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg PO4--- eq	0,00021	0,00021	7,56E-08
Output gas turbine N U	kg PO4--- eq	0,000202	0,000202	5,49E-08
Waste collection municipality per	kg PO4--- eq	0,000193	0,00019	0,00000279

kg U				
Produced natural gas D U	kg PO4--- eq	0,000146	0,000146	3,71E-08
Coal from stock UCPTE U	kg PO4--- eq	0,000143	0,000143	7,05E-09
Diesel B	kg PO4--- eq	0,000135	x	0,000135
Produced natural gas Alg. U	kg PO4--- eq	0,000117	0,000117	0,000000031
Uranium in ore (open mine) U	kg PO4--- eq	0,000113	0,000113	4,09E-08
Output Gasmotor NL U	kg PO4--- eq	0,000102	0,000102	2,81E-08
Produced natural gas N U	kg PO4--- eq	0,0000914	0,0000914	2,48E-08
Output Gasmotor GUS U	kg PO4--- eq	0,0000858	0,0000857	2,36E-08
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg PO4--- eq	0,0000802	0,0000801	2,88E-08
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg PO4--- eq	0,0000729	0,0000729	2,65E-08
Silicate (waterglass) ETH U	kg PO4--- eq	0,0000699	0,0000699	2,76E-08
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,0000633	0,0000633	0,000000028
Residual oil refinery CH U	kg PO4--- eq	0,0000575	0,0000575	3,33E-08
Paper ETH U	kg PO4--- eq	0,0000514	0,0000509	0,000000492
Power saw (per hour) U	kg PO4--- eq	0,0000432	0,0000432	7,18E-09
Fuel oil lowS stock CH U	kg PO4--- eq	0,0000411	0,0000411	0,000000086
Uranium 3.4% in fuel element BWR D U	kg PO4--- eq	0,0000328	0,0000328	1,18E-08
Output Gasmotor N U	kg PO4--- eq	0,0000322	0,0000322	8,74E-09
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg PO4--- eq	0,0000317	0,0000317	1,14E-08
Bitumen to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,0000309	0,0000309	2,53E-08
Petrol leaded refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,0000305	0,00003	0,000000447
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg PO4--- eq	0,00003	0,00003	1,09E-08
Output Gasmotor D U	kg PO4--- eq	0,0000262	0,0000262	6,67E-09
Propylene ETH U	kg PO4--- eq	0,0000246	0,0000243	0,000000297
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg PO4--- eq	0,0000226	0,0000226	8,11E-09
Bitumen refinery CH U	kg PO4--- eq	0,0000208	0,0000208	2,45E-08
Uranium enriched 3.5% EURODIF U	kg PO4--- eq	0,0000204	0,0000204	7,58E-09
Refinery gas refinery CH U	kg PO4--- eq	0,0000143	0,0000143	2,81E-08
Float glass uncoated ETH U	kg PO4--- eq	0,0000141	0,000014	0,000000155
Ureum ETH U	kg PO4--- eq	0,0000126	0,0000125	5,13E-08
Paraxylene ETH U	kg PO4--- eq	0,0000121	0,000012	5,15E-08
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg PO4--- eq	0,000012	0,000012	4,34E-09
Pipeline transport gas GUS U	kg PO4--- eq	0,0000116	0,0000116	3,19E-09
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg PO4--- eq	0,0000114	0,0000114	4,15E-09
Output gasmotor TJin U	kg PO4--- eq	0,0000102	0,0000102	2,65E-09
Petrol unleaded refinery Europe U	kg PO4--- eq	0,00000993	0,00000978	0,000000146
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg PO4--- eq	0,0000095	0,0000095	3,77E-09
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg PO4--- eq	0,00000947	0,00000947	3,71E-09
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg PO4--- eq	0,00000928	0,00000928	3,33E-09
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg PO4--- eq	0,00000896	0,00000896	3,3E-09
Uranium enriched 3.4% TENEX	kg PO4--- eq	0,00000878	0,00000878	3,17E-09

U				
Electricity UCPTE hydro I	kg PO4--- eq	0,00000823	0,00000823	x
Coal from stock S-Africa U	kg PO4--- eq	0,00000774	0,00000773	1,15E-09
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg PO4--- eq	0,0000073	0,0000073	2,73E-09
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg PO4--- eq	0,00000687	0,00000687	2,51E-09
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg PO4--- eq	0,00000624	0,00000624	6,49E-09
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg PO4--- eq	0,0000054	0,0000054	1,97E-09
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg PO4--- eq	0,00000523	0,00000522	1,27E-08
Coal from stock E-Europe U	kg PO4--- eq	0,0000049	0,0000049	5,59E-10
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg PO4--- eq	0,00000398	0,00000398	1,43E-09
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg PO4--- eq	0,0000031	0,0000031	1,22E-09
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg PO4--- eq	0,00000297	0,00000297	1,17E-09
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg PO4--- eq	0,0000029	0,0000029	1,47E-09
Coal from stock Australia U	kg PO4--- eq	0,00000289	0,00000289	5,04E-10
Leakage natural gas LP CH U	kg PO4--- eq	0,00000236	0,00000236	1,2E-09
Pipeline transport gas NL U	kg PO4--- eq	0,00000232	0,00000231	6,37E-10
Coal from stock N-America U	kg PO4--- eq	0,00000214	0,00000214	4,63E-10
Coal from stock S-America U	kg PO4--- eq	0,00000187	0,00000187	3,22E-10
Petrol leaded refinery CH U	kg PO4--- eq	0,00000166	0,00000166	2,76E-10
Pipeline transport gas Alg. U	kg PO4--- eq	0,00000153	0,00000153	4,16E-10
Pipeline transport gas N U	kg PO4--- eq	0,00000136	0,00000136	3,71E-10
Fuel oil lowS stock Europe U	kg PO4--- eq	0,00000113	0,00000113	4,99E-10
Delivery van <3.5t ETH U	kg PO4--- eq	0,00000079	0,000000785	4,29E-09
Leakage natural gas HP CH U	kg PO4--- eq	0,000000772	0,000000771	3,91E-10
Pipeline transport gas D U	kg PO4--- eq	0,000000595	0,000000595	1,51E-10
Wood ash mixed to MWI U	kg PO4--- eq	0,00000059	0,000000589	5,72E-10
Petrol leaded stock Europe U	kg PO4--- eq	0,000000538	0,00000053	7,9E-09
Natural gas HP user in Europe U	kg PO4--- eq	0,000000427	0,000000427	9,48E-11
Diesel refinery CH U	kg PO4--- eq	0,000000274	0,00000027	3,95E-09
Pipeline transport gas U	kg PO4--- eq	0,000000231	0,000000231	6E-11
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg PO4--- eq	0,00000021	0,00000021	8,22E-11
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg PO4--- eq	0,00000021	0,00000021	8,22E-11
Asphalt to HA chemical landfill U	kg PO4--- eq	0,000000177	0,000000176	1,68E-10
Petrol unleaded stock Europe U	kg PO4--- eq	0,000000175	0,000000173	2,57E-09
Natural gas HP user in D U	kg PO4--- eq	0,000000126	0,000000126	4,28E-11
Packaging carton ETH U	kg PO4--- eq	0,000000123	0,000000123	1,84E-10
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg PO4--- eq	9,92E-08	9,91E-08	3,61E-11
Natural gas HP user in I U	kg PO4--- eq	9,67E-08	9,67E-08	3,09E-11
MG-Silicium ETH U	kg PO4--- eq	6,94E-08	6,94E-08	3,92E-11
Natural gas HP user in NL U	kg PO4--- eq	6,56E-08	6,56E-08	2,09E-11
Petrol leaded stock CH U	kg PO4--- eq	3,89E-08	3,89E-08	6,46E-12
Natural gas HP user in A U	kg PO4--- eq	2,71E-08	2,71E-08	8,7E-12
Natural gas HP user in B U	kg PO4--- eq	2,66E-08	2,66E-08	8,79E-12
Output gas turbine CH U	kg PO4--- eq	2,53E-08	2,53E-08	1,28E-11
Aluminium 100% recycled ETH	kg PO4--- eq	1,16E-08	1,16E-08	6,53E-12

U				
Natural gas HP user in F U	kg PO4--- eq	9,52E-09	9,51E-09	3,58E-12
Diesel stock CH U	kg PO4--- eq	6,5E-09	6,4E-09	9,39E-11
Fuel oil lowS 2000 stock CH U	kg PO4--- eq	2,35E-09	2,35E-09	8,57E-13
Carton to MWI U	kg PO4--- eq	1,77E-09	1,76E-09	9,94E-12
PE to MWI U	kg PO4--- eq	6,44E-10	6,43E-10	6,14E-13
Natural gas HP user in E U	kg PO4--- eq	1,28E-10	1,28E-10	5,14E-14
Natural gas HP user in CH U	kg PO4--- eq	6,86E-12	6,86E-12	3,47E-15
CORUS slags I	kg PO4--- eq	0	0	x
Electricity UCPTE High Voltage	kg PO4--- eq	-0,0354	x	-0,0354
Natural gas B	kg PO4--- eq	-0,0423	x	-0,0423
Coke S	kg PO4--- eq	-0,0846	x	-0,0846

Πίνακας Π.6: Απογραφή Δεδομένων για την Οικοτοξικότητα του γλυκού νερού, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg 1,4-DB eq	47800	44300	3410
Coal tailings in landfill U	kg 1,4-DB eq	30300	30300	1,5
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	5810	5810	0,0923
Crude oil production offshore U	kg 1,4-DB eq	2010	2010	1,47
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg 1,4-DB eq	1820	x	1820
Aluminium 0% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	1500	1500	0,0647
Electricity UCPTE coal I	kg 1,4-DB eq	1470	1470	x
Landfill Ceramics	kg 1,4-DB eq	1020	x	1020
Freighter oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	853	853	0,0202
Landfill Ferro metals	kg 1,4-DB eq	663	x	663
Sinter ETH U	kg 1,4-DB eq	560	560	0,0171
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	328	328	0,289
Crude oil production onshore U	kg 1,4-DB eq	250	249	0,182
Electricity UCPTE gas I	kg 1,4-DB eq	228	228	x
Steel I	kg 1,4-DB eq	194	194	x
Crude iron ETH U	kg 1,4-DB eq	137	137	0,00418
Electricity oil I U	kg 1,4-DB eq	136	136	0,0525
Electricity UCPTE oil I	kg 1,4-DB eq	75,1	75,1	x
Tanker oceanic ETH U	kg 1,4-DB	63,6	63,5	0,048

	eq			
Cast iron ETH U	kg 1,4-DB eq	43,9	43,9	0,000000753
Uranium in ore (open mine) U	kg 1,4-DB eq	41,4	41,4	0,015
Residual oil refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	35,9	35,9	0,00247
Coal cokes U	kg 1,4-DB eq	33,7	33,7	0,000754
Coal from underground mine UCPTE U	kg 1,4-DB eq	30,1	30,1	0,00123
Uranium in ore (underground mine) U	kg 1,4-DB eq	26,6	26,6	0,00963
Rail transport ETH U	kg 1,4-DB eq	21,3	21,3	0,00184
Coal ash in landfill U	kg 1,4-DB eq	19,1	19,1	0,0043
Drilling waste to land farming U	kg 1,4-DB eq	15,8	15,8	0,0113
Iron pellets ETH U	kg 1,4-DB eq	14,9	14,9	0,000457
LT plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	14,2	14,1	0,119
Converter steel ETH U	kg 1,4-DB eq	13,3	13,2	0,0288
Uranium natural in concentrate U	kg 1,4-DB eq	13,1	13,1	0,00474
Electricity oil P U	kg 1,4-DB eq	12,3	12,3	0,00485
Electricity oil W-D U	kg 1,4-DB eq	11,6	11,6	0,00459
Electricity oil E U	kg 1,4-DB eq	11	11	0,00434
Electricity oil Gr U	kg 1,4-DB eq	10,5	10,5	0,00403
Electricity oil F U	kg 1,4-DB eq	8,5	8,49	0,00346
Coal power plant in E U	kg 1,4-DB eq	8,47	8,46	0,00221
Glass fibre I	kg 1,4-DB eq	7,18	7,18	x
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg 1,4-DB eq	6,63	6,63	0,000676
Lignite power plant in D U	kg 1,4-DB eq	6,49	6,49	0,00264
Electricity UCPTE nuclear I	kg 1,4-DB eq	4,66	4,66	x
Electricity oil NL U	kg 1,4-DB eq	4,05	4,05	0,00156
Desulphurisation unit U	kg 1,4-DB eq	3,87	3,87	0,00102
Electricity oil Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	3,41	3,41	0,00137
Truck 40t ETH U	kg 1,4-DB eq	3,41	3,36	0,0524
Crude oil I	kg 1,4-DB eq	3,27	3,27	x
Diesel refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	3,04	3,02	0,0191

LT drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	2,84	2,84	0,00203
Electricity oil A U	kg 1,4-DB eq	2,82	2,82	0,00111
Coal power plant in D U	kg 1,4-DB eq	2,63	2,63	0,000687
Coal from open mine U	kg 1,4-DB eq	2,57	2,57	0,000272
Coal power plant in B U	kg 1,4-DB eq	2,41	2,41	0,000629
Residual oil stock Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	2,24	2,24	0,000064
LT plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	2,01	1,98	0,0292
Lignite power plant in Gr U	kg 1,4-DB eq	1,88	1,88	0,000762
Electricity oil B U	kg 1,4-DB eq	1,86	1,86	0,000718
HDPE A	kg 1,4-DB eq	1,72	1,72	x
Refinery gas refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	1,63	1,63	0,00118
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	1,6	1,59	0,00327
Trailer I	kg 1,4-DB eq	1,49	1,49	x
Coal power plant in F U	kg 1,4-DB eq	1,45	1,45	0,000425
Refinery sludge to landfarming U	kg 1,4-DB eq	1,43	1,43	0,000985
LT decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	1,28	1,28	0,000269
Bitumen refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	1,26	1,26	0,0035
Coal power plant in I U	kg 1,4-DB eq	1,09	1,09	0,000305
Sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,932	0,932	0,0000209
Lignite power plant in E U	kg 1,4-DB eq	0,917	0,917	0,000375
Coal power plant in P U	kg 1,4-DB eq	0,706	0,706	0,000177
Coal from underground mine S-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,695	0,694	0,000103
Nickel enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,669	0,665	0,00411
LT waste to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,634	0,634	0,000202
Coal from underground mine E-Europe U	kg 1,4-DB eq	0,608	0,608	0,0000695
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,573	0,572	0,000395
Drilled metres onshore U	kg 1,4-DB eq	0,516	0,515	0,000369
Residual oil in refinery furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,477	0,476	0,000935
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,397	0,397	0,000274
Uranium 3.4% in fuel element	kg 1,4-DB	0,358	0,358	0,000129

PWR F U	eq			
Coal power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	0,348	0,348	0,0000893
Diesel stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,307	0,305	0,00193
Plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,295	0,291	0,00429
Waste to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,268	0,267	0,000684
Diesel I	kg 1,4-DB eq	0,237	0,237	x
Electro steel ETH U	kg 1,4-DB eq	0,215	0,214	0,00045
Lead ETH U	kg 1,4-DB eq	0,207	0,205	0,00256
Coal from stock UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,202	0,202	0,00000996
Electricity gas power plant in I U	kg 1,4-DB eq	0,201	0,201	0,0000642
Electricity gas power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	0,198	0,198	0,0000632
LT wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,196	0,196	0,0000499
Electricity gas power plant in W- D U	kg 1,4-DB eq	0,193	0,193	0,0000653
Electricity oil CH U	kg 1,4-DB eq	0,184	0,184	0,0000808
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,175	0,174	0,000071
LT sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,163	0,163	0,00000365
Naphtha refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,157	0,155	0,00232
Coal from underground mine N- America U	kg 1,4-DB eq	0,144	0,144	0,0000312
LT refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,135	0,135	0,0000933
Fuel oil lowS refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,13	0,13	0,000272
Coal from underground mine Australia U	kg 1,4-DB eq	0,13	0,13	0,0000226
Electricity oil L U	kg 1,4-DB eq	0,105	0,105	0,0000426
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg 1,4-DB eq	0,101	0,101	0,0000363
Copper ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0964	0,0963	0,00013
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,0921	0,0921	0,0000335
Ethylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,092	0,0906	0,00136
Drilled metres offshore U	kg 1,4-DB eq	0,0906	0,0905	0,0000649
Plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0862	0,0854	0,000722
NaOH ETH U	kg 1,4-DB eq	0,081	0,081	0,00000366
Wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0676	0,0676	0,0000172

Cement ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0656	0,0653	0,0003
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0628	0,0627	0,0000355
Electricity gas power plant in B U	kg 1,4-DB eq	0,0498	0,0498	0,0000165
Coal power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,0487	0,0487	0,000014
Zinc for plating ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0456	0,0452	0,00043
Electricity gas power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,0437	0,0437	0,000014
Uranium 3.4% in fuel element BWR D U	kg 1,4-DB eq	0,0414	0,0414	0,0000149
Refinery gas in furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	0,041	0,041	0,0000296
Heating oil petro refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0398	0,0396	0,000146
Truck 28t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0313	0,0313	0,00000571
Electricity gas power plant in F U	kg 1,4-DB eq	0,0309	0,0308	0,0000116
Lignite power plant in F U	kg 1,4-DB eq	0,0288	0,0288	0,0000117
Uranium natural in UF6 U	kg 1,4-DB eq	0,0249	0,0249	0,000009
Carbon black ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0227	0,0224	0,000346
Oil sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0182	0,0182	0,0000129
Coal power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,0178	0,0178	0,00000665
Electricity UCPTE hydro I	kg 1,4-DB eq	0,0169	0,0169	x
Bilge oil to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0143	0,0143	0,00000126
Crude oil in drill tests U	kg 1,4-DB eq	0,0136	0,0136	0,00000977
Passenger car W-Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0133	0,0131	0,000195
Fuel oil lowS stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0133	0,0132	0,0000277
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,0132	0,0132	0,00000475
Rhodium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0127	0,0126	0,0000609
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg 1,4-DB eq	0,012	0,012	0,00000476
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg 1,4-DB eq	0,012	0,012	0,00000469
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,0113	0,0113	0,00000417
Coal from stock S-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,0109	0,0109	0,00000163
Spent fuel processing U	kg 1,4-DB eq	0,0108	0,0108	0,00000389
Produced natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,0105	0,0105	0,0000029
Wood chip furnace 300kW U	kg 1,4-DB	0,00963	0,00962	0,00000933

	eq			
Petroleum gas flaring U	kg 1,4-DB eq	0,0095	0,00949	0,00000693
Waste from cooling U	kg 1,4-DB eq	0,00818	0,00818	0,0000026
Formaldehyde ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00797	0,00794	0,0000331
Platinum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00765	0,00762	0,0000381
Ceramics ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00754	0,00754	0,00000065
Lignite power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,00716	0,00716	0,00000298
Coal from stock E-Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00691	0,00691	0,000000789
PP ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00678	0,00668	0,000103
Produced natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00653	0,00653	0,00000179
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,00646	0,00646	0,00000188
Truck 16t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00594	0,00593	0,00000463
LT wood ashes mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00591	0,00591	0,00000573
Residual oil refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00545	0,00545	0,00000316
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00529	0,00529	0,00000234
Coaster I	kg 1,4-DB eq	0,00528	0,00528	x
MWI 95 per kg (process specific) U	kg 1,4-DB eq	0,00471	0,0047	0,0000112
Coal from stock Australia U	kg 1,4-DB eq	0,00408	0,00408	0,000000711
Power saw (per hour) U	kg 1,4-DB eq	0,00382	0,00382	0,000000635
Mineral wool ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00373	0,00373	0,000000203
Palladium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00373	0,00371	0,0000177
Electricity gas power plant in L U	kg 1,4-DB eq	0,00363	0,00362	0,00000151
LT bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00353	0,00352	0,00000288
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg 1,4-DB eq	0,00341	0,00339	0,0000215
Produced natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,00337	0,00337	0,000000855
Coal from stock N-America U	kg 1,4-DB eq	0,00302	0,00302	0,000000654
Produced natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00269	0,00269	0,000000715
Coal from stock S-America U	kg 1,4-DB eq	0,00263	0,00263	0,000000455
Petrol leaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00254	0,0025	0,0000372
Electricity gas power plant in E U	kg 1,4-DB eq	0,00252	0,00252	0,00000101

Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg 1,4-DB eq	0,00234	0,00234	0,00000171
Chlorine ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00221	0,0022	0,000000637
Produced natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,00211	0,00211	0,000000573
Bitumen refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00203	0,00203	0,00000239
Pipeline transport gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,002	0,002	0,000000549
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg 1,4-DB eq	0,00189	0,00188	0,00000138
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,00188	0,00188	0,000000686
Output flare production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,00186	0,00186	0,000000503
Output gas turbine production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,00177	0,00177	0,000000483
Pipeline transport gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00167	0,00167	0,000000046
Uranium enriched 3.5% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,00128	0,00128	0,000000477
Refinery gas refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00108	0,00107	0,00000211
Decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000922	0,000922	0,000000193
LDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00084	0,000839	0,000000221
Petrol unleaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000826	0,000813	0,0000121
Propylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000809	0,000799	0,000000976
Vinyl chloride ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000757	0,000756	0,000000135
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg 1,4-DB eq	0,000749	0,000749	0,000000273
Petroleum gas blow off U	kg 1,4-DB eq	0,000685	0,000684	0,00000005
Pipeline transport gas N U	kg 1,4-DB eq	0,000627	0,000627	0,000000017
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000584	0,000583	0,000000209
HF ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000579	0,000579	0,000000021
Phosphoric acid ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000576	0,000576	1,29E-08
Pipeline transport gas D U	kg 1,4-DB eq	0,000513	0,000513	0,000000013
HDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000505	0,000498	0,000000756
Diesel in building equipment U	kg 1,4-DB eq	0,000484	0,000483	0,000000102
Silicate (waterglass) ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000476	0,000475	0,000000188
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000432	0,000432	0,000000158
Pipeline transport gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,000423	0,000423	0,000000115
LT asphalt to HA chemical	kg 1,4-DB	0,000389	0,000389	0,0000000371

landfill U	eq			
Fuel oil lowS stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000364	0,000363	0,000000161
Paraxylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000346	0,000345	0,00000148
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,000273	0,000273	9,81E-08
Drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000265	0,000264	0,00000019
Leakage raw natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,000262	0,000262	0,000000072
Petrol leaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000255	0,000252	0,00000375
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,00025	0,00025	8,97E-08
Output gas turbine production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,000248	0,000248	6,54E-08
Emission process water petroleum gas U	kg 1,4-DB eq	0,000242	0,000242	6,58E-08
Pipeline transport gas U	kg 1,4-DB eq	0,0002	0,000199	5,17E-08
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,000195	0,000195	7,65E-08
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,000195	0,000195	6,98E-08
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000187	0,000187	7,33E-08
Gypsum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000173	0,000173	0,000000794
Freighter inland ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000169	0,000169	6,12E-09
Diesel in diesel generator onshore U	kg 1,4-DB eq	0,000139	0,000139	0,000000101
Petrol leaded refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,000122	0,000122	2,03E-08
Output flare production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,000113	0,000113	3,08E-08
Diesel in diesel generator offshore U	kg 1,4-DB eq	0,000112	0,000112	8,08E-08
Refinery gas in furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,000108	0,000108	0,000000212
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,000104	0,000104	3,74E-08
Leakage raw natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,000101	0,000101	2,79E-08
Float glass uncoated ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000961	0,0000951	0,00000105
Petrol unleaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0000831	0,0000819	0,00000122
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,0000756	0,0000756	2,73E-08
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg 1,4-DB eq	0,0000712	0,0000711	7,39E-08
Excavation hydraulic digger U	kg 1,4-DB eq	0,0000638	0,0000638	7,23E-09
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,0000629	0,0000629	2,36E-08
Leakage production natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0000523	0,0000523	1,44E-08

Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,0000465	0,0000465	1,69E-08
Waste collection municipality per kg U	kg 1,4-DB eq	0,0000378	0,0000373	0,000000546
Wood ash mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0000345	0,0000345	3,35E-08
Leakage raw natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,0000324	0,0000324	8,22E-09
Emission process water natural gas U	kg 1,4-DB eq	0,0000289	0,0000289	7,87E-09
Tanker inland ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000285	0,0000285	0,000000016
Leakage raw natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,0000258	0,0000258	6,88E-09
Phenol ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000253	0,0000252	0,000000108
PVC high impact ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000213	0,0000213	3,8E-09
Diesel refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000206	0,0000203	0,000000297
Leakage raw natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0000203	0,0000203	5,51E-09
Bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0000192	0,0000191	1,57E-08
Petrol leaded stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000184	0,0000184	3,06E-09
Leakage production natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00000978	0,00000978	2,55E-09
Leakage production natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,00000776	0,00000775	2,14E-09
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00000745	0,00000745	2,71E-09
PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0000074	0,00000739	7,06E-09
Train I	kg 1,4-DB eq	0,00000571	0,00000571	x
Excavation skid steer loader U	kg 1,4-DB eq	0,00000489	0,00000486	2,61E-08
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00000446	0,00000445	1,08E-08
Diesel stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,00000308	0,00000304	4,45E-08
Leakage production natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,00000245	0,00000245	6,23E-10
LT PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00000212	0,00000212	2,02E-09
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg 1,4-DB eq	0,0000019	0,00000189	9,6E-10
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,00000181	0,00000181	7,08E-10
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,00000181	0,00000181	7,08E-10
Leakage production natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,00000168	0,00000168	4,57E-10
Leakage natural gas UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,00000131	0,00000131	4,18E-10
Fuel oil lowS 2000 stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,00000112	0,00000112	4,06E-10
Crude oil transport Europe U	kg 1,4-DB	0,000000912	0,000000912	6,56E-10

	eq			
LT carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000000864	0,000000859	4,85E-09
Crude oil transport GUS U	kg 1,4-DB eq	0,000000737	0,000000737	5,16E-10
Delivery van <3.5t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000604	0,000000601	3,29E-09
Crude oil transport N-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,000000385	0,000000385	2,97E-10
Crude oil transport M-East U	kg 1,4-DB eq	0,000000034	0,000000034	2,62E-10
Crude oil transport C-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,000000198	0,000000198	1,5E-10
Asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000000109	0,000000109	1,04E-10
Crude oil transport S-America U	kg 1,4-DB eq	8,86E-08	8,85E-08	6,23E-11
MG-Silicium ETH U	kg 1,4-DB eq	6,15E-08	6,15E-08	3,47E-11
Crude oil transport N-America U	kg 1,4-DB eq	3,49E-08	3,48E-08	2,43E-11
Aluminium 100% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	2,66E-08	2,65E-08	1,5E-11
Carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	9,95E-09	9,9E-09	5,58E-11
CORUS slags I	kg 1,4-DB eq	0	0	x
Sinter, pellet	kg 1,4-DB eq	-2,11	x	-2,11
Coke S	kg 1,4-DB eq	-15,7	x	-15,7
Electricity UCPTE High Voltage	kg 1,4-DB eq	-75,1	x	-75,1

Πίνακας Π.7: Απογραφή Δεδομένων για την Ανθρώπινη Τοξικότητα, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg 1,4-DB eq	436000	427000	8950
Coal tailings in landfill U	kg 1,4-DB eq	101000	101000	4,99
Aluminium 0% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	93200	93200	4,03
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	60600	60600	0,961
Steel I	kg 1,4-DB eq	48400	48400	x
Sinter ETH U	kg 1,4-DB eq	36000	36000	1,1
Crude iron ETH U	kg 1,4-DB eq	23200	23200	0,707
Cast iron ETH U	kg 1,4-DB eq	12300	12300	0,000211
Crude oil production offshore U	kg 1,4-DB eq	11600	11500	8,45
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg 1,4-DB eq	10900	x	10900
Freighter oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	10000	10000	0,237
Electricity UCPTE coal I	kg 1,4-DB eq	6920	6920	x
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	3390	3390	2,99
Electricity UCPTE gas I	kg 1,4-DB eq	2100	2100	x

Electricity oil I U	kg 1,4-DB eq	1480	1480	0,572
Coal cokes U	kg 1,4-DB eq	1440	1440	0,0322
Crude oil production onshore U	kg 1,4-DB eq	1440	1440	1,05
Coal power plant in E U	kg 1,4-DB eq	1370	1370	0,359
Lignite power plant in D U	kg 1,4-DB eq	1020	1020	0,414
Iron pellets ETH U	kg 1,4-DB eq	882	882	0,0271
Coal power plant in D U	kg 1,4-DB eq	836	836	0,218
Tanker oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	749	749	0,565
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg 1,4-DB eq	739	739	0,0754
Electricity UCPTE oil I	kg 1,4-DB eq	679	679	x
Residual oil refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	675	675	0,0464
Lead ETH U	kg 1,4-DB eq	670	662	8,28
Lignite power plant in Gr U	kg 1,4-DB eq	445	444	0,18
Rail transport ETH U	kg 1,4-DB eq	431	431	0,0372
Coal power plant in F U	kg 1,4-DB eq	379	379	0,111
Coal power plant in B U	kg 1,4-DB eq	375	375	0,0979
Converter steel ETH U	kg 1,4-DB eq	334	333	0,724
Coal power plant in I U	kg 1,4-DB eq	300	300	0,0839
Copper I	kg 1,4-DB eq	296	296	x
Crude oil I	kg 1,4-DB eq	230	230	x
Landfill Ceramics	kg 1,4-DB eq	211	x	211
Ethylene ETH U	kg 1,4-DB eq	195	192	2,88
Coal power plant in P U	kg 1,4-DB eq	184	184	0,0461
Uranium natural in concentrate U	kg 1,4-DB eq	172	172	0,0622
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg 1,4-DB eq	161	160	0,0907
Electricity gas power plant in I U	kg 1,4-DB eq	137	137	0,0437
Electricity oil P U	kg 1,4-DB eq	134	134	0,0529
Electricity gas power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	131	130	0,0416
Electricity gas power plant in W-D U	kg 1,4-DB eq	128	128	0,0433
Lignite power plant in E U	kg 1,4-DB eq	127	127	0,0518
Electricity oil W-D U	kg 1,4-DB eq	127	127	0,05
Energy gas I	kg 1,4-DB eq	123	123	x
Electricity oil E U	kg 1,4-DB eq	120	120	0,0473
Coal power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	118	118	0,0303
Electricity oil Gr U	kg 1,4-DB eq	114	114	0,044
Glass fibre I	kg 1,4-DB eq	112	112	x
Truck 40t ETH U	kg 1,4-DB eq	95,8	94,4	1,47
Electricity oil F U	kg 1,4-DB eq	92,6	92,6	0,0377
Uranium in ore (underground mine) U	kg 1,4-DB eq	84,5	84,5	0,0306
Carbon black ETH U	kg 1,4-DB eq	76,5	75,3	1,16
Bulk carrier I	kg 1,4-DB eq	67,1	67,1	x
Trailer I	kg 1,4-DB eq	65,8	65,8	x
Coal ash in landfill U	kg 1,4-DB eq	61,2	61,2	0,0138
Diesel refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	57	56,6	0,358
Landfill Ferro metals	kg 1,4-DB eq	53,7	x	53,7
Crude oil in drill tests U	kg 1,4-DB eq	45,5	45,4	0,0326
Electricity oil NL U	kg 1,4-DB eq	44,2	44,2	0,017

Lignite power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	43,4	43,3	0,0176
Train I	kg 1,4-DB eq	41,6	41,6	x
Diesel in building equipment U	kg 1,4-DB eq	40,8	40,7	0,0861
Drilling waste to land farming U	kg 1,4-DB eq	38,1	38,1	0,0273
Electricity oil Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	37,2	37,2	0,0149
Diesel in diesel generator onshore U	kg 1,4-DB eq	34,9	34,8	0,0252
Electricity gas power plant in B U	kg 1,4-DB eq	32,5	32,5	0,0108
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	32,1	32	0,0656
Energy oil I	kg 1,4-DB eq	31	31	x
Electricity oil A U	kg 1,4-DB eq	30,8	30,7	0,0121
Refinery gas refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	30,7	30,7	0,0222
Coaster I	kg 1,4-DB eq	29,4	29,4	x
Electricity gas power plant in A U	kg 1,4-DB eq	28,7	28,7	0,0092
Petroleum gas flaring U	kg 1,4-DB eq	28,7	28,6	0,0209
Copper ETH U	kg 1,4-DB eq	26,3	26,2	0,0355
Residual oil stock Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	25,7	25,7	0,000736
Uranium in ore (open mine) U	kg 1,4-DB eq	25,6	25,6	0,00925
Plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	25,4	25	0,37
Bitumen refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	23,7	23,6	0,0657
Electricity oil B U	kg 1,4-DB eq	20,2	20,2	0,00782
Electricity gas power plant in F U	kg 1,4-DB eq	20,1	20,1	0,00756
HDPE A	kg 1,4-DB eq	19,2	19,2	x
Electro steel ETH U	kg 1,4-DB eq	19	18,9	0,0398
Energy Australia I	kg 1,4-DB eq	18,2	18,2	x
Nickel enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	17,8	17,7	0,109
Coal power plant in A U	kg 1,4-DB eq	17	17	0,0049
Crude oil transport Europe U	kg 1,4-DB eq	13,8	13,7	0,00989
Electricity UCPTE nuclear I	kg 1,4-DB eq	13,7	13,7	x
Lignite power plant in F U	kg 1,4-DB eq	13,6	13,6	0,00557
Refinery gas in furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	12,5	12,5	0,00901
Freighter inland ETH U	kg 1,4-DB eq	12,3	12,3	0,000446
Crude oil transport GUS U	kg 1,4-DB eq	11,1	11,1	0,00779
Diesel in diesel generator offshore U	kg 1,4-DB eq	11,1	11,1	0,00804
Diesel I	kg 1,4-DB eq	10,9	10,9	x
Zinc for plating ETH U	kg 1,4-DB eq	9,82	9,72	0,0925
Cement ETH U	kg 1,4-DB eq	9,3	9,26	0,0426
Passenger car W-Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	8,89	8,76	0,13
Explosives ETH U	kg 1,4-DB eq	6,85	6,85	0,000275
Desulphurisation unit U	kg 1,4-DB eq	6,4	6,4	0,00169
Crude oil transport N-Africa U	kg 1,4-DB eq	5,81	5,81	0,00448
Electricity oil CH U	kg 1,4-DB eq	5,61	5,61	0,00246
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg 1,4-DB eq	5,48	5,48	0,00401
Residual oil in refinery furnace CH U	kg 1,4-DB eq	5,45	5,44	0,0107
Excavation hydraulic digger U	kg 1,4-DB eq	5,36	5,36	0,000607
Crude oil transport M-East U	kg 1,4-DB eq	5,13	5,13	0,00395
MWI 95 per kg (process specific) U	kg 1,4-DB eq	5,07	5,05	0,012
Coal power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	4,86	4,85	0,00181

Ceramics ETH U	kg 1,4-DB eq	4,77	4,77	0,000411
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	4,3	4,3	0,00126
Fuel oil lowS refinery CH U	kg 1,4-DB eq	4,17	4,16	0,00871
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	3,77	3,77	0,00136
Diesel stock Europe U	kg 1,4-DB eq	3,52	3,5	0,0221
Coal from underground mine UCPTE U	kg 1,4-DB eq	3,02	3,02	0,000123
Crude oil transport C-Africa U	kg 1,4-DB eq	2,98	2,98	0,00227
Naphtha refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	2,95	2,9	0,0435
Barge I	kg 1,4-DB eq	2,79	2,79	x
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg 1,4-DB eq	2,78	2,77	0,00202
Electricity gas power plant in L U	kg 1,4-DB eq	2,43	2,43	0,00101
Tanker inland ETH U	kg 1,4-DB eq	2,22	2,22	0,00124
Wood chip furnace 300kW U	kg 1,4-DB eq	1,9	1,9	0,00184
Electricity gas power plant in E U	kg 1,4-DB eq	1,7	1,7	0,000683
HDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	1,68	1,66	0,0252
Lignite power plant in A U	kg 1,4-DB eq	1,55	1,55	0,000645
Power saw (per hour) U	kg 1,4-DB eq	1,51	1,51	0,00025
Drilled metres onshore U	kg 1,4-DB eq	1,4	1,4	0,001
Output gas turbine pipeline GUS U	kg 1,4-DB eq	1,39	1,39	0,000381
Crude oil transport S-America U	kg 1,4-DB eq	1,34	1,34	0,00094
Emission process water petroleum gas U	kg 1,4-DB eq	1,23	1,23	0,000334
NaOH ETH U	kg 1,4-DB eq	1,2	1,2	0,0000543
Electricity oil L U	kg 1,4-DB eq	1,14	1,14	0,000463
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	1,13	1,13	0,00078
Truck 28t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,948	0,947	0,000173
Ammonia ETH U	kg 1,4-DB eq	0,864	0,863	0,000148
Heating oil petro refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,747	0,744	0,00275
Coal from stock UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,739	0,739	0,0000365
Uranium natural in UF6 U	kg 1,4-DB eq	0,707	0,707	0,000256
Wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,578	0,578	0,000147
Refinery sludge to landfarming U	kg 1,4-DB eq	0,543	0,543	0,000374
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,538	0,538	0,000196
Crude oil transport N-America U	kg 1,4-DB eq	0,526	0,525	0,000367
Petrol leaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,477	0,47	0,007
Output gas turbine production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,477	0,477	0,00013
Waste to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,46	0,459	0,00118
Excavation skid steer loader U	kg 1,4-DB eq	0,412	0,41	0,0022
Rhodium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,382	0,38	0,00184
Uranium enriched 3.5% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,367	0,367	0,000136
HF ETH U	kg 1,4-DB eq	0,365	0,365	0,000132
Phosphoric acid ETH U	kg 1,4-DB eq	0,363	0,363	0,00000813
Output flare production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,345	0,345	0,0000933
Silicate (waterglass) ETH U	kg 1,4-DB eq	0,301	0,3	0,000119

Truck 16t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,295	0,295	0,00023
Sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,275	0,275	0,00000616
Coal from open mine U	kg 1,4-DB eq	0,258	0,258	0,0000273
Mineral wool ETH U	kg 1,4-DB eq	0,253	0,253	0,0000138
Nitric acid ETH U	kg 1,4-DB eq	0,248	0,248	0,0000623
Platinum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,238	0,236	0,00118
Vinyl chloride ETH U	kg 1,4-DB eq	0,233	0,233	0,0000416
Paraxylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,199	0,198	0,000852
LT plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,193	0,191	0,00162
Phenol ETH U	kg 1,4-DB eq	0,188	0,187	0,000803
Residual oil refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,174	0,174	0,000101
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,167	0,166	0,0000598
Fuel oil lowS stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,162	0,161	0,000338
Petrol unleaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,155	0,153	0,00228
Palladium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,148	0,147	0,000702
Output gas turbine pipeline NL U	kg 1,4-DB eq	0,147	0,147	0,0000405
Plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,145	0,144	0,00121
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,133	0,133	0,0000916
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,123	0,123	0,000045
Output gas turbine production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,109	0,109	0,0000287
Produced natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,0997	0,0997	0,0000253
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0993	0,0993	0,000044
Output gas turbine pipeline Alg U	kg 1,4-DB eq	0,0976	0,0976	0,0000265
Gypsum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0921	0,0917	0,000422
Output gas turbine pipeline N U	kg 1,4-DB eq	0,0868	0,0867	0,0000236
Produced natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0866	0,0866	0,0000238
Electricity UCPTE hydro I	kg 1,4-DB eq	0,0841	0,0841	x
H2SO4 ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0715	0,0715	0,0000102
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,0714	0,0714	0,0000256
Coal from underground mine S-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,0697	0,0697	0,0000104
Bitumen refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0651	0,065	0,0000766
Coal from underground mine E-Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0611	0,0611	0,00000698
Float glass uncoated ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0608	0,0601	0,000665
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,0557	0,0556	0,0000218
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,0533	0,0533	0,0000209
Truck I	kg 1,4-DB eq	0,0531	0,0531	x
Uranium 3.4% in fuel element PWR F U	kg 1,4-DB eq	0,0504	0,0504	0,0000181
PP ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0479	0,0471	0,000724
Petrol leaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0476	0,0469	0,000699
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg 1,4-DB eq	0,0448	0,0445	0,000282
Output flare production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,0422	0,0422	0,0000115
LT plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0421	0,0415	0,000613
Spent fuel processing U	kg 1,4-DB eq	0,0407	0,0407	0,0000147
Coal from stock S-Africa U	kg 1,4-DB eq	0,04	0,04	0,00000596

Output gas turbine pipeline D U	kg 1,4-DB eq	0,0378	0,0378	0,00000961
Pipeline transport gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,0374	0,0374	0,0000103
Refinery gas refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0344	0,0344	0,0000675
Chlorine ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0328	0,0328	0,00000947
Output gas turbine TJin U	kg 1,4-DB eq	0,0315	0,0315	0,0000078
Pipeline transport gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0315	0,0315	0,00000865
Output Gasmotor Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,0315	0,0315	0,00000816
Refinery gas in furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,0312	0,0312	0,0000612
Drilled metres offshore U	kg 1,4-DB eq	0,0276	0,0275	0,0000198
Coal from stock E-Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0253	0,0253	0,00000289
Produced natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,025	0,025	0,00000688
Petrol leaded stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0212	0,0212	0,00000352
PVC high impact ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0206	0,0206	0,00000366
LT drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0196	0,0196	0,000014
Output gas turbine NL U	kg 1,4-DB eq	0,0171	0,0171	0,00000501
LT decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,017	0,017	0,00000356
Leakage raw natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0157	0,0157	0,00000432
Petrol unleaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0155	0,0153	0,000228
Propylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0152	0,0151	0,000184
Coal from stock Australia U	kg 1,4-DB eq	0,0149	0,0149	0,00000261
Output gas turbine pipeline UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,0147	0,0147	0,00000382
Coal from underground mine N-America U	kg 1,4-DB eq	0,0145	0,0145	0,00000313
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg 1,4-DB eq	0,0142	0,0142	0,00000511
NOx retained in SCR U	kg 1,4-DB eq	0,0138	0,0138	0,00000431
Bilge oil to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0134	0,0134	0,00000118
Coal from underground mine Australia U	kg 1,4-DB eq	0,013	0,013	0,00000227
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,013	0,013	0,00000472
Petroleum gas blow off U	kg 1,4-DB eq	0,0128	0,0128	0,00000938
LDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0128	0,0128	0,00000337
Pipeline transport gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0118	0,0118	0,0000032
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0113	0,0113	0,0000276
Coal from stock N-America U	kg 1,4-DB eq	0,0111	0,0111	0,00000239
Produced natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0107	0,0107	0,00000292
Coal from stock S-America U	kg 1,4-DB eq	0,00965	0,00965	0,00000167
Pipeline transport gas D U	kg 1,4-DB eq	0,00962	0,00962	0,00000244
Pipeline transport gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00795	0,00795	0,00000216
Output gas turbine D U	kg 1,4-DB eq	0,00739	0,00739	0,00000237
Diesel engine truck B	kg 1,4-DB eq	0,00702	x	0,00702
Diesel B	kg 1,4-DB eq	0,00682	x	0,00682
Oil sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,00655	0,00654	0,00000466
Produced natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00638	0,00638	0,0000017
Emission process water natural gas U	kg 1,4-DB eq	0,00625	0,00625	0,0000017
Uranium 3.4% in fuel element	kg 1,4-DB eq	0,00583	0,00582	0,0000021

BWR D U				
Output gas turbine GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00493	0,00493	0,00000135
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg 1,4-DB eq	0,00483	0,00483	0,00000245
Soda ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00481	0,0048	0,00000645
Fuel oil lowS stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00443	0,00443	0,00000196
Leakage raw natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,00395	0,00395	0,000001
Petrol leaded refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00393	0,00393	0,000000653
Pipeline transport gas U	kg 1,4-DB eq	0,00374	0,00374	0,00000097
LT waste to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00333	0,00333	0,00000106
LT sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00308	0,00308	6,89E-08
Output gas turbine Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00252	0,00252	0,00000067
LT refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00249	0,00249	0,00000172
Wood ash mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00234	0,00234	0,00000227
Waste collection municipality per kg U	kg 1,4-DB eq	0,00229	0,00226	0,0000331
Leakage raw natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,0019	0,0019	0,000000523
Output gas turbine N U	kg 1,4-DB eq	0,00187	0,00186	0,000000507
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg 1,4-DB eq	0,00169	0,00169	0,00000067
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg 1,4-DB eq	0,00168	0,00168	0,00000066
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,00159	0,00159	0,000000587
LT wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00112	0,00112	0,000000284
Output Gasmotor NL U	kg 1,4-DB eq	0,00101	0,00101	0,000000278
Leakage production natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00098	0,00098	0,00000027
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg 1,4-DB eq	0,000935	0,000934	0,000000972
Output Gasmotor GUS U	kg 1,4-DB eq	0,000848	0,000847	0,000000233
HCl ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00078	0,00078	0,000000242
Waste from cooling U	kg 1,4-DB eq	0,000697	0,000697	0,000000222
Diesel refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,000658	0,000649	0,000000951
Leakage raw natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,000589	0,000589	0,00000016
Leakage raw natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,000485	0,000485	0,000000129
Paper ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000448	0,000443	0,000000429
Delivery van <3.5t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000354	0,000352	0,000000193
Output Gasmotor N U	kg 1,4-DB eq	0,000318	0,000318	8,64E-08
Output Gasmotor D U	kg 1,4-DB eq	0,000259	0,000259	6,59E-08
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,000239	0,000238	8,68E-08
Leakage production natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,000183	0,000183	4,79E-08
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg 1,4-DB eq	0,000157	0,000157	5,71E-08
Leakage production natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,000145	0,000145	0,00000004
Output gasmotor TJin U	kg 1,4-DB eq	0,000101	0,000101	2,62E-08
Bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0000758	0,0000758	0,000000062
Drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0000604	0,0000604	4,33E-08
PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0000493	0,0000493	4,71E-08

Leakage production natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,000046	0,000046	1,17E-08
MG-Silicium ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000395	0,0000395	2,23E-08
Diesel stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000354	0,0000349	0,000000511
LT wood ashes mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0000348	0,0000348	3,38E-08
Leakage production natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0000315	0,0000315	8,57E-09
Leakage natural gas UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,0000246	0,0000246	7,85E-09
Aluminium 100% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000168	0,0000168	9,47E-09
Formaldehyde ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000143	0,0000143	5,94E-08
Fuel oil lowS 2000 stock CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000128	0,0000128	4,67E-09
Decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00000774	0,00000774	1,62E-09
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,00000748	0,00000747	2,68E-09
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,00000532	0,00000532	1,91E-09
LT bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00000398	0,00000397	3,25E-09
Natural gas HP user in Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00000394	0,00000394	8,75E-10
Ureum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00000359	0,00000358	1,47E-08
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,00000283	0,00000283	1,02E-09
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,00000207	0,00000207	7,47E-10
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg 1,4-DB eq	0,00000172	0,00000172	6,44E-10
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg 1,4-DB eq	0,00000127	0,00000127	4,63E-10
Natural gas HP user in D U	kg 1,4-DB eq	0,00000117	0,00000117	3,96E-10
Natural gas HP user in I U	kg 1,4-DB eq	0,000000893	0,000000893	2,85E-10
Packaging carton ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000845	0,000000844	1,26E-09
Natural gas HP user in NL U	kg 1,4-DB eq	0,000000606	0,000000605	1,93E-10
LT asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000000439	0,000000438	4,18E-10
Asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000000433	0,000000432	4,12E-10
Carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000000417	0,000000414	2,34E-09
Natural gas HP user in A U	kg 1,4-DB eq	0,00000025	0,00000025	8,03E-11
Natural gas HP user in B U	kg 1,4-DB eq	0,000000245	0,000000245	8,11E-11
Output gas turbine CH U	kg 1,4-DB eq	0,000000234	0,000000234	1,19E-10
Natural gas HP user in F U	kg 1,4-DB eq	8,79E-08	8,78E-08	3,3E-11
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg 1,4-DB eq	4,94E-08	4,94E-08	1,94E-11
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg 1,4-DB eq	4,94E-08	4,94E-08	1,94E-11
LT PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	2,24E-08	2,23E-08	2,13E-11
LT carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	1,16E-08	1,15E-08	6,49E-11
Natural gas HP user in E U	kg 1,4-DB eq	1,18E-09	1,18E-09	4,75E-13
Natural gas HP user in CH U	kg 1,4-DB eq	6,33E-11	6,33E-11	3,21E-14
CORUS slags I	kg 1,4-DB eq	0	0	x
Furnace gas B	kg 1,4-DB eq	-0,0193	x	-0,0193
Lime stone bj	kg 1,4-DB eq	-0,0281	x	-0,0281
Natural gas B	kg 1,4-DB eq	-1,15	x	-1,15
Crude coal B	kg 1,4-DB eq	-1,7	x	-1,7

Iron	kg 1,4-DB eq	-2,29	x	-2,29
Coke S	kg 1,4-DB eq	-435	x	-435
Electricity UCPTE High Voltage	kg 1,4-DB eq	-445	x	-445
Sinter, pellet	kg 1,4-DB eq	-1330	x	-1330

Πίνακας Π.8: Απογραφή Δεδομένων για την Εξασθένιση της στοιβάδας του όζοντος, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg CFC-11 eq	0,237	0,232	0,0056
Crude oil production onshore U	kg CFC-11 eq	0,127	0,126	0,0000923
Crude oil production offshore U	kg CFC-11 eq	0,0509	0,0509	0,0000372
Tanker oceanic ETH U	kg CFC-11 eq	0,0441	0,0441	0,0000333
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg CFC-11 eq	0,00567	x	0,00567
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg CFC-11 eq	0,00491	0,00491	0,00000177
Electricity UCPTE oil I	kg CFC-11 eq	0,00127	0,00127	x
Vinyl chloride ETH U	kg CFC-11 eq	0,000979	0,000979	0,000000174
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg CFC-11 eq	0,000701	0,0007	0,000000255
Uranium enriched 3.5% EURODIF U	kg CFC-11 eq	0,000478	0,000478	0,000000177
Electricity UCPTE gas I	kg CFC-11 eq	0,000394	0,000394	x
Electricity UCPTE coal I	kg CFC-11 eq	0,000377	0,000377	x
NaOH ETH U	kg CFC-11 eq	0,000251	0,000251	1,13E-08
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg CFC-11 eq	0,000217	0,000217	7,78E-08
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg CFC-11 eq	0,000161	0,000161	5,86E-08
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg CFC-11 eq	0,000127	0,000127	4,57E-08
Uranium enriched 3.7% EURODIF U	kg CFC-11 eq	0,000093	0,000093	3,34E-08
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg CFC-11 eq	0,0000907	0,0000907	3,25E-08
Uranium enriched 3.25% EURODIF U	kg CFC-11 eq	0,0000725	0,0000725	2,84E-08
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg CFC-11 eq	0,0000695	0,0000695	2,72E-08
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg CFC-11 eq	0,0000483	0,0000483	1,74E-08
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg CFC-11 eq	0,0000352	0,0000352	1,27E-08
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg CFC-11 eq	0,0000293	0,0000293	0,000000011
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg CFC-11 eq	0,0000217	0,0000217	7,89E-09
Chlorine ETH U	kg CFC-11 eq	0,00000684	0,00000684	1,98E-09
Electricity UCPTE nuclear I	kg CFC-11 eq	0,00000431	0,00000431	x
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg CFC-11 eq	0,000000842	0,000000842	3,3E-10

Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg CFC-11 eq	0,000000842	0,000000842	3,3E-10
Electricity UCPTE hydro I	kg CFC-11 eq	0,000000061	0,000000061	x
PVC high impact ETH U	kg CFC-11 eq	5,77E-08	5,77E-08	1,03E-11
Electricity UCPTE High Voltage	kg CFC-11 eq	-0,000233	x	-0,000233

Πίνακας Π.9: Απογραφή Δεδομένων για την Φωτοχημική Οξείδωση, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg C2H2	568	588	-19,3
Steel I	kg C2H2	180	180	x
Copper I	kg C2H2	148	148	x
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg C2H2	69,8	69,8	0,00111
Sinter ETH U	kg C2H2	56,9	56,9	0,00173
Bulk carrier I	kg C2H2	37,1	37,1	x
Freighter oceanic ETH U	kg C2H2	17,7	17,7	0,000418
Cast iron ETH U	kg C2H2	9,47	9,47	0,000000162
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg C2H2	8,93	x	8,93
Coal from underground mine UCPTE U	kg C2H2	6,8	6,8	0,000277
Residual oil refinery Europe U	kg C2H2	5,73	5,73	0,000394
Glass fibre I	kg C2H2	5,17	5,17	x
Coal cokes U	kg C2H2	4,99	4,99	0,000112
Energy oil I	kg C2H2	3,3	3,3	x
Electricity UCPTE coal I	kg C2H2	3,01	3,01	x
Energy gas I	kg C2H2	2,95	2,95	x
Lignite power plant in D U	kg C2H2	2,83	2,83	0,00115
HDPE ETH U	kg C2H2	2,62	2,58	0,0393
Barge I	kg C2H2	2,44	2,44	x
Crude iron ETH U	kg C2H2	2,32	2,32	0,0000707
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg C2H2	2,31	2,31	0,00204
Electricity oil I U	kg C2H2	2,06	2,06	0,000794
Energy Australia I	kg C2H2	1,72	1,72	x
Coal power plant in E U	kg C2H2	1,51	1,51	0,000395
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg C2H2	1,36	1,36	0,000139
Tanker oceanic ETH U	kg C2H2	1,31	1,31	0,000987
Electricity UCPTE gas I	kg C2H2	1,22	1,22	x
Lignite power plant in Gr U	kg C2H2	1,1	1,1	0,000447
Lignite power plant in E U	kg C2H2	0,971	0,971	0,000397
Electricity UCPTE oil I	kg C2H2	0,81	0,81	x
Coal power plant in D U	kg C2H2	0,693	0,693	0,000181
HDPE A	kg C2H2	0,571	0,571	x
Converter steel ETH U	kg C2H2	0,554	0,552	0,0012
Diesel I	kg C2H2	0,529	0,529	x
Petroleum gas blow off U	kg C2H2	0,501	0,5	0,000366
Diesel refinery Europe U	kg C2H2	0,484	0,481	0,00304
Coal power plant in F U	kg C2H2	0,475	0,475	0,000139

Coal power plant in I U	kg C2H2	0,443	0,443	0,000124
Truck 40t ETH U	kg C2H2	0,426	0,42	0,00655
Diesel in diesel generator offshore U	kg C2H2	0,401	0,401	0,00029
Diesel in building equipment U	kg C2H2	0,384	0,383	0,00081
Refinery gas in furnace Europe U	kg C2H2	0,372	0,372	0,000268
Diesel in diesel generator onshore U	kg C2H2	0,345	0,345	0,000249
Crude oil production onshore U	kg C2H2	0,316	0,316	0,000231
Coal power plant in B U	kg C2H2	0,306	0,306	0,0000798
Coal power plant in P U	kg C2H2	0,267	0,267	0,000067
Refinery gas refinery Europe U	kg C2H2	0,261	0,261	0,000189
Crude oil production offshore U	kg C2H2	0,254	0,254	0,000186
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg C2H2	0,225	0,225	0,0000916
Trailer I	kg C2H2	0,208	0,208	x
Nickel enriched ETH U	kg C2H2	0,202	0,2	0,00124
Bitumen refinery Europe U	kg C2H2	0,201	0,201	0,000559
Electricity oil P U	kg C2H2	0,187	0,187	0,0000736
Freighter inland ETH U	kg C2H2	0,186	0,186	0,00000674
Electricity oil W-D U	kg C2H2	0,176	0,176	0,0000694
Electricity oil E U	kg C2H2	0,167	0,167	0,0000658
Electricity oil Gr U	kg C2H2	0,158	0,158	0,000061
Explosives ETH U	kg C2H2	0,152	0,152	0,00000609
Train I	kg C2H2	0,135	0,135	x
Electricity oil F U	kg C2H2	0,129	0,129	0,0000524
Copper ETH U	kg C2H2	0,123	0,123	0,000166
Coal from underground mine E-Europe U	kg C2H2	0,113	0,113	0,0000129
Truck I	kg C2H2	0,11	0,11	x
Leakage production natural gas GUS U	kg C2H2	0,102	0,102	0,0000281
Rail transport ETH U	kg C2H2	0,0975	0,0975	0,00000841
Coal power plant in NL U	kg C2H2	0,0907	0,0906	0,0000232
Crude oil I	kg C2H2	0,0874	0,0874	x
Coal from underground mine S-Africa U	kg C2H2	0,0848	0,0848	0,0000126
Crude oil transport Europe U	kg C2H2	0,0834	0,0834	0,00006
Ethylene ETH U	kg C2H2	0,0729	0,0718	0,00108
Electricity gas power plant in W-D U	kg C2H2	0,0697	0,0697	0,0000236
Crude oil transport GUS U	kg C2H2	0,0674	0,0674	0,0000472
Electricity oil NL U	kg C2H2	0,0613	0,0612	0,0000236
Lignite power plant in F U	kg C2H2	0,0576	0,0576	0,0000235
Leakage production natural gas Alg. U	kg C2H2	0,0562	0,0562	0,0000147
Electricity gas power plant in I U	kg C2H2	0,0548	0,0548	0,0000175
Cement ETH U	kg C2H2	0,0544	0,0541	0,000249
Electricity oil Ex-Ju U	kg C2H2	0,0517	0,0517	0,0000207
Electricity gas power plant in NL U	kg C2H2	0,0511	0,0511	0,0000163
Excavation hydraulic digger U	kg C2H2	0,0503	0,0503	0,0000057
Produced natural gas D U	kg C2H2	0,0459	0,0458	0,0000116
Electricity oil A U	kg C2H2	0,0427	0,0426	0,0000168
Coaster I	kg C2H2	0,0423	0,0423	x

Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg C2H2	0,0379	0,0378	0,0000775
Leakage raw natural gas GUS U	kg C2H2	0,0374	0,0374	0,0000103
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg C2H2	0,0358	0,0358	0,0000202
H2SO4 ETH U	kg C2H2	0,0358	0,0357	0,00000512
Fuel oil lowS refinery CH U	kg C2H2	0,0356	0,0356	0,0000745
Produced natural gas GUS U	kg C2H2	0,0356	0,0356	0,00000978
Ammonia ETH U	kg C2H2	0,0353	0,0353	0,00000604
Crude oil transport N-Africa U	kg C2H2	0,0352	0,0352	0,0000272
Tanker inland ETH U	kg C2H2	0,0338	0,0338	0,000019
Crude oil transport M-East U	kg C2H2	0,0311	0,0311	0,000024
Electricity oil B U	kg C2H2	0,0281	0,0281	0,0000109
Naphtha refinery Europe U	kg C2H2	0,025	0,0247	0,00037
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg C2H2	0,0248	0,0247	0,0000181
Coal power plant in Ex-Ju U	kg C2H2	0,0227	0,0227	0,00000847
Coal from underground mine N-America U	kg C2H2	0,0221	0,0221	0,00000477
Output gas turbine production sour gas U	kg C2H2	0,0218	0,0218	0,00000574
Carbon black ETH U	kg C2H2	0,0212	0,0209	0,000322
Crude oil in drill tests U	kg C2H2	0,0202	0,0202	0,0000145
Leakage natural gas UCPTE U	kg C2H2	0,0198	0,0197	0,00000631
Crude oil transport C-Africa U	kg C2H2	0,0181	0,0181	0,0000137
Leakage production natural gas NL U	kg C2H2	0,018	0,018	0,00000495
Passenger car W-Europe ETH U	kg C2H2	0,0177	0,0174	0,00026
Coal from underground mine Australia U	kg C2H2	0,0166	0,0165	0,00000289
Mineral wool ETH U	kg C2H2	0,0161	0,0161	0,000000879
Electricity gas power plant in B U	kg C2H2	0,0153	0,0153	0,00000507
Wood chip furnace 300kW U	kg C2H2	0,0145	0,0145	0,0000141
Electricity gas power plant in A U	kg C2H2	0,0136	0,0136	0,00000435
Diesel engine truck B	kg C2H2	0,0133	x	0,0133
Output flare production sour gas U	kg C2H2	0,0107	0,0107	0,00000293
Leakage production natural gas N U	kg C2H2	0,00966	0,00965	0,00000262
Electricity gas power plant in F U	kg C2H2	0,00922	0,00922	0,00000347
Leakage raw natural gas NL U	kg C2H2	0,00905	0,00905	0,00000249
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg C2H2	0,00817	0,00816	0,00000597
Crude oil transport S-America U	kg C2H2	0,0081	0,0081	0,0000057
Coal from open mine U	kg C2H2	0,00749	0,00749	0,000000794
Leakage raw natural gas D U	kg C2H2	0,0072	0,0072	0,00000183
Coal power plant in A U	kg C2H2	0,00683	0,00682	0,00000196
Output gas turbine pipeline GUS U	kg C2H2	0,00672	0,00672	0,00000185
Electricity UCPTE nuclear I	kg C2H2	0,00646	0,00646	x
Heating oil petro refinery Europe U	kg C2H2	0,00635	0,00632	0,0000234
Drilled metres onshore U	kg C2H2	0,00592	0,00592	0,00000424
Sludge to HA chemical landfill U	kg C2H2	0,00562	0,00562	0,000000126
Power saw (per hour) U	kg C2H2	0,00555	0,00555	0,000000921
Electricity oil CH U	kg C2H2	0,0055	0,0055	0,00000241

Output gas turbine production sweet gas U	kg C2H2	0,00505	0,00505	0,00000138
Drilled metres offshore U	kg C2H2	0,00477	0,00477	0,00000342
Truck 28t ETH U	kg C2H2	0,0047	0,0047	0,000000859
Leakage production natural gas D U	kg C2H2	0,0043	0,0043	0,00000109
Excavation skid steer loader U	kg C2H2	0,00388	0,00386	0,00000207
Residual oil in refinery furnace CH U	kg C2H2	0,00359	0,00358	0,00000704
Diesel B	kg C2H2	0,00351	x	0,00351
Crude oil transport N-America U	kg C2H2	0,00319	0,00319	0,00000223
Rhodium enriched ETH U	kg C2H2	0,00302	0,003	0,0000145
Crude lignite mine UCPTE U	kg C2H2	0,00291	0,00291	0,00000118
Lignite power plant in A U	kg C2H2	0,00291	0,00291	0,00000121
Produced natural gas N U	kg C2H2	0,00287	0,00287	0,000000781
Leakage raw natural gas Alg. U	kg C2H2	0,00231	0,00231	0,000000615
Gypsum ETH U	kg C2H2	0,00218	0,00217	0,00000997
Output Gasmotor Alg. U	kg C2H2	0,00214	0,00214	0,000000556
Leakage raw natural gas N U	kg C2H2	0,00208	0,00208	0,000000566
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg C2H2	0,00204	0,00204	0,000000595
Truck 16t ETH U	kg C2H2	0,00191	0,00191	0,00000149
LDPE ETH U	kg C2H2	0,00189	0,00189	0,000000496
Platinum ETH U	kg C2H2	0,00184	0,00184	0,00000918
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg C2H2	0,00184	0,00183	0,00000127
Electricity oil L U	kg C2H2	0,00158	0,00158	0,000000645
Residual oil refinery CH U	kg C2H2	0,00149	0,00149	0,000000864
Bilge oil to special waste incinerator U	kg C2H2	0,0014	0,0014	0,000000123
Waste to special waste incinerator U	kg C2H2	0,00124	0,00124	0,00000317
Palladium enriched ETH U	kg C2H2	0,0011	0,00109	0,00000522
Electricity gas power plant in L U	kg C2H2	0,00096	0,00096	0,000000399
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg C2H2	0,000856	0,000855	0,00000059
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg C2H2	0,000844	0,000844	0,000000374
Plastics to HA chemical landfill U	kg C2H2	0,000818	0,000811	0,00000685
Output flare production sweet gas U	kg C2H2	0,000776	0,000776	0,00000021
Electricity gas power plant in E U	kg C2H2	0,000776	0,000775	0,000000312
Output gas turbine pipeline NL U	kg C2H2	0,000713	0,000713	0,000000196
Refinery gas in furnace CH U	kg C2H2	0,000679	0,000678	0,00000133
Bitumen refinery CH U	kg C2H2	0,000557	0,000556	0,000000655
Soda ETH U	kg C2H2	0,000531	0,00053	0,000000712
MWI 95 per kg (process specific) U	kg C2H2	0,000512	0,000511	0,00000121
Output gas turbine pipeline Alg U	kg C2H2	0,000473	0,000473	0,000000128
Output gas turbine pipeline N U	kg C2H2	0,00042	0,00042	0,000000114
Propylene ETH U	kg C2H2	0,000417	0,000412	0,00000504
Petrol leaded refinery Europe U	kg C2H2	0,000405	0,000399	0,00000594
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg C2H2	0,000375	0,000373	0,00000236
Refinery gas refinery CH U	kg C2H2	0,000294	0,000294	0,000000577
Oil sludge to special waste incinerator U	kg C2H2	0,000261	0,000261	0,000000186

Ceramics ETH U	kg C2H2	0,000253	0,000253	2,18E-08
Uranium natural in UF6 U	kg C2H2	0,000241	0,000241	8,73E-08
Output gas turbine TJin U	kg C2H2	0,000229	0,000229	5,67E-08
Petrol leaded stock Europe U	kg C2H2	0,000214	0,000211	0,00000315
Electro steel ETH U	kg C2H2	0,000214	0,000213	0,000000448
Output gas turbine pipeline D U	kg C2H2	0,000183	0,000183	4,65E-08
Wooden poles to MWI U	kg C2H2	0,000163	0,000163	4,14E-08
Plastics to MWI U	kg C2H2	0,000148	0,000146	0,00000215
Waste from cooling U	kg C2H2	0,000147	0,000147	4,68E-08
Formaldehyde ETH U	kg C2H2	0,000138	0,000137	0,000000573
Petrol unleaded refinery Europe U	kg C2H2	0,000132	0,00013	0,00000193
Output gas turbine NL U	kg C2H2	0,000124	0,000124	3,64E-08
Radioactive waste in final storage B U	kg C2H2	0,00009	0,0000899	3,26E-08
NaOH ETH U	kg C2H2	0,0000859	0,0000859	3,88E-09
Bitumen to HA chemical landfill U	kg C2H2	0,0000818	0,0000817	6,69E-08
Output gas turbine pipeline UCPTE U	kg C2H2	0,0000713	0,0000713	1,85E-08
Petrol unleaded stock Europe U	kg C2H2	0,0000698	0,0000688	0,00000102
Output Gasmotor NL U	kg C2H2	0,0000687	0,0000687	1,89E-08
Output Gasmotor GUS U	kg C2H2	0,0000577	0,0000577	1,59E-08
Electricity UCPTE hydro I	kg C2H2	0,0000559	0,0000559	x
Output gas turbine D U	kg C2H2	0,0000537	0,0000537	1,72E-08
Output gas turbine GUS U	kg C2H2	0,0000358	0,0000358	9,84E-09
Petrol leaded refinery CH U	kg C2H2	0,0000336	0,0000336	5,58E-09
Spent fuel processing U	kg C2H2	0,0000311	0,0000311	1,12E-08
Silicate (waterglass) ETH U	kg C2H2	0,0000283	0,0000283	1,12E-08
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg C2H2	0,0000279	0,0000279	0,00000001
Phenol ETH U	kg C2H2	0,0000247	0,0000246	0,000000106
Output Gasmotor N U	kg C2H2	0,0000216	0,0000216	5,88E-09
Waste collection municipality per kg U	kg C2H2	0,0000215	0,0000212	0,00000031
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg C2H2	0,0000199	0,0000199	7,13E-09
Produced natural gas NL U	kg C2H2	0,000019	0,000019	5,22E-09
Paper ETH U	kg C2H2	0,0000185	0,0000184	0,000000178
Output gas turbine Alg. U	kg C2H2	0,0000183	0,0000183	4,87E-09
Output Gasmotor D U	kg C2H2	0,0000176	0,0000176	4,48E-09
Uranium in ore (underground mine) U	kg C2H2	0,0000172	0,0000172	6,23E-09
Output gas turbine N U	kg C2H2	0,0000135	0,0000135	3,68E-09
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg C2H2	0,0000106	0,0000106	3,81E-09
Petrol leaded stock CH U	kg C2H2	0,00000951	0,0000095	1,58E-09
Uranium natural in concentrate U	kg C2H2	0,00000944	0,00000943	3,41E-09
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg C2H2	0,00000783	0,00000782	8,14E-09
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg C2H2	0,00000772	0,00000772	2,79E-09
HF ETH U	kg C2H2	0,00000725	0,00000725	2,62E-09
Output gasmotor TJin U	kg C2H2	0,00000687	0,00000687	1,78E-09
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg C2H2	0,00000642	0,00000642	2,4E-09

Float glass uncoated ETH U	kg C2H2	0,00000573	0,00000567	6,27E-08
Diesel refinery CH U	kg C2H2	0,00000563	0,00000554	8,13E-08
Produced natural gas Alg. U	kg C2H2	0,00000484	0,00000484	1,29E-09
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg C2H2	0,00000475	0,00000475	1,73E-09
Paraxylene ETH U	kg C2H2	0,00000359	0,00000357	1,53E-08
Pipeline transport gas GUS U	kg C2H2	0,00000282	0,00000282	7,76E-10
Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg C2H2	0,00000254	0,00000253	6,17E-09
Chlorine ETH U	kg C2H2	0,00000234	0,00000234	6,76E-10
Leakage natural gas LP CH U	kg C2H2	0,00000233	0,00000233	1,18E-09
Vinyl chloride ETH U	kg C2H2	0,0000021	0,0000021	3,75E-10
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg C2H2	0,00000204	0,00000204	7,42E-10
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg C2H2	0,0000012	0,0000012	6,08E-10
Wood ash mixed to MWI U	kg C2H2	0,00000092	0,000000919	8,92E-10
Delivery van <3.5t ETH U	kg C2H2	0,000000864	0,000000859	4,7E-09
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg C2H2	0,000000833	0,000000832	3,03E-10
Leakage natural gas HP CH U	kg C2H2	0,000000762	0,000000762	3,86E-10
Pipeline transport gas NL U	kg C2H2	0,000000561	0,000000561	1,55E-10
Asphalt to HA chemical landfill U	kg C2H2	0,000000468	0,000000467	4,46E-10
Pipeline transport gas Alg. U	kg C2H2	0,000000372	0,000000372	1,01E-10
Pipeline transport gas N U	kg C2H2	0,000000331	0,000000331	8,99E-11
PVC high impact ETH U	kg C2H2	0,00000019	0,00000019	3,39E-11
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg C2H2	0,000000184	0,000000184	7,23E-11
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg C2H2	0,000000184	0,000000184	7,23E-11
Pipeline transport gas D U	kg C2H2	0,000000144	0,000000144	3,66E-11
Natural gas HP user in Europe U	kg C2H2	0,000000103	0,000000103	2,3E-11
Pipeline transport gas U	kg C2H2	5,61E-08	5,61E-08	1,45E-11
MG-Silicium ETH U	kg C2H2	3,73E-08	3,73E-08	2,11E-11
Packaging carton ETH U	kg C2H2	3,51E-08	0,000000035	5,23E-11
Natural gas HP user in D U	kg C2H2	3,06E-08	3,06E-08	1,04E-11
Natural gas HP user in I U	kg C2H2	2,34E-08	2,34E-08	7,47E-12
Natural gas HP user in NL U	kg C2H2	1,59E-08	1,59E-08	5,07E-12
Natural gas HP user in A U	kg C2H2	6,57E-09	6,56E-09	2,11E-12
Natural gas HP user in B U	kg C2H2	6,44E-09	6,44E-09	2,13E-12
Natural gas HP user in F U	kg C2H2	2,31E-09	2,31E-09	8,68E-13
Output gas turbine CH U	kg C2H2	1,7E-09	1,7E-09	8,61E-13
Carton to MWI U	kg C2H2	8,45E-10	8,4E-10	4,74E-12
PE to MWI U	kg C2H2	3,37E-10	3,37E-10	3,22E-13
Infra municipal waste collection per kg U	kg C2H2	3,54E-11	3,49E-11	5,12E-13
Natural gas HP user in E U	kg C2H2	3,1E-11	3,1E-11	1,25E-14
Natural gas HP user in CH U	kg C2H2	1,66E-12	1,66E-12	8,43E-16
CORUS slags I	kg C2H2	0	0	x

Lime stone bj	kg C2H2	-0,0235	x	-0,0235
Furnace gas B	kg C2H2	-0,0795	x	-0,0795
Electricity UCPTE High Voltage	kg C2H2	-0,367	x	-0,367
Natural gas B	kg C2H2	-0,594	x	-0,594
Crude coal B	kg C2H2	-0,93	x	-0,93
Iron	kg C2H2	-2,47	x	-2,47
Coke S	kg C2H2	-4,13	x	-4,13
Sinter, pellet	kg C2H2	-19,7	x	-19,7

Πίνακας Π.10: Απογραφή Δεδομένων για την Εδαφική Οικοτοξικότητα, όπως προέκυψε από το SimaPro.

Process	Unit	Total	WIND FARM ASSEMBLY	wind farm waste scenario
Total of all processes	kg 1,4-DB eq	3900	3780	121
Residual oil Europe in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	2210	2210	0,035
Steel I	kg 1,4-DB eq	417	417	x
Freighter oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	322	322	0,00762
Sinter ETH U	kg 1,4-DB eq	203	203	0,00619
Residual oil in refinery furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	125	124	0,11
Electricity UCPTE Med. Voltage	kg 1,4-DB eq	122	x	122
Crude iron ETH U	kg 1,4-DB eq	68,3	68,3	0,00208
Cast iron ETH U	kg 1,4-DB eq	60,9	60,9	0,00000105
Iron pellets ETH U	kg 1,4-DB eq	57,6	57,6	0,00177
Electricity oil I U	kg 1,4-DB eq	51,4	51,3	0,0198
Electricity UCPTE coal I	kg 1,4-DB eq	33,2	33,2	x
Coal power plant in E U	kg 1,4-DB eq	27,7	27,7	0,00724
Coal power plant in D U	kg 1,4-DB eq	24,9	24,9	0,00649
Tanker oceanic ETH U	kg 1,4-DB eq	24	24	0,0181
Electricity UCPTE oil I	kg 1,4-DB eq	19,4	19,4	x
Lignite power plant in D U	kg 1,4-DB eq	9,12	9,12	0,0037
HDPE A	kg 1,4-DB eq	8,2	8,2	x
Coal power plant in B U	kg 1,4-DB eq	7,96	7,96	0,00208
Coal power plant in F U	kg 1,4-DB eq	7,8	7,8	0,00229
Lignite power plant in Gr U	kg 1,4-DB eq	7,2	7,19	0,00291
Crude oil I	kg 1,4-DB eq	6,89	6,89	x
Industrial coal furnace 1-10MW U	kg 1,4-DB eq	6,76	6,76	0,000689
Glass fibre I	kg 1,4-DB eq	6,34	6,34	x
Coal power plant in I U	kg 1,4-DB eq	5,49	5,49	0,00154
NaOH ETH U	kg 1,4-DB eq	5,32	5,32	0,00024
Drilling waste to land farming U	kg 1,4-DB eq	4,77	4,77	0,00342
Electricity oil P U	kg 1,4-DB eq	4,65	4,64	0,00183
Coal cokes U	kg 1,4-DB eq	4,39	4,39	0,0000983
Electricity oil W-D U	kg 1,4-DB eq	4,38	4,38	0,00173
Electricity oil E U	kg 1,4-DB eq	4,15	4,15	0,00164
Coal power plant in P U	kg 1,4-DB eq	4,14	4,14	0,00104
Electricity oil Gr U	kg 1,4-DB eq	3,94	3,94	0,00152

Lead ETH U	kg 1,4-DB eq	3,86	3,81	0,0477
Refinery gas in furnace Europe U	kg 1,4-DB eq	3,59	3,59	0,00259
Landfill Ceramics	kg 1,4-DB eq	3,54	x	3,54
Electricity UCPTE gas I	kg 1,4-DB eq	3,3	3,3	x
Electricity oil F U	kg 1,4-DB eq	3,2	3,2	0,0013
Truck 40t ETH U	kg 1,4-DB eq	2,27	2,24	0,0349
Coal power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	1,9	1,9	0,000488
Converter steel ETH U	kg 1,4-DB eq	1,64	1,64	0,00356
Electricity oil NL U	kg 1,4-DB eq	1,53	1,53	0,000589
Electricity oil Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	1,29	1,29	0,000516
Lignite power plant in E U	kg 1,4-DB eq	1,1	1,1	0,00045
Electricity oil A U	kg 1,4-DB eq	1,06	1,06	0,000419
Trailer I	kg 1,4-DB eq	0,863	0,863	x
Petroleum gas flaring U	kg 1,4-DB eq	0,831	0,83	0,000607
Sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,734	0,734	0,0000164
Electricity oil B U	kg 1,4-DB eq	0,702	0,701	0,000271
Rail transport ETH U	kg 1,4-DB eq	0,678	0,678	0,0000585
Cement ETH U	kg 1,4-DB eq	0,655	0,652	0,003
Refinery sludge to landfarming U	kg 1,4-DB eq	0,633	0,632	0,000436
Lignite power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,355	0,355	0,000144
Diesel I	kg 1,4-DB eq	0,292	0,292	x
Refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,26	0,26	0,000179
Fuel oil lowS in boiler 1MW U	kg 1,4-DB eq	0,258	0,257	0,000527
Coal power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,221	0,221	0,0000635
Petroleum gas in gas turbine onshore U	kg 1,4-DB eq	0,205	0,205	0,00015
Residual oil in refinery furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,181	0,18	0,000354
Pipeline transport gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,175	0,175	0,0000481
Petroleum gas in gas turbine offshore U	kg 1,4-DB eq	0,165	0,165	0,000121
Output flare production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,163	0,163	0,000044
Output gas turbine production sweet gas U	kg 1,4-DB eq	0,155	0,155	0,0000422
Pipeline transport gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,146	0,146	0,0000402
Chlorine ETH U	kg 1,4-DB eq	0,145	0,145	0,0000418
Aluminium 0% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	0,135	0,135	0,00000584
Lignite power plant in F U	kg 1,4-DB eq	0,133	0,133	0,0000543
Zinc for plating ETH U	kg 1,4-DB eq	0,119	0,118	0,00112
Electro steel ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0919	0,0917	0,000192
Plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,0829	0,0817	0,00121
Produced natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,0644	0,0644	0,0000177
Coal power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,0626	0,0626	0,0000234
Petroleum gas blow off U	kg 1,4-DB eq	0,0599	0,0599	0,0000438
Crude oil production onshore U	kg 1,4-DB eq	0,0591	0,059	0,0000431
Lignite power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,0577	0,0576	0,000024
Electricity gas power plant in I U	kg 1,4-DB eq	0,0576	0,0575	0,0000184
Electricity gas power plant in NL U	kg 1,4-DB eq	0,0569	0,0568	0,0000181
Electricity oil CH U	kg 1,4-DB eq	0,0563	0,0562	0,0000247
Electricity gas power plant in W-	kg 1,4-DB eq	0,055	0,055	0,0000187

D U				
Pipeline transport gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0549	0,0549	0,0000149
Nickel enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0537	0,0534	0,00033
Copper ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0497	0,0496	0,0000672
Crude oil production offshore U	kg 1,4-DB eq	0,0476	0,0475	0,0000348
Pipeline transport gas D U	kg 1,4-DB eq	0,0449	0,0449	0,0000114
Electricity UCPTE nuclear I	kg 1,4-DB eq	0,0434	0,0434	x
Refinery sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0418	0,0418	0,0000288
Natural gas furnace >100kW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0405	0,0405	0,0000229
Produced natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0399	0,0399	0,000011
Electricity oil L U	kg 1,4-DB eq	0,0395	0,0395	0,0000161
Pipeline transport gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,037	0,037	0,0000101
Waste to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0259	0,0258	0,0000663
Desulphurisation unit U	kg 1,4-DB eq	0,0236	0,0236	0,00000623
Leakage raw natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,0229	0,0229	0,0000063
Output gas turbine production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,0217	0,0217	0,00000572
Truck 28t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0209	0,0209	0,00000381
Produced natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,0206	0,0206	0,00000523
Pipeline transport gas U	kg 1,4-DB eq	0,0175	0,0175	0,00000453
Passenger car W-Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	0,017	0,0167	0,000249
Produced natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,0164	0,0164	0,00000437
Residual oil refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0154	0,0154	0,00000106
Electricity gas power plant in B U	kg 1,4-DB eq	0,0143	0,0143	0,00000472
Produced natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,0129	0,0129	0,0000035
Electricity gas power plant in A U	kg 1,4-DB eq	0,0125	0,0125	0,00000402
Output flare production sour gas U	kg 1,4-DB eq	0,00987	0,00987	0,0000027
Refinery gas in furnace CH U	kg 1,4-DB eq	0,00948	0,00946	0,0000186
Mineral wool ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00922	0,00922	0,000000503
Leakage raw natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,00886	0,00886	0,00000244
Electricity gas power plant in F U	kg 1,4-DB eq	0,00884	0,00883	0,00000332
Coaster I	kg 1,4-DB eq	0,00802	0,00802	x
LT decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00544	0,00544	0,00000114
Leakage production natural gas GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00458	0,00457	0,00000126
Truck 16t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00396	0,00395	0,00000309
Plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00341	0,00338	0,0000286
Leakage raw natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,00283	0,00283	0,00000072
Wood chip furnace 300kW U	kg 1,4-DB eq	0,00237	0,00237	0,0000023
Leakage raw natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,00226	0,00226	0,000000602
Wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00208	0,00208	0,000000529
Electricity gas power plant in Ex-Ju U	kg 1,4-DB eq	0,00185	0,00185	0,00000054
LT sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00182	0,00182	4,07E-08
Leakage raw natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,00177	0,00177	0,000000482
Gypsum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00142	0,00142	0,00000652
Fuel oil lowS boiler 100kW U	kg 1,4-DB eq	0,0014	0,00139	0,00000878
LT waste to HA chemical landfill	kg 1,4-DB eq	0,00133	0,00133	0,000000424

U				
Diesel refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0013	0,00129	0,00000816
LT plastics to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,0013	0,00128	0,0000108
Waste from cooling U	kg 1,4-DB eq	0,00127	0,00127	0,000000404
LT refinery sludge to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,00124	0,00124	0,000000855
Diesel in building equipment U	kg 1,4-DB eq	0,00121	0,00121	0,00000255
Rhodium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00116	0,00115	0,00000557
Electricity gas power plant in L U	kg 1,4-DB eq	0,00104	0,00104	0,000000432
Electricity UCPTE hydro I	kg 1,4-DB eq	0,001	0,001	x
Uranium in ore (underground mine) U	kg 1,4-DB eq	0,000893	0,000892	0,000000323
Leakage production natural gas Alg. U	kg 1,4-DB eq	0,000856	0,000856	0,000000223
Electricity gas power plant in E U	kg 1,4-DB eq	0,000724	0,000723	0,000000291
Platinum ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000721	0,000717	0,00000359
Power saw (per hour) U	kg 1,4-DB eq	0,000701	0,000701	0,000000116
Refinery gas refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0007	0,000699	0,000000506
Leakage production natural gas NL U	kg 1,4-DB eq	0,000679	0,000679	0,000000187
Bitumen refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00054	0,000538	0,0000015
Palladium enriched ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000449	0,000447	0,00000213
Leakage production natural gas D U	kg 1,4-DB eq	0,000215	0,000215	5,45E-08
Oil sludge to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,000169	0,000168	0,00000012
Excavation hydraulic digger U	kg 1,4-DB eq	0,00016	0,00016	1,81E-08
Leakage production natural gas N U	kg 1,4-DB eq	0,000147	0,000147	0,00000004
Uranium natural in UF6 U	kg 1,4-DB eq	0,000136	0,000136	4,91E-08
Carbon black ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000134	0,000132	0,00000203
LT plastics to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000127	0,000125	0,00000185
Coal ash in landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000126	0,000126	2,84E-08
Leakage natural gas UCPTE U	kg 1,4-DB eq	0,000115	0,000115	3,66E-08
Crude oil in drill tests U	kg 1,4-DB eq	0,0000802	0,0000802	5,75E-08
Naphtha refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,0000672	0,0000662	0,000000991
Fuel oil lowS refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,0000558	0,0000556	0,000000117
Ethylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000504	0,0000497	0,000000746
Fuel oil lowS in boiler 10kW U	kg 1,4-DB eq	0,0000291	0,0000291	3,02E-08
MWI 95 per kg (process specific) U	kg 1,4-DB eq	0,0000271	0,000027	6,42E-08
Waste collection municipality per kg U	kg 1,4-DB eq	0,0000252	0,0000248	0,000000364
Bilge oil to special waste incinerator U	kg 1,4-DB eq	0,0000245	0,0000245	2,15E-09
Heating oil petro refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000017	0,000017	6,27E-08
Formaldehyde ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000151	0,000015	6,26E-08
LDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000144	0,0000143	3,77E-09
Excavation skid steer loader U	kg 1,4-DB eq	0,0000122	0,0000122	6,53E-08
Ceramics ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00000475	0,00000475	4,1E-10
Uranium enriched 3.4% EURODIF U	kg 1,4-DB eq	0,00000377	0,00000377	1,36E-09
Wood ash mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00000328	0,00000328	3,18E-09

Natural gas furnace lowNOx >100KW Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00000287	0,00000287	6,98E-09
PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,00000257	0,00000257	2,46E-09
Residual oil refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,00000233	0,00000233	1,35E-09
Fuel oil lowS refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00000226	0,00000226	0,000000001
Train I	kg 1,4-DB eq	0,00000124	0,00000124	x
Natural gas boiler blast burner <100KW U	kg 1,4-DB eq	0,00000122	0,00000122	6,19E-10
Phenol ETH U	kg 1,4-DB eq	0,00000116	0,00000115	4,95E-09
Petrol leaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,00000109	0,00000107	1,59E-08
Bitumen refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,000000871	0,00000087	1,03E-09
RA waste interim storage conditioning ZWILAG U	kg 1,4-DB eq	0,000000782	0,000000782	2,84E-10
Delivery van <3.5t ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000715	0,000000711	3,89E-09
Propylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000572	0,000000565	6,91E-09
Uranium enriched 3.5% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000000538	0,000000538	1,96E-10
Vinyl chloride ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000472	0,000000471	8,4E-11
Freighter inland ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000466	0,000000466	1,69E-11
Refinery gas refinery CH U	kg 1,4-DB eq	0,000000461	0,00000046	9,03E-10
Diesel in diesel generator onshore U	kg 1,4-DB eq	0,000000385	0,000000385	2,78E-10
Uranium enriched 3.5% EUODIF U	kg 1,4-DB eq	0,000000367	0,000000367	1,36E-10
HF ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000365	0,000000365	1,32E-10
Phosphoric acid ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000363	0,000000363	8,13E-12
Decarbonizing waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	0,000000363	0,000000363	7,61E-11
Petrol unleaded refinery Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000000353	0,000000348	5,19E-09
Paraxylene ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000337	0,000000336	1,44E-09
Diesel in diesel generator offshore U	kg 1,4-DB eq	0,000000308	0,000000308	2,23E-10
Silicate (waterglass) ETH U	kg 1,4-DB eq	0,0000003	0,0000003	1,18E-10
LT wood ashes mixed to MWI U	kg 1,4-DB eq	0,000000249	0,000000249	2,41E-10
Residual oil stock Europe ETH U	kg 1,4-DB eq	0,000000205	0,000000205	5,88E-12
Crude oil transport Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000000185	0,000000185	1,33E-10
Uranium enriched 3.7% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000000167	0,000000166	5,98E-11
Crude oil transport GUS U	kg 1,4-DB eq	0,00000015	0,00000015	1,05E-10
Uranium enriched 3.4% USEC U	kg 1,4-DB eq	0,000000123	0,000000123	4,5E-11
Tanker inland ETH U	kg 1,4-DB eq	7,89E-08	7,88E-08	4,42E-11
Crude oil transport N-Africa U	kg 1,4-DB eq	7,83E-08	7,82E-08	6,03E-11
Drilled metres onshore U	kg 1,4-DB eq	7,62E-08	7,62E-08	5,46E-11
Carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	7,36E-08	7,32E-08	4,13E-10
Uranium enriched 3.7% EUODIF U	kg 1,4-DB eq	7,14E-08	7,14E-08	2,56E-11
Crude oil transport M-East U	kg 1,4-DB eq	6,91E-08	0,000000069	5,32E-11
Float glass uncoated ETH U	kg 1,4-DB eq	6,06E-08	5,99E-08	6,63E-10
Uranium enriched 3.25% EUODIF U	kg 1,4-DB eq	5,57E-08	5,56E-08	2,18E-11
Uranium enriched 3.25% USEC U	kg 1,4-DB eq	5,33E-08	5,33E-08	2,09E-11
Petrol leaded refinery CH U	kg 1,4-DB eq	5,24E-08	5,24E-08	8,7E-12
Crude oil transport C-Africa U	kg 1,4-DB eq	4,02E-08	4,02E-08	3,05E-11
Diesel stock Europe U	kg 1,4-DB eq	2,81E-08	0,000000028	1,77E-10
Spent fuel processing U	kg 1,4-DB eq	2,67E-08	2,67E-08	9,67E-12

Emission process water petroleum gas U	kg 1,4-DB eq	1,83E-08	1,83E-08	4,96E-12
Crude oil transport S-America U	kg 1,4-DB eq	0,000000018	0,000000018	1,27E-11
Diesel refinery CH U	kg 1,4-DB eq	8,8E-09	8,68E-09	1,27E-10
Petrol leaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	0,000000008	7,88E-09	1,17E-10
Crude oil transport N-America U	kg 1,4-DB eq	7,08E-09	7,08E-09	4,95E-12
MG-Silicium ETH U	kg 1,4-DB eq	6,58E-09	6,58E-09	3,72E-12
LT carton to MWI U	kg 1,4-DB eq	5,07E-09	5,04E-09	2,84E-11
Bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	3,96E-09	3,95E-09	3,24E-12
Fuel oil lowS 2000 refinery CH U	kg 1,4-DB eq	3,19E-09	3,19E-09	1,16E-12
Petrol unleaded stock Europe U	kg 1,4-DB eq	2,61E-09	2,57E-09	3,82E-11
Fuel oil lowS stock CH U	kg 1,4-DB eq	1,32E-09	1,32E-09	2,76E-12
PP ETH U	kg 1,4-DB eq	1,15E-09	1,14E-09	1,75E-11
LT PE to MWI U	kg 1,4-DB eq	5,55E-10	5,55E-10	5,3E-13
Petrol leaded stock CH U	kg 1,4-DB eq	3,55E-10	3,55E-10	5,9E-14
PVC high impact ETH U	kg 1,4-DB eq	8,12E-11	8,12E-11	1,45E-14
HDPE ETH U	kg 1,4-DB eq	6,34E-11	6,24E-11	9,49E-13
Emission process water natural gas U	kg 1,4-DB eq	4,76E-11	4,76E-11	1,3E-14
Fuel oil lowS stock Europe U	kg 1,4-DB eq	3,62E-11	3,62E-11	1,6E-14
Asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	2,26E-11	2,26E-11	2,15E-14
Aluminium 100% recycled ETH U	kg 1,4-DB eq	1,67E-11	1,67E-11	9,46E-15
Uranium enriched 3.7% URENCO U	kg 1,4-DB eq	5,77E-12	5,77E-12	2,07E-15
Uranium enriched 3.7% TENEX U	kg 1,4-DB eq	4,11E-12	4,11E-12	1,47E-15
Uranium enriched 3.4% URENCO U	kg 1,4-DB eq	2,19E-12	2,19E-12	7,89E-16
Uranium enriched 3.4% TENEX U	kg 1,4-DB eq	1,6E-12	1,6E-12	5,77E-16
Uranium enriched 3.5% URENCO U	kg 1,4-DB eq	1,33E-12	1,33E-12	4,97E-16
Uranium enriched 3.5% TENEX U	kg 1,4-DB eq	9,83E-13	9,82E-13	3,58E-16
Diesel stock CH U	kg 1,4-DB eq	2,83E-13	2,79E-13	4,08E-15
Fuel oil lowS 2000 stock CH U	kg 1,4-DB eq	1,02E-13	1,02E-13	3,73E-17
Uranium enriched 3.25% URENCO U	kg 1,4-DB eq	3,81E-14	3,81E-14	1,5E-17
Uranium enriched 3.25% TENEX U	kg 1,4-DB eq	3,81E-14	3,81E-14	1,5E-17
Coal tailings in landfill U	kg 1,4-DB eq	5,79E-17	5,79E-17	2,87E-21
Landfill Ferro metals	kg 1,4-DB eq	1,31E-19	x	1,31E-19
Uranium natural in concentrate U	kg 1,4-DB eq	6,15E-20	6,14E-20	2,22E-23
Uranium in ore (open mine) U	kg 1,4-DB eq	4,93E-20	4,93E-20	1,78E-23
Coal from underground mine UCPTU U	kg 1,4-DB eq	9,17E-21	9,17E-21	3,74E-25
Drilled metres offshore U	kg 1,4-DB eq	3,02E-21	3,02E-21	2,16E-24
Coal from open mine U	kg 1,4-DB eq	7,82E-22	7,82E-22	8,29E-26
LT drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	2,67E-22	2,67E-22	1,91E-25
Coal from stock UCPTU U	kg 1,4-DB eq	2,63E-22	2,63E-22	1,3E-26
Coal from underground mine S-Africa U	kg 1,4-DB eq	2,12E-22	2,11E-22	3,15E-26

Coal from underground mine E-Europe U	kg 1,4-DB eq	1,85E-22	1,85E-22	2,12E-26
Uranium 3.4% in fuel element PWR F U	kg 1,4-DB eq	1,16E-22	1,16E-22	4,18E-26
Coal from underground mine N-America U	kg 1,4-DB eq	4,39E-23	4,39E-23	9,5E-27
Coal from underground mine Australia U	kg 1,4-DB eq	3,95E-23	3,95E-23	6,89E-27
Uranium 3.7% in fuel element PWR D U	kg 1,4-DB eq	3,29E-23	3,29E-23	1,18E-26
Uranium 3.5% in fuel element PWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	2,99E-23	2,99E-23	1,09E-26
Coal from stock S-Africa U	kg 1,4-DB eq	1,42E-23	1,42E-23	2,12E-27
Uranium 3.4% in fuel element BWR D U	kg 1,4-DB eq	1,34E-23	1,34E-23	4,85E-27
Coal from stock E-Europe U	kg 1,4-DB eq	9,02E-24	9,02E-24	1,03E-27
Drilling waste to LA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	6,58E-24	6,57E-24	4,71E-27
Coal from stock Australia U	kg 1,4-DB eq	5,32E-24	5,32E-24	9,28E-28
Coal from stock N-America U	kg 1,4-DB eq	3,94E-24	3,94E-24	8,53E-28
Uranium 3.5% in fuel element PWR CH U	kg 1,4-DB eq	3,9E-24	3,9E-24	1,55E-27
Uranium 3.25% in fuel element BWR CH U	kg 1,4-DB eq	3,89E-24	3,88E-24	1,52E-27
Uranium 3.4% in fuel element BWR rest UCPTE U	kg 1,4-DB eq	3,68E-24	3,67E-24	1,35E-27
Coal from stock S-America U	kg 1,4-DB eq	3,44E-24	3,44E-24	5,93E-28
LT wooden poles to MWI U	kg 1,4-DB eq	2,32E-24	2,32E-24	5,91E-28
LT bitumen to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	1,21E-26	1,2E-26	9,86E-30
LT asphalt to HA chemical landfill U	kg 1,4-DB eq	1,33E-27	1,33E-27	1,27E-30
CORUS slags I	kg 1,4-DB eq	0	0	x
Sinter, pellet	kg 1,4-DB eq	-0,00133	x	-0,00133
Coke S	kg 1,4-DB eq	-0,252	x	-0,252
Electricity UCPTE High Voltage	kg 1,4-DB eq	-5,02	x	-5,02