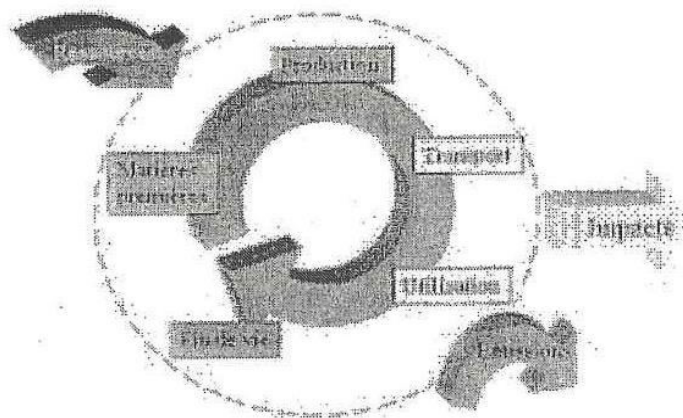


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:...1390...
Ημερομηνία:...17/12/04...

Οκτώβριος 2004

ΧΡΙΣΤΟΦΗΣ Ι. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο εικοστός αιώνας αποτέλεσε αναμφίβολα την περίοδο έντονων τεχνολογικών εξελίξεων. Αυτό επηρέασε και την καθημερινότητα μας αφού η καινούργια τεχνολογία μπήκε εύκολα στα σπίτια μας. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, έχει γίνει έντονη η χρήση ενός μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών συσκευών που έχει βελτιώσει τον τρόπο ζωής μας. Βέβαια αυτό είχε και το τίμημα του αφού η ανάγκη σε ενέργεια πολλαπλασιάστηκε ενώ προβλέπεται ότι η ζήτηση σε ενέργεια συνεχώς θα αυξάνει. Αυτό αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα όχι μόνο σε τοπική αλλά σε παγκόσμια κλίμακα.

Η παραγωγή ενέργειας δεν είναι μια απλή υπόθεση χωρίς παρενέργειες. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και την Ελλάδα, γίνεται στο μεγαλύτερο βαθμό, από καύση συμβατικών καύσιμων όπως λιγνίτης. Αποτέλεσμα της καύσης συμβατικών καύσιμων είναι η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων καυσαερίων τα οποία περιέχουν ρύπους όπως CO₂ και CH₄ που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μάλιστα τις τελευταίες δεκαετίες το πρόβλημα έχει γίνει έντονο και ενώ πριν κάποια χρόνια η βιομηχανία δεν ενδιαφερόταν τόσο για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις πλέον ο τομέας της προστασίας του περιβάλλοντος, έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας. Σε αυτό συνέβαλλε και η νέα πολιτική που υποχρεώνει τις κάθε βιομηχανική μονάδα, και τις μονάδες παραγωγής ενέργειας, να λαμβάνουν υπόψη τους τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Βέβαια πιο νωρίς, στην δεκαετία του εβδομήντα, παρουσιάστηκε η πρώτη μεγάλη ενεργειακή κρίση και τότε για πρώτη φορά διασώσαμε την εξάρτηση μας από τα συμβατικά καύσιμα καθώς επίσης αναλογιστήκαμε ότι τα συμβατικά καύσιμα δεν είναι μια απεριόριστη πηγή ενέργειας. Τότε ξεκίνησε μια προσπάθεια να αναπτυχθούν καινούργιες τεχνολογίες που θα εκμεταλλευόταν τις αναγνώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική, πηγές ενέργειας καθαρές με ελάχιστους ρύπους στο περιβάλλον. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα πολύ δυνατό εργαλείο για την ανάλυση και ποσοτικοποίηση των ρύπων που εκπέμπουν τα διάφορα ενεργειακά συστήματα. Οι σημειώσεις αυτές απευθύνονται στους φοιτητές που θέλουν να αποκτήσουν τις θεωρητικές βάσεις και αρχές για την εφαρμογή των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στα ενεργειακά συστήματα..

Χριστοφής Ι. Κορωναίος

Αν. Καθηγητής / Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων
ΑΠΘ / Κοζάνη

Οχτώβρης 2004

ΜΕΡΟΣ Α: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	1-139
ΜΕΡΟΣ Β: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	140-288
ΜΕΡΟΣ Α	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Αντικείμενο Σταδίων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	3
1.2. Οφέλη από τη διεξαγωγή μιας ΑΚΖ	5
1.3. Ιστορική Αναδρομή	7
1.4. ΑΚΖ και ISO 14000	10
2. ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΚΖ	11
2.1. Καθορισμός Στόχων και Σκοπών	12
2.1.1. Επιδίωξη	14
2.1.2. Αντικείμενο	15
2.1.3. Λειτουργία, Λειτουργική μονάδα, Συμπληρωματικές ροές.	16
2.1.4. Καθορισμός και οριοθέτηση του συστήματος	21
2.1.5. Διαγράμματα ροής διεργασίας	26
2.2. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής	31
2.2.1. Καθορισμός της απαιτούμενης ακρίβειας των δεδομένων	31
2.2.2. Καθορισμός των διαδικαστικών κανόνων για την εκτέλεση του έργου	32
2.2.3. Βήματα – κλειδιά ενός ΚΑΚΖ	33
2.2.3.1. Ανάπτυξη Διαγράμματος Ροής	33
2.2.3.2. Ανάπτυξη σχεδίου συλλογής δεδομένων ΚΑΚΖ	34
2.2.3.3. Συλλογή δεδομένων	43
2.2.3.4. Πηγές των δεδομένων	44
2.2.3.5. Εγκυρότητα των δεδομένων	48

2.2.3.6. Σκόπιμες Παραλήψεις	48
2.2.4. Διαδικασία υπολογισμού	50
2.2.4.1. Πολυλειτουργικότητα και κατανομή	51
2.2.4.2. Διαχείριση της ενέργειας-πρώτων υλών	52
2.2.4.3. Κρίσιμα σημεία κατά την διεξαγωγή της αναλυτικής απογραφής	53
2.2.4.4. Εφαρμογές μιας αναλυτικής απογραφής δεδομένων	57
2.3. Αποτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής	59
2.3.1. Βήματα – κλειδιά μιας ΑΕΚΖ	62
2.3.2. Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων	63
2.3.3. Ταξινόμηση	68
2.3.4. Χαρακτηρισμός	72
2.3.5. Κανονικοποίηση	77
2.3.6. Ομαδοποίηση	79
2.3.7. Αξιολόγηση	79
2.3.8. Μέθοδοι αποτίμησης επιπτώσεων	81
2.3.8.1. CML 1992	81
2.3.8.2. ECO-INDICATOR 95	84
2.3.8.3. ECOPOINTS 97 (CH)	90
2.3.8.4. ECO-INDICATOR 99	91
2.3.8.5. CML 2 BASELINE 2000	95
2.3.8.6. EPS 2000 DEFAULT	96
2.3.8.7. EDIP/UMIP 96	98
2.3.8.8. Σύγκριση μεθόδων αποτίμησης επιπτώσεων (που εφαρμόστηκαν στα προϊόντα της FEFCO- European Federation of Corrugated Board Producers)	100
2.3.8.9. Συμπεράσματα	105
2.4. Ερμηνεία Κύκλου Ζωής	108
2.4.1 Εκτίμηση βελτιώσεων	113

2.4.2.	Μέθοδος εκτίμησης βελτιώσεων-Το αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5	115
2.4.3.	AKZ και οικολογικό σήμα	117
2.4.4.	AKZ και οικολογικός σχεδιασμός (Eco-Design/ Ecomaterials)	117
2.5.	Η AKZ ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης	121
2.6.	Βαθμός ανάπτυξης της μεθοδολογίας AKZ	121
3.	REFERENCES	124
	ΜΕΡΟΣ Β	
	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	140
1.	DIESEL ΚΑΙ BIODIESEL	147
1.1	Τι είναι "biodiesel;"	147
1.2.	Τι είναι "πετρέλαιο diesel ;"	147
1.3.	καθορισμός της εφαρμογής προϊόντων	147
1.4.	Τι συμπεριλαμβάνεται στα συστήματα κύκλων ζωής;	147
1.5.	Ποιο είναι το χρονικό πλαίσιο;	148
1.6.	Κατανάλωση ενέργειας κύκλων ζωής πετρελαίου diesel	149
1.7	Ενεργειακή απαίτηση κύκλου ζωής biodiesel	152
1.8.	Επίδραση του biodiesel στην ενεργειακή ζήτηση κύκλων ζωής	153
1.8.1.	Σύγκριση των εκπομπών αερίων στους κύκλους ζωής για το biodiesel και το πετρέλαιο diesel	157
1.9.	Ενέργεια κύκλων ζωής και περιβαλλοντικές ροές	159
1.10.	Πίνακες στοιχείων κύκλων ζωής	160
1.11.	Αναγκαιότητα και σκοπιμότητα χρήσης και εφαρμογής των μεθόδων AKZ σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού με πετρέλαιο DIESEL	161
1.12.	Μεθοδολογία που ακολουθείται	168
2.	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	172
2.1.	Περιγραφή του Συστήματος, Εφαρμογή και Σημαντικές Υποθέσεις	177
2.2.	Όρια του Συστήματος	178

2.3. Σύνθεση του Φυσικού Αερίου	180
2.4. Απώλειες του Φυσικού Αερίου	181
2.5. Έλεγχος των NO _x : έγχυση με νερό και εκλεκτική καταλυτική μείωση	182
2.6. Βασική Υπόθεση- Εκπομπές της Μονάδας Παραγωγής Ισχύος	183
2.7. Αποτελέσματα	184
2.8. Αέρια του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης	184
2.9. Αέριες Εκπομπές	185
2.10. Κατανάλωση Ενέργειας και Ενεργειακό Ισοζύγιο του Συστήματος	186
2.11. Κατανάλωση Πόρων	188
2.12. Υγρά Απόβλητα	189
2.13. Στερεά Απόβλητα	190
3. ΑΝΘΡΑΚΑΣ-ΛΙΓΝΙΤΗΣ	191
3.1. Εισαγωγή	191
3.2. Εξόρυξη Λιγνίτη	192
3.2.1 Γενικό διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ροής αποβλήτων	192
3.2.2 Αποθέματα - Εξοπλισμός Ορυχείου – Διαδικασία της εξόρυξης.	193
3.2.3. Εναλλακτικές λύσεις για την περιοχή του Ορυχείου.	195
3.3. Μεταφορά και Απόθεση Λιγνίτη	195
3.4. Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Αγ. Δημητρίου	197
3.4.1 Πρώτες ύλες – προϊόντα.	197
3.4.2. Παραλαβή και διακίνηση λιγνίτη.	198
3.4.3 Καύση λιγνίτη.	198
3.4.4. Ανάλυση λέβητα.	200
3.4.5. Ατμοπαραγωγή και ψύξη.	200
3.5. Απόβλητα	202

3.5.1	Γενικά	202
3.5.2.	Αέριες εκπομπές.	202
3.5.3	Υφιστάμενη υποδομή για την αντιμετώπιση των αέριων εκπομπών.	203
3.5.4.	Υγρά απόβλητα.	204
3.5.5.	Υφιστάμενη υποδομή για τα υγρά απόβλητα.	204
3.5.6.	Στερεά απόβλητα.	206
3.5.7.	Υφιστάμενη υποδομή για την αντιμετώπιση των στερεών απόβλητων.	206
3.6.	Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	207
3.6.1	Γενικά	207
3.6.2.	Ανάλυση Κύκλου Ζωής	207
3.7.	Εξεργειακή ανάλυση Μονάδος V.	212
3.8.	Εφαρμογή	216
4.	ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	220
4.1.	Γενικά	220
4.2	Τύποι ηλιακών συλλεκτών	220
4.3.	Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες	227
4.4.	Εφαρμογή ανάλυσης κύκλου ζωής σε ηλιακό θερμοσίφωνα	235
4.5	Συμπεράσματα ανάλυσης κύκλου ζωής	241
5.	ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	242
5.1.	Γενικά	242
5.2.	Χρήσεις γεωθερμίας	244
5.3.	Τύποι μονάδων	247
5.4.	Η γεωθερμική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή	249
5.5.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Γεωθερμίας	250
5.6.	Η Γεωθερμία στην Ελλάδα	252
5.7.	ΑΚΖ για κάθε τύπο Εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας	255
5.7.1.	Ανάλυση Κύκλου Ζωής γεωθερμικού εργοστασίου	255

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	
5.7.2. Τα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα των γεωθερμικών εργοστασίων	258
5.7.2.1. Μόλυνση των υδάτων	260
5.7.2.2. Μείωση του υδροφόρου υπόγειου ορίζοντα	261
5.7.2.3. Καθίζηση του εδάφους	262
5.7.2.4. Συνέπειες στο φυσικό τοπίο- Χρήση γης	262
5.7.2.5. Οπτική μόλυνση	263
5.7.2.6. Υποβάθμιση των φυσικών θερμικών χαρακτηριστικών	264
5.7.3. Πιθανά καταστροφικά γεγονότα	264
5.7.4. Περίληψη των περιβαλλοντικών συνεπειών	265
6. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	268
6.1. Ιστορική Εξέλιξη Ανεμογεννητριών	268
6.2. Τμήματα ανεμογεννήτριας	269
6.3. Παραγωγή Ενέργειας με Χρήση Ανεμογεννητριών	271
6.4. Χαρακτηριστικά των Ανεμογεννητριών	272
6.5. Στάδια για ΑΚΖ Αιολικού Πάρκου	275
6.5.1. Καθορισμός και Οριοθέτηση του Συστήματος	275
6.5.2. Στοιχεία Αιολικού Πάρκου	275
6.5.3. Μοντέλο Της ΑΚΖ	276
6.5.4. Πρώτες Ύλες	279
6.6. Αποτίμηση Επιπτώσεων	281
6.7. Κατασκευή	283
6.8. Αποσυναρμολόγηση	284
6.9. Εξεργειακή Ανάλυση Αιολικής Ενέργειας	285

ΜΕΡΟΣ Α: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Εισαγωγή

Η *Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ)* είναι “μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων”. (SETAC -Society for Environmental Toxicology and Chemistry, 1991).

Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια προσέγγιση “από την κούνια στον τάφο” (cradle-to-grave) για την αξιολόγηση βιομηχανικών συστημάτων. Η προσέγγιση αυτή αρχίζει με τη συλλογή των πρώτων υλών από τη γη που είναι απαραίτητες για να δημιουργηθεί το προϊόν και τελειώνει στο σημείο όπου όλα τα υλικά επιστρέφονται στη γη. Η AKZ αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος από τη σκοπιά ότι είναι αλληλοεξαρτώμενα, κάτι που σημαίνει ότι η μια λειτουργία οδηγεί στην επόμενη. Η AKZ επιτρέπει την εκτίμηση των αθροιστικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων όλων των σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, και συμπεριλαμβάνει επιπτώσεις που δεν λαμβάνονται υπόψη στις περισσότερες παραδοσιακές αναλύσεις (π.χ., εξαγωγή πρώτων υλών, μεταφορά υλικών, τελική διάθεση προϊόντων, κ.λ.π.). Με τη συμπερίληψη των επιπτώσεων ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων, η AKZ παρέχει μια περιεκτική εικόνα των περιβαλλοντικών πτυχών ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας και μια ακριβέστερη εικόνα των αληθινών περιβαλλοντικών “ανταλλαγών” στην επιλογή προϊόντων.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπό έχει να αποτιμήσει τις επιδράσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον, και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας καθ’ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας.

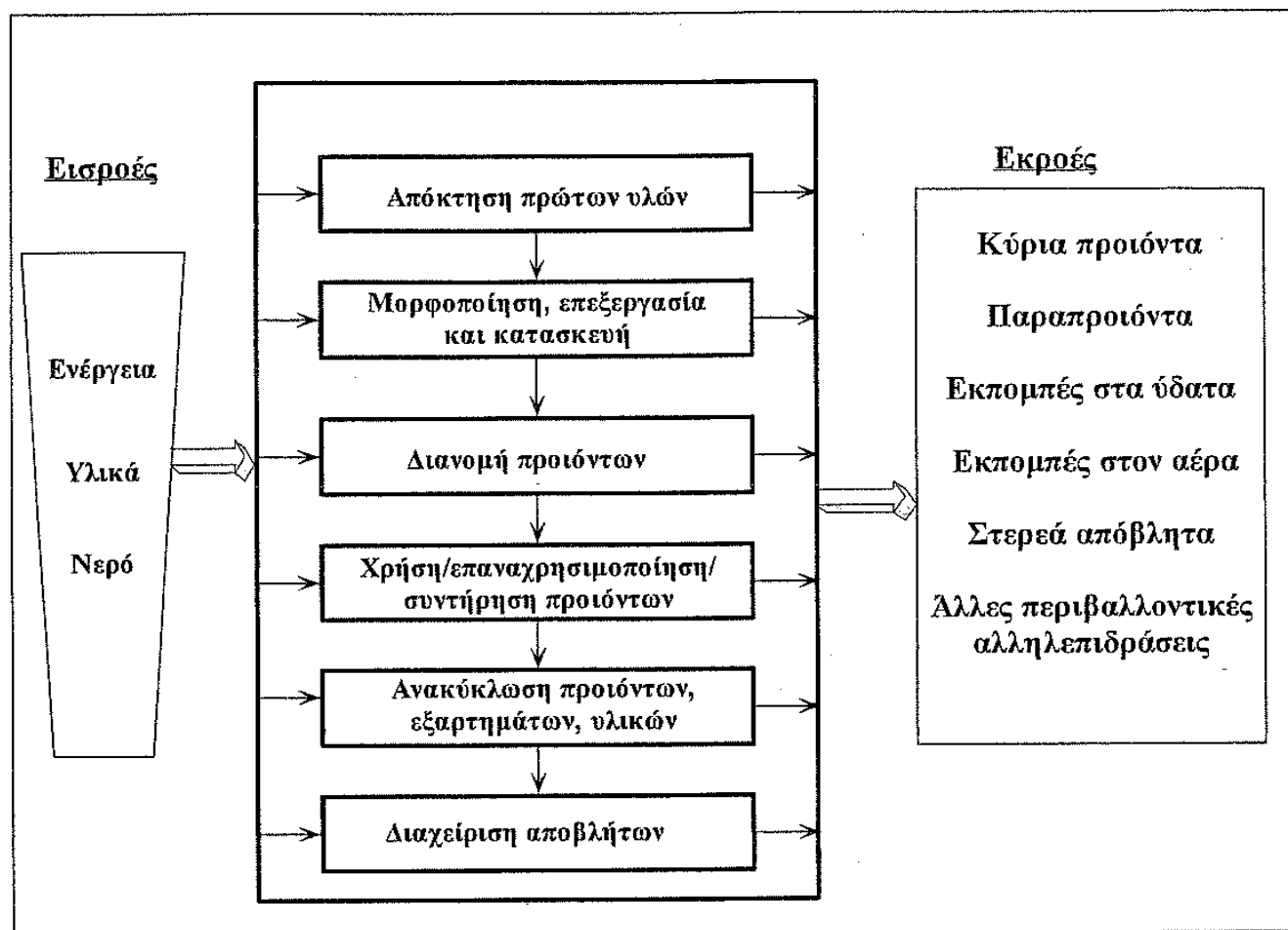
Συγκεκριμένα, η AKZ είναι μια τεχνική για την αποτίμηση των περιβαλλοντικών πτυχών και πιθανών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια υπηρεσία, με:

- σύνταξη ενός καταλόγου απογραφής της εισροής της σχετικής ενέργειας και των υλικών και των εκπομπών στο περιβάλλον
- αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τις προσδιορισμένες εισροές και εκπομπές
- ερμηνεία αποτελεσμάτων για διευκόλυνση λήψης ενημερωμένων αποφάσεων

Η AKZ είναι μια τεχνική:

- αποτίμησης όλων των εισροών και εκροών ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή μιας υπηρεσίας (κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής),
- αποτίμησης των σχετικών αποβλήτων, της ανθρώπινης υγείας και των οικολογικών επιβαρύνσεων (αποτίμηση επιπτώσεων)
- ερμηνείας, διάδοσης και επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης (ερμηνεία κύκλου ζωής) ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων ή των διεργασιών που εξετάζονται.

Ο όρος “κύκλος ζωής” αναφέρεται στις σημαντικότερες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, από την κατασκευή, τη χρήση, τη συντήρηση και την τελική διάθεσή του, συμπεριλαμβάνοντας την απόκτηση των πρώτων υλών που απαιτούνται για να κατασκευαστεί το προϊόν. Το σχήμα 1-1 παρουσιάζει τα πιθανά στάδια κύκλου ζωής που μπορούν να εξεταστούν σε μια AKZ και τις χαρακτηριστικές εισροές / εκροές που μετριοούνται.



Σχήμα 1.1: Στάδια Κύκλου Ζωής (Πηγή: EPA, 1993)

Τα τέσσερα στάδια του κύκλου ζωής εξηγούνται λεπτομερέστερα ακολούθως:

Απόκτηση πρώτων υλών

Ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος αρχίζει με την αφαίρεση πρώτων υλών και πηγών ενέργειας από τη γη. Παραδείγματος χάριν, η συγκομιδή δέντρων ή η μεταλλεία μη ανανεώσιμων υλικών θεωρείται απόκτηση πρώτων υλών. Η μεταφορά αυτών των υλικών από το σημείο απόκτησης τους στο σημείο της επεξεργασίας συμπεριλαμβάνεται επίσης σε αυτό το στάδιο (EPA 1993).

Κατασκευή

Κατά τη διάρκεια του σταδίου κατασκευής, οι πρώτες ύλες μετατρέπονται σε ένα προϊόν ή μια συσκευασία. Το προϊόν ή η συσκευασία παραδίδεται έπειτα στον καταναλωτή. Το στάδιο κατασκευής αποτελείται από τρία βήματα: κατασκευή υλικών, κατασκευή προϊόντων και γέμισμα / συσκευασία / διανομή (EPA 1993).

▪ Κατασκευή υλικών

Το βήμα κατασκευής των υλικών περιλαμβάνει τις δραστηριότητες που μετατρέπουν τις πρώτες ύλες σε μια μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί ένα ολοκληρωμένο προϊόν.

▪ Επεξεργασία προϊόντων

Το βήμα κατασκευής των προϊόντων παίρνει τα κατασκευασμένα υλικά και τα επεξεργάζεται μετατρέποντας τα σε ένα προϊόν που είναι έτοιμο για να γεμιστεί ή να συσκευαστεί.

▪ Γέμισμα / συσκευασία / διανομή

Αυτό το βήμα ολοκληρώνει τα προϊόντα και τα προετοιμάζει για αποστολή. Περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες κατασκευής και μεταφοράς που είναι απαραίτητες για να γεμιστεί, να συσκευαστεί και να διανεμηθεί ένα ολοκληρωμένο προϊόν. Τα προϊόντα μεταφέρονται είτε στις λιανικές αγορές είτε άμεσα στον καταναλωτή. Αυτό το στάδιο ευθύνεται για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τον τρόπο μεταφοράς, όπως η μεταφορά με φορτηγό και η ναυτιλία.

Χρήση / επαναχρησιμοποίηση / συντήρηση

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την πραγματική χρήση, επαναχρησιμοποίηση και συντήρηση του προϊόντος από τον καταναλωτή. Μόλις διανεμηθεί το προϊόν στον καταναλωτή, σε αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνονται όλες οι δραστηριότητες που συνδέονται με τη χρήσιμη ζωή του προϊόντος. Αυτό περιλαμβάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις και τα περιβαλλοντικά απόβλητα και από την αποθήκευση και από την κατανάλωση προϊόντων. Το προϊόν ή το υλικό μπορεί να χρειαστεί να επισκευαστεί ή να συντηρηθεί έτσι ώστε να διατηρήσει την απόδοσή του (EPA 1993). Όταν ο καταναλωτής δεν χρειάζεται πλέον το προϊόν, αυτό θα ανακυκλωθεί ή θα διατεθεί.

Ανακύκλωση / διαχείριση αποβλήτων

Το στάδιο ανακύκλωσης / διαχείρισης των αποβλήτων περιλαμβάνει τις απαιτήσεις σε ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που σχετίζονται με τη διάθεση των προϊόντων ή των υλικών (EPA 1993).

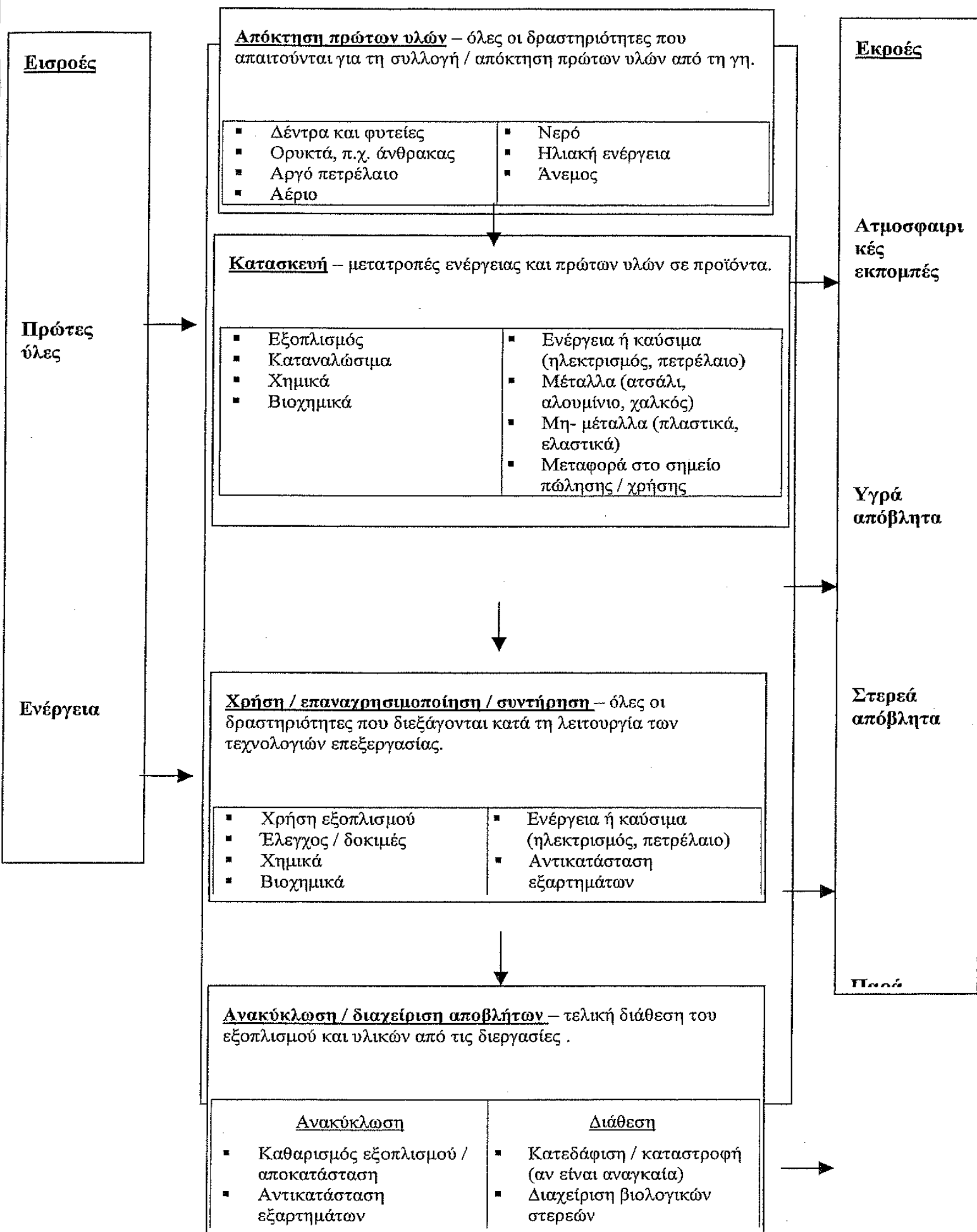
1.1. Αντικείμενο Σταδίων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

- **Παραγωγή πρώτων υλών.** Περιλαμβάνει την εξόρυξη των πρώτων υλών από τη γη, όπως την παραγωγή ξυλείας ή την εξόρυξη ακατέργαστου πετρελαίου. Σε αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνεται η μεταφορά των πρώτων υλών από το σημείο εξόρυξης μέχρι το σημείο της κατεργασίας τους.

Κατασκευή. Διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους στάδια: κατασκευή υλικών και κατασκευή προϊόντος. Το στάδιο της κατασκευής υλικών περιλαμβάνει τη μετατροπή μιας πρώτης ύλης σε μια μορφή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, για να παραχθεί μια ρητίνη πολυαιθυλενίου από ακατέργαστο πετρέλαιο απαιτούνται διάφορες κατασκευαστικές διεργασίες. Το ακατέργαστο πετρέλαιο πρέπει να διυλιστεί, να παραχθεί αιθυλένιο από ολεφίνες μέσω αντιδράσεων αντικατάστασης, και μετά να πολυμεριστεί για την παραγωγή του πολυαιθυλενίου. Η μεταφορά στο σημείο κατασκευής του προϊόντος, καθώς και αυτή μεταξύ των επιμέρους διεργασιών κατασκευής, θεωρείται μέρος αυτού του σταδίου. Το στάδιο της κατασκευής του προϊόντος περιλαμβάνει την επεξεργασία του κατασκευασμένου υλικού για την δημιουργία ενός προϊόντος έτοιμου να αποτελέσει συσκευασία μιας ουσίας ή να συσκευαστεί το ίδιο.

- **Συσκευασία/ Τυποποίηση.** Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει όλες τις κατασκευαστικές διεργασίες που απαιτούνται για την συσκευασία του τελικού προϊόντος.

- **Μεταφορά/ Διανομή.** Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που απαιτούνται για τη συσκευασία και τη διανομή του τελικού προϊόντος. Η ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που προκύπτουν από τη μεταφορά του προϊόντος στα κέντρα λιανικής πώλησης ή στον καταναλωτή προσμετρώνται σ' αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής του.



Όρια συστήματος Σχήμα 1.2 : Παράδειγμα σταδίων κύκλου ζωής για ένα έργο επεξεργασίας

- **Χρήση/ Επαναχρησιμοποίηση/ Συντήρηση.** Αυτό είναι το στάδιο με το οποίο οι καταναλωτές είναι περισσότερο εξοικειωμένοι. Σ' αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις σε ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα, που συνδέονται με την αποθήκευση, τη χρήση και τη συντήρηση του προϊόντος.

- **Ανακύκλωση/ Διαχείριση αποβλήτων.** Σ' αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται οι απαιτήσεις σε ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που συνδέονται με τη διάθεση του προϊόντος, καθώς και οι μέθοδοι διαχείρισης των αποβλήτων μετά την απομάκρυνσή τους από τον καταναλωτή όπως η ανακύκλωση, η υγειονομική ταφή, και η καύση.

Στο σχήμα 1.3 απεικονίζεται συνοπτικά ο κύκλος ζωής μιας πλάκας σαπουνιού και ο διαχωρισμός του σε στάδια, περιλαμβάνοντας τις βασικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στο καθένα. Έτσι, στο στάδιο της παραγωγής πρώτων υλών περιλαμβάνονται οι διεργασίες παραγωγής όλων των υλικών (αλάτι, λίπος, ξύλο) που απαιτούνται για την παραγωγή της πλάκας σαπουνιού. Στο στάδιο της κατασκευής περιλαμβάνονται οι επεξεργασίες των υλικών για την παραγωγή των βοηθητικών υλών και του προϊόντος. Ακολουθεί το στάδιο της συσκευασίας του, το στάδιο της χρήσης του από τον καταναλωτή και τέλος το στάδιο της τελικής διάθεσής του, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των αποβλήτων μετά την απομάκρυνσή τους από τον καταναλωτή.

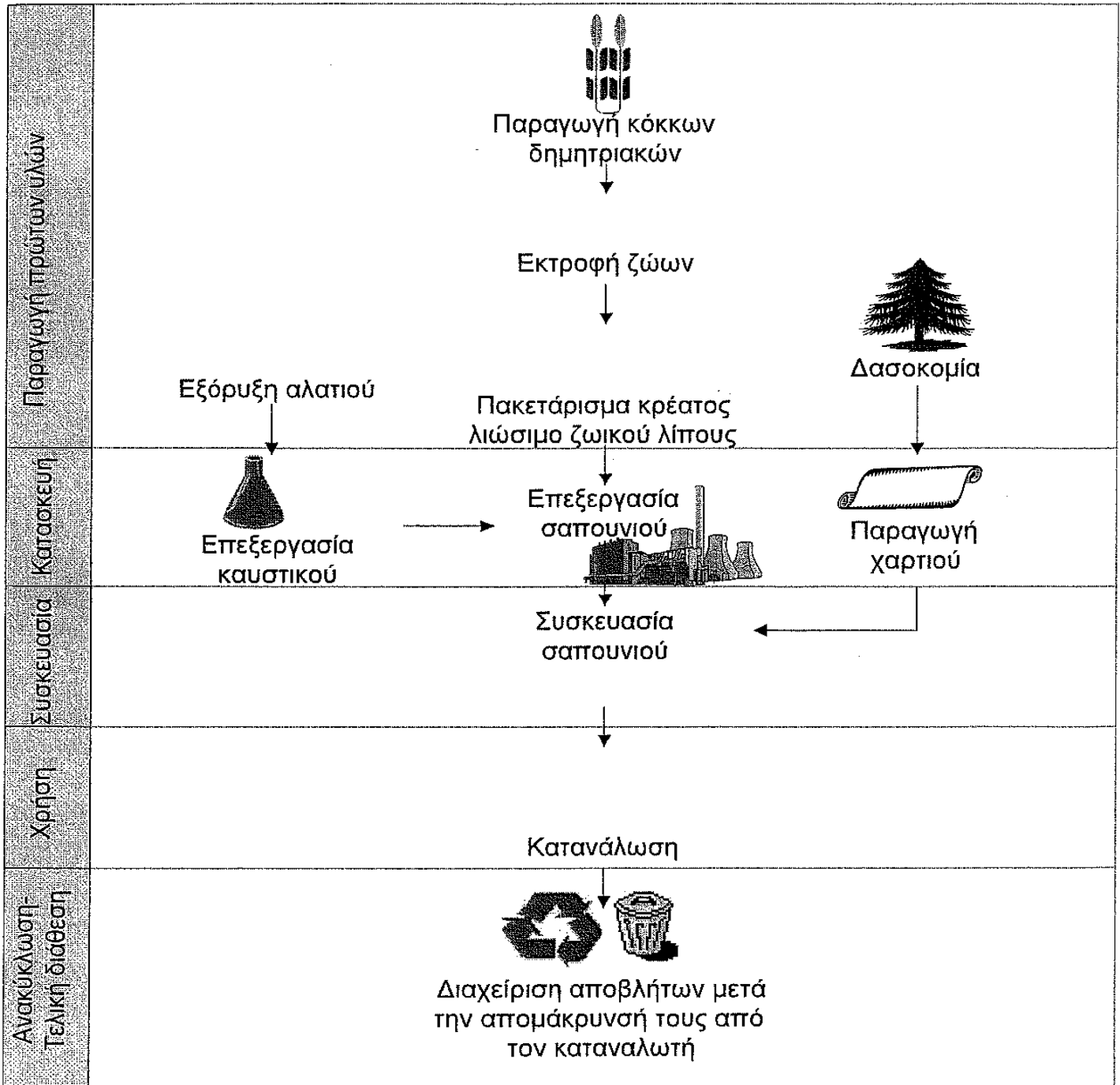
1.2. Οφέλη από τη διεξαγωγή μιας ΑΚΖ

Μια ΑΚΖ θα βοηθήσει αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις να επιλέξουν το προϊόν ή τη διεργασία που οδηγεί στις λιγότερες επιπτώσεις για το περιβάλλον. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με άλλους παράγοντες, όπως δεδομένα κόστους και απόδοσης, για την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας. Τα δεδομένα της ΑΚΖ αναγνωρίζουν τη μεταφορά περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ένα μέσο σε ένα άλλο (π.χ., εξάλειψη αέριων εκπομπών με τη δημιουργία λυμάτων) ή / και από ένα στάδιο του κύκλου ζωής σε άλλο (π.χ., από τη χρήση και επαναχρησιμοποίηση του προϊόντος στη φάση απόκτησης πρώτων υλών). Εάν μια ΑΚΖ δεν εκτελέστηκε, η μεταφορά μπορεί να μην αναγνωριστεί και να συμπεριληφθεί κατάλληλα στην ανάλυση επειδή είναι έξω από τη χαρακτηριστική κατεύθυνση ή εστίαση των διαδικασιών επιλογής προϊόντων.

Παραδείγματος χάριν, όταν πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ δύο ανταγωνιστικών προϊόντων, μπορεί να φαίνεται ότι η επιλογή 1 είναι περιβαλλοντικά καλύτερη επειδή παράγει λιγότερα στερεά απόβλητα από την επιλογή 2. Εντούτοις, μετά από την εκτέλεση μιας ΑΚΖ μπορεί να αποδειχτεί ότι η πρώτη επιλογή δημιουργεί στην πραγματικότητα μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις όταν γίνει η ανάλυση από την κούνια-στον-τάφο, όταν μετριοούνται αυτές και στα τρία μέσα (αέρας, ύδατα, έδαφος) (π.χ., μπορεί να προκαλέσει περισσότερες χημικές εκπομπές κατά τη διάρκεια του σταδίου κατασκευής). Επομένως, το δεύτερο προϊόν (που παράγει στερεά απόβλητα) μπορεί στην πραγματικότητα να έχει λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κούνια-στον-τάφο απ' ό,τι η πρώτη τεχνολογία, λόγω των χαμηλότερων χημικών εκπομπών του.

Στη βιομηχανία χρειάζονται δημιουργικές, αποτελεσματικές, και αποδοτικές μέθοδοι για να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που είναι γνωστές αλλά και εκείνες που μόλις αρχίζουν να παρουσιάζονται. Η αποτελεσματικότερη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι να χρησιμοποιηθεί η ΑΚΖ στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού και να αναγνωριστούν οι εκτάσεις του προβλήματος, επιβάλλοντας προτεραιότητες και δίνοντας έμφαση σε πραγματικές αποτελεσματικές λύσεις. Η ΑΚΖ, ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμβάλλει στο να αντιμετωπιστούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα μέσω της επιλογής των υλικών, της διαδικασίας αλλαγής του σχεδιασμού προϊόντων, της αυξημένης επαναχρησιμοποίησης, της εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων και της ανακύκλωσης.

Αυτή η δυνατότητα παρακολούθησης και τεκμηρίωσης μετατοπίσεων στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να βοηθήσει τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων και τους διευθυντές για τον πλήρη χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών ανταλλαγών που συνδέονται με εναλλακτικά προϊόντα ή διεργασίες. Με την εκτέλεση μιας ΑΚΖ, οι ερευνητές μπορούν:



Σχήμα 1.3 : Παράδειγμα κύκλου ζωής μιας πλάκας σαπουνιού

- Να αναπτύξουν μια συστηματική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα δεδομένο προϊόν.
- Να αναλύσουν τις περιβαλλοντικές ανταλλαγές που συνδέονται με ένα ή περισσότερα συγκεκριμένα προϊόντα / διεργασίες για να βοηθήσουν ώστε να κερδίσουν την αποδοχή από τους εμπλεκόμενους (κράτος, κοινότητα, κ.λπ.) για μια προγραμματισμένη δράση.

- Να ποσοτικοποιήσουν τις περιβαλλοντικές εκπομπές στον αέρα, στα ύδατα και στο έδαφος σε σχέση με το κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ή / και με τις σημαντικές διεργασίες που συνεισφέρουν.
- Να βοηθήσουν στον προσδιορισμό των σημαντικών μετατοπίσεων στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής και των περιβαλλοντικών μέσων.
- Να αξιολογήσουν τις ανθρώπινες και οικολογικές επιπτώσεις της κατανάλωσης υλικών και των περιβαλλοντικών εκπομπών στον τοπική κοινότητα, περιοχή και στον κόσμο.
- Να συγκρίνουν την υγεία και τις οικολογικές επιπτώσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων ανταγωνιστικών προϊόντων / διεργασιών ή να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή μιας διεργασίας.
- Να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις σε μια ή περισσότερες συγκεκριμένες περιοχές περιβαλλοντικής ανησυχίας.

1.3. Ιστορική Αναδρομή

Ιστορία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως έννοια υπάρχει εδώ και 30 χρόνια. Στις τελευταίες δύο δεκαετίες ο κόσμος άρχισε να συνειδητοποιεί ότι τόσο η κατανάλωση πρώτων υλών, όσο και οι διαδικασίες μετατροπής τους, έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα αποθέματα ενέργειας και στο περιβάλλον που απειλείται να καταστραφεί από την αλόγιστη χρήση των ενεργειακών πόρων.

Κατά τη δεκαετία του '60 αρχίζει να απασχολεί τους ειδικούς το "πεπερασμένο" των ενεργειακών αποθεμάτων καθώς και των αποθεμάτων πρώτων υλών. Η διαπίστωση αυτή ενεργοποίησε το ενδιαφέρον γύρω από την εξεύρεση λύσεων στο πρόβλημα των προμηθειών για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών. Οι μελέτες επικεντρώθηκαν αργότερα στην εξάντληση των αποθεμάτων των καύσιμων υλών, αλλά και στις επιπτώσεις της εκβιομηχάνισης στο περιβάλλον γενικότερα. Αυτές οι αρχικές μελέτες δημιούργησαν τις πρώτες σκέψεις γύρω από την ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Η ανάλυση κύκλου ζωής (ΑΚΖ) χρησιμοποιείται ως εργαλείο για να αξιολογήσει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας δραστηριότητας σε όλο τον κύκλο ζωής της από την εξαγωγή των πρώτων υλών κατευθείαν στην επεξεργασία, τη μεταφορά, τη χρήση και τη διάθεση. Στις πρώτες ημέρες της χρησιμοποιήθηκε πρώτιστα για τις συγκρίσεις προϊόντων, παραδείγματος χάριν για να συγκρίνουν τις περιβαλλοντικές επιδράσεις των μίας χρήσης και των επαναχρησιμοποιήσιμων προϊόντων. Χρησιμοποιείται επίσης ως βάση των προγραμμάτων εκπαίδευσης του οικολογικού σήματος και των καταναλωτών σε όλο τον κόσμο.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60 προέκυψαν ανησυχίες πέρα από τους περιορισμούς των πρώτων υλών και των ενεργειακών πόρων. Αυτό προκάλεσε ενδιαφέρον για την εύρεση τρόπων στο συσσωρευτικό απολογισμό για την κατανάλωση ενέργειας και την προβολή της μελλοντικής προσφοράς και ζήτησης πόρων. Αργότερα στη δεκαετία του '60 δημοσιεύθηκε μια παγκόσμια μελέτη διαμόρφωσης που πρόβλεψε τη γρήγορη μείωση των ορυκτών καυσίμων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής κατανάλωσης. Αυτό οδήγησε σε διάφορες μελέτες που διεξήχθησαν για να υπολογίσουν τις δαπάνες και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εναλλασσόμενων πηγών ενέργειας.

Η πρώτη Ανάλυση Κύκλου Ζωής πραγματοποιήθηκε από την Coca Cola το 1969. Η εταιρία ανέθεσε στο Midwest Research Institute την διεξαγωγή έρευνας σχετικής με την τυποποίηση των προϊόντων της. Η έρευνα αναζητούσε νέα υλικά εμφιάλωσης με λιγότερες ενεργειακές απώλειες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αξιολογούσε τα ήδη χρησιμοποιούμενα υλικά. Αυτή η μέθοδος έγινε γνωστή ως ενεργειακή και περιβαλλοντολογική ανάλυση προφίλ (REPA-Resource and Environmental Profile Analysis).

Κατά τη δεκαετία του '70 και άλλες εταιρείες στις ΗΠΑ πραγματοποίησαν έρευνες προς την ίδια κατεύθυνση. Οι ανάλογες έρευνες στην Γηραιά Ήπειρο έγιναν γνωστές σαν έρευνες οικολογικού ισοζυγίου (Ecobalances). Όσο κλιμακωνόταν η πετρελαϊκή κρίση, το ενδιαφέρον και άλλων εταιριών για ΑΚΖ μεγάλωνε. Επιπροσθέτως είχε ήδη τυποποιηθεί ένα πρωτόκολλο για τη διεξαγωγή των ερευνών, με αποτέλεσμα τη χρήση υποθέσεων που οδηγούσαν σε πιο λεπτομερείς εξετάσεις.

Στα τέλη της δεκαετίας του '70 και μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '80, το ενδιαφέρον της Αμερικής για ΑΚΖ έφθινε σταδιακά, λόγω της εξασθένησης της επίδρασης που ασκούσε η ενεργειακή κρίση. Από την άλλη, στην Ευρώπη το ενδιαφέρον αυξανόταν με την ίδρυση της Περιβαλλοντικής Διεύθυνσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.). Το 1985 η Περιβαλλοντική Διεύθυνση της Ε.Ε. έθεσε ως θέμα έρευνας τη συσκευασία των υγρών τροφίμων, με αποτέλεσμα να ανατεθεί σε μέλη εταιριών η διαχείριση της ενέργειας και της κατανάλωσης πρώτων υλών, καθώς και η έρευνα παραγωγής προβληματικών συσκευασιών τροφίμων. Αυτό τελικά ενθάρρυνε τη χρήση του οικολογικού ισοζυγίου στην Ευρώπη.

Στα τέλη της δεκαετίας του '80, και όσο η παραγωγή και διάθεση επιζήμιων, για το περιβάλλον, συσκευασιών είχε αρχίσει να αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας, η ΑΚΖ ενέκυψε πάλι ως μέθοδος για την ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, στην Αμερική και Ευρώπη. Οπότε και στράφηκε η προσοχή στην ανακύκλωση των προϊόντων, που ως τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος άρχισε να κερδίζει έδαφος. Από τότε και μετά, η εκδήλωση ενδιαφέροντος για την ΑΚΖ από βιομηχανίες, κυβερνήσεις και ακαδημαϊκά ιδρύματα σε διεθνές επίπεδο αυξάνει συνεχώς.

Το 1990, μια μελέτη ΑΚΖ ορόσημο, που διευθύνθηκε από τον Artur D. Little χρηματοδοτημένη από την Proctor & Gamble, και πραγματοποιήθηκε σε πάνες διάθεσης και υφασμάτων. Η ΑΚΖ κατέδειξε ότι οι πάνες διάθεσης δεν ήταν πραγματικά περισσότερο καταστρεπτικές προς το περιβάλλον από τις επαναχρησιμοποιήσιμες πάνες υφασμάτων. Η σημασία του Artur D. Little, ήταν η αντίφασή του σε μια μελέτη ΑΚΖ του 1998 που πραγματοποιήθηκε από τον Carl Lehrburger, που υποστηρίχτηκε από τη βιομηχανία υφασμάτων και πανών. Στα τέλη του 1990, μια μελέτη που διευθύνθηκε από Franklin Associates Ltd., που υποστηρίχτηκε από το American Paper Institute, κατέδειξε συμπεράσματα παρόμοια με τη μελέτη Artur D. Little. Και το 1991, ο Carl Lehrburger, διεύθυνε μια δεύτερη ΑΚΖ που καταδεικνύει ότι οι πάνες υφασμάτων να είναι περιβαλλοντικά ανώτερες. Οι συγκρουόμενες μελέτες προκάλεσαν μια δημόσια συζήτηση πάνων, καθώς επίσης και μια συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα των ΑΚΖ – που βρέθηκαν για να διαστρέφονται με τις προκατειλημμένες υποθέσεις.

Σε μία προσπάθεια να καλλιεργηθεί ο τομέας της ΑΚΖ πέρα από τον αρνητικό Τύπο, ο οργανισμός της περιβαλλοντικής τοξικολογίας και της χημείας (SETAC) άρχισε να χρησιμεύει ως ένα σημείο εστίασης για τις τεχνικές εξελίξεις στο χώρο της ΑΚΖ. Ο SETAC παρείχε τα εργαστήρια στο τεχνικό πλαίσιο για να ενθαρρύνει τη συναίνεση από τους επιστήμονες και τους επαγγελματίες στα ζητήματα ΑΚΖ. Σήμερα υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες ΑΚΖ που διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην καθιέρωση της επιστήμης της ΑΚΖ.

Σήμερα, η ΑΚΖ χρησιμοποιείται ευρύτατα τόσο σε ποσοτικές αναλύσεις κύκλου ζωής όσο και στον σχεδιασμό και την στρατηγική λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξή της στην Ελλάδα είναι εξαιρετικά περιορισμένη προς το παρόν. Εφαρμόζεται μόνο από πολυεθνικές εταιρίες που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν αυτούσια την τεχνογνωσία που απαιτείται για την εκπόνηση μιας μελέτης ΑΚΖ από τις μητρικές τους εταιρίες

Ανάλυση κύκλου ζωής στον κόσμο

Η ΑΚΖ δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Αυστραλία. Μια ΑΚΖ των πλυντηρίων ρούχων από την Australian Consumers Association το 1992 απέδειξε ότι τέτοιες μελέτες είναι και δυνατές και χρήσιμες στο αυστραλιανό πλαίσιο, αλλά έχει υπάρξει μικρή δραστηριότητα από τότε. Διάφορες επιχειρήσεις έχουν εισαγάγει λογισμικό και βάσεις δεδομένων από την Ευρώπη ενώ υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για χρησιμοποίηση ΑΚΖ για τις βιομηχανικές σειρές μαθημάτων οικολογίας και στα πανεπιστήμια.

Η ΑΚΖ δεν θα είναι ποτέ εξ ολοκλήρου ακριβής, αλλά μπορεί να δώσει έμφαση στα περιβαλλοντικά προβλήματα και τις περιοχές για την πιθανή βελτίωση. Πρέπει να συμμετέχουμε στη διεθνή συζήτηση για τη μεθοδολογία, αλλά αυτό δεν πρέπει να μας εμποδίσει από το να ενισχύουμε την εμπειρία μας σε κάτι που γίνεται αναγνωρίσιμο εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Στις 8 Μαρτίου 1994, ο Πρόεδρος Clinton ζήτησε, μέσω μιας Εκτελεστικής Διαταγής που τιτλοφορήθηκε *Ενεργειακή Αποδοτικότητα και Συντήρηση Υδάτος στις Ομοσπονδιακές Εγκαταστάσεις*, από το Τμήμα Ενέργειας (DOE) να ερευνήσει τα ζητήματα που περιλαμβάνονται στη χρησιμοποίηση ΑΚΖ για τις ομοσπονδιακές ενεργειακές αγορές και τις αγορές προϊόντων. Ομοίως, η Αντιπροσωπεία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) επιφορτίστηκε, μέσω της Εκτελεστικής Διαταγής με τίτλο *Ομοσπονδιακή Απόκτηση, Ανακύκλωση, και Πρόληψη Αποβλήτων*, με τον προσδιορισμό των “περιβαλλοντικά προτιμητέων” προϊόντων για να αγοραστούν και να χρησιμοποιηθούν στην κυβέρνηση. Η EPA προγραμματίζει να χρησιμοποιήσει την ΑΚΖ για να επιτύχει αυτόν τον στόχο. Για να διευκολύνει τους στόχους των εκτελεστικών διαταγών, η DOE και η EPA, μαζί με το Υπουργείο Εσωτερικού (DOI), αρχίζουν μια κοινή προσπάθεια για να αναπτύξουν λύσεις στα εμπόδια που συνδέονται με την ΑΚΖ.

Μεθοδολογίες και εφαρμογές του παρελθόντος της Α.Κ.Ζ.

Οι μεθοδολογίες ΑΚΖ αναπτύχθηκαν αρχικά για να δημιουργήσουν τα εργαλεία υποστήριξης απόφασης μεταξύ των προϊόντων, των συστημάτων προϊόντων, ή των υπηρεσιών για περιβαλλοντικούς λόγους. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της ΑΚΖ, διάφορες σχετικές εφαρμογές προέκυψαν, των οποίων δίνουμε παρακάτω μερικά παραδείγματα (*Jensen et al., 1997*):

- Εσωτερική βιομηχανική χρήση στην ανάπτυξη και τη βελτίωση προϊόντων
- Εσωτερικός στρατηγικός προγραμματισμός και υποστήριξη πολιτικής απόφασης στη βιομηχανία,
- Εξωτερική βιομηχανική χρήση για λόγους μάρκετινγκ, και
- Κυβερνητική χάραξη πολιτικής στους τομείς του οικολογικού σήματος, της προμήθειας πρασίνου και των ευκαιριών στον τομέα των αποβλήτων.

Ο κατάλογος δεν είναι πλήρης, αλλά δείχνει ότι υπάρχει μια ευρεία ποικιλία των εφαρμογών.

Σήμερα, η ΑΚΖ χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για να βελτιώσει τα προϊόντα, για να διευθύνει τις στρατηγικές αναλύσεις, και ως τυποποιημένη μέθοδος να αξιολογήσει την περιβαλλοντική απόδοση. Στα παραδείγματα βελτίωσης προϊόντων της χρήσης ΑΚΖ περιλαμβάνονται: η ανάλυση της ενεργειακής αποδοτικότητας των ενδυμάτων πολυεστέρα (*Franklin et al., 1993*), η ανάλυση της μεταφοράς και της διανομής του υπαίθριου ιματισμού (*Hopkins et al., 1994*), και η ανάλυση των τμημάτων της αρχικής ανησυχίας ενός τερματικού σταθμού υπολογιστών (αμερικανική DOE, 1993). Τυχαία 100 επιχειρήσεις όπως η επιχείρηση της SCOTT PAPER, Dow Chemical, και το AT&T, έχουν χρησιμοποιήσει τις έννοιες κύκλου ζωής για να αξιολογήσουν στρατηγικά τις γραμμές προϊόντων και την επιχείρηση πυρήνων (*Allen, 1996*). Περαιτέρω, η ΑΚΖ είναι έτοιμη να γίνει μια τυποποιημένη μέθοδος για να αξιολογήσει την περιβαλλοντική απόδοση προϊόντων. Η δημοσίευση του *ISO 14040: LCA - Οι Αρχές και το Πλαίσιο* από το διεθνή οργανισμό της τυποποίησης (ISO) δημοσιεύθηκαν ως διεθνή πρότυπα το καλοκαίρι του 1997. Τα πρότυπα του ISO 14000 αναμένονται για να παρέχουν τη βάση για την περιβαλλοντική ρυθμιστική εξέλιξη πέρα από την εντολή και τον έλεγχο σε ένα νέο παράδειγμα ενός συνεταιριστικού προτύπου μεταξύ της βιομηχανίας και της κυβέρνησης (*Cascio, 1996*).

1.4.AKZ και ISO 14000

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO), που ιδρύθηκε το 1947 για την προώθηση διεθνών τυποποιήσεων στην διακίνηση των αγαθών και των υπηρεσιών, τα τελευταία χρόνια έχει στρέψει την προσοχή του από τις τεχνικές τυποποίησης στον στίβο της περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το 1991, ο ISO συνέταξε τη Συμβουλευτική Ομάδα Περιβαλλοντικών Στρατηγικών (Strategic Advisory Group on the Environment) για να εξετάσει την ανάγκη τυποποιημένων τεχνικών περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το 1993 συγκρότησε την Τεχνική Επιτροπή (Technical Committee-TC) 207 με σκοπό να θεσπίσει τις τυποποιήσεις περιβαλλοντικής διαχείρισης ISO 14000. Η σειρά προτύπων ISO 14000 περιλαμβάνει 6 πρότυπα που αφορούν 6 διαφορετικά θέματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τα τρία σχετίζονται με την αποτίμηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης. Τα υπόλοιπα τρία με την αποτίμηση προϊόντος. Σε αυτά ανήκουν και τα πρότυπα ISO 14040-43 που αφορούν την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ), και τα οποία περιλαμβάνουν οδηγίες που έχουν σαν σκοπό να ενισχύσουν τον ρόλο της ως μια θεμελιώδη διαδικασία διεξοδικής καταγραφής περιβαλλοντικών δεδομένων και ως ένα εργαλείο ποσοτικής αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σύμφωνα με τις αρχές της Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management), η AKZ μπορεί να συμβάλλει στο να δημιουργηθεί μια μεθοδική διαδικασία αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε παγκόσμια κλίμακα.

Σύμφωνα με τη σειρά προτύπων ISO 14040-43 η AKZ έχει τρία βασικά στοιχεία: αναλυτική απογραφή των στοιχείων, ανάλυση επιπτώσεων και ανάλυση βελτιώσεων. Αναλυτικότερα:

- *Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Αρχές και πλαίσιο μεθοδολογίας (ISO 14040).*

Αυτό το πρότυπο ορίζει τις αρχές της AKZ και παρέχει τις κατευθυντήριες γραμμές για τις τέσσερις κύριες φάσεις μιας AKZ: προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης, αναλυτική απογραφή, εκτίμηση επιπτώσεων, και ερμηνείες των αποτελεσμάτων.

- *Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Αναλυτική απογραφή (ISO 14041)*

Αυτό το πρότυπο περιγράφει τον τρόπο διεξαγωγής μιας αναλυτικής απογραφής κύκλου ζωής. Η ενότητα αυτή καλύπτει επτά βασικές περιοχές: αντικείμενο, αναφορές, ορισμούς, αναλυτική εισαγωγή, προσδιορισμό του στόχου και της έκτασης, οδηγίες για την προετοιμασία μιας αναλυτικής απογραφής κύκλου ζωής, και την τελική έκθεση των αποτελεσμάτων.

- *Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (ISO 14042)*

Οι αρχές και η διαδικασία για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής παρουσιάζονται σ' αυτό το πρότυπο, το οποίο χωρίστηκε πρόσφατα στις ακόλουθες τέσσερις περιοχές: ταξινόμηση, χαρακτηρισμό, ανάλυση "σπουδαιότητας" και αξιολόγηση.

- *Ανάλυση Κύκλου ζωής: Ερμηνεία (ISO 14043)*

Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιείται ως οδηγός, με σκοπό την εξέταση και αποτίμηση των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Αυτό το πρότυπο διαχωρίστηκε πρόσφατα σε τέσσερις περιοχές: συσχέτιση της αναλυτικής απογραφής με την εκτίμηση των επιπτώσεων, συσχέτιση του αντικειμένου της ανάλυσης με τα εργαλεία βελτίωσης που χρησιμοποιούνται, συμπεράσματα, και συστάσεις.

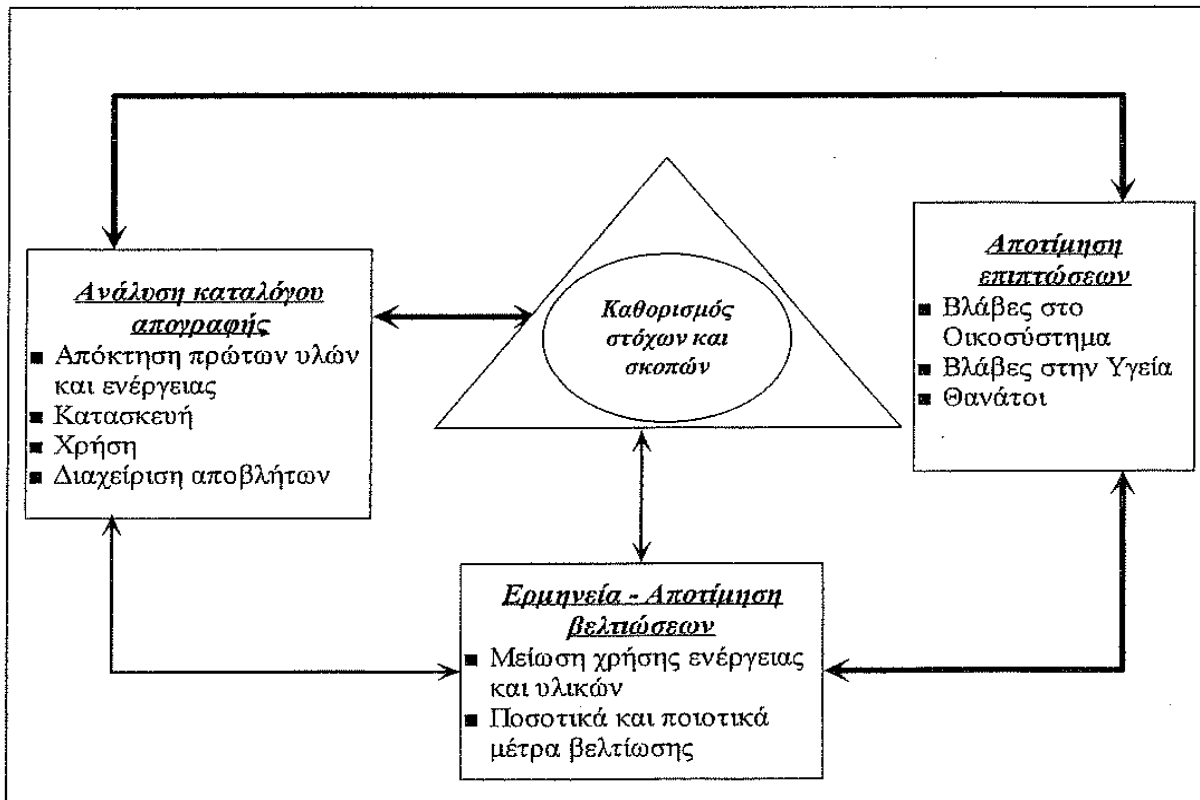
Κάποια από τα βασικά θέματα τα οποία επισημάνθηκαν από την Τεχνική Επιτροπή του ISO κατά την ανάπτυξη της τυποποίησης για την AKZ περιλαμβάνουν την επικείμενη συμμετοχή της στην απονομή σήματος και στην προώθηση προϊόντων, την πιθανή υιοθέτησή της από κυβερνήσεις μέσω των αναπτυξιακών τους προγραμμάτων, καθώς και την ευελιξία της τυποποίησης και το κόστος υλοποίησής της.

2.ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΚΖ

Η διαδικασία της ΑΚΖ είναι μια συστηματική, σταδιακή προσέγγιση και αποτελείται από τέσσερα συστατικά: καθορισμός στόχου και σκοπού, ανάλυση καταλόγου απογραφής, αποτίμηση επιπτώσεων και ερμηνεία, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1 :

1. *Καθορισμός στόχου και σκοπού* – καθορισμός και περιγραφή του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας. Εγκαθίδρυση του πλαισίου μέσα στο οποίο πρόκειται να γίνει η ανάλυση και προσδιορισμός ορίων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που εξετάζονται στην ανάλυση.
2. *Ανάλυση καταλόγου απογραφής* – προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση της χρήσης ενέργειας, νερού και υλικών και περιβαλλοντικών εκπομπών (π.χ. αέριες εκπομπές, διάθεση στερεών αποβλήτων και λυμάτων).
3. *Αποτίμηση επιπτώσεων* – αποτίμηση επιπτώσεων χρήσης ενέργειας, νερού και υλικών και περιβαλλοντικών εκπομπών στους ανθρώπους και στο οικοσύστημα, όπως αυτά προσδιορίστηκαν στην ανάλυση καταλόγου απογραφής.
4. *Ερμηνεία* – αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης καταλόγου απογραφής και αποτίμησης επιπτώσεων για την επιλογή του προϊόντος, διεργασίας ή υπηρεσίας με μια σαφή κατανόηση της αβεβαιότητας και των υποθέσεων που έγιναν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Η ΑΚΖ είναι μοναδική επειδή καλύπτει όλες τις διεργασίες και περιβαλλοντικές εκπομπές αρχίζοντας με την εξαγωγή των πρώτων υλών και την παραγωγή της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του προϊόντος, προχωρώντας στη χρήση και την τελική διάθεση του προϊόντος. Κατά την επιλογή ανάμεσα σε δύο εναλλακτικές λύσεις, η ΑΚΖ μπορεί να βοηθήσει αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις στη σύγκριση όλων των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τα προϊόντα, τις διεργασίες ή τις υπηρεσίες.



Σχήμα 2.1 : Στάδια ΑΚΖ (Πηγή: ISO, 1997)

2.1. Καθορισμός Στόχων και Σκοπών

Τι είναι ο καθορισμός στόχων και σκοπών;

Ο καθορισμός στόχων και σκοπών είναι η φάση της διαδικασίας της ΑΚΖ που καθορίζει το σκοπό και τη μέθοδο που θα συμπεριληφθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Σε αυτήν την φάση πρέπει να καθοριστούν τα ακόλουθα στοιχεία: το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται για να προσθέσουν αξία στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, πόσο ακριβή πρέπει να είναι τα αποτελέσματα για να έχουν σημασία και πώς πρέπει να ερμηνευθούν και να προβληθούν τα αποτελέσματα προκειμένου να είναι σημαντικά και χρησιμοποιήσιμα.

Πως επηρεάζει ο καθορισμός στόχων και σκοπών την ΑΚΖ;

Η διαδικασία της ΑΚΖ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστούν οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από οποιαδήποτε προϊόν, διεργασία ή υπηρεσία. Ο καθορισμός στόχων και σκοπών της ΑΚΖ θα καθορίσει το χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται. Οι καθορισμένοι πλέον στόχοι και σκοποί θα καθοδηγήσουν ολόκληρη την διαδικασία, για να εξασφαλιστεί ότι θα επιτευχθούν τα πιο σημαντικά αποτελέσματα. Κάθε απόφαση που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της φάσης καθορισμού στόχων και σκοπών επηρεάζει είτε το πώς θα πραγματοποιηθεί η μελέτη είτε τη καταλληλότητα των τελικών αποτελεσμάτων. Το ακόλουθο τμήμα προσδιορίζει τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν στην αρχή της μελέτης ΑΚΖ και τις επιπτώσεις αυτών των αποφάσεων σχετικά με τη διαδικασία ΑΚΖ.

Αρχή για μελέτη ΑΚΖ

Πρέπει να ληφθούν οι ακόλουθες έξι βασικές αποφάσεις στο ξεκίνημα της ΑΚΖ για να γίνει αποτελεσματική η χρήση του χρόνου και των πόρων:

1. Καθορισμός του στόχου(ων) του προγράμματος
2. Καθορισμός του είδους πληροφοριών που απαιτείται για την ενημέρωση αυτών που λαμβάνουν τις αποφάσεις
3. Καθορισμός του τρόπου με τον οποίο πρέπει να οργανωθούν τα δεδομένα και τα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα
4. Καθορισμός του τι θα περιληφθεί ή όχι στην ΑΚΖ
5. Καθορισμός της απαραίτητης ακρίβειας των δεδομένων
6. Καθορισμός των διαδικαστικών κανόνων για την διεξαγωγή της εργασίας

Κάθε απόφαση και οι σχετικές της επιπτώσεις στη ΑΚΖ εξηγούνται πιο κάτω με περαιτέρω λεπτομέρειες.

Καθορισμός του στόχου(ων) του έργου

Η ΑΚΖ είναι ένα ευπροσάρμοστο εργαλείο για την ποσοτικοποίηση των συνολικών (από την κούνια-στον-τάφο) περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ένα προϊόν, μια διεργασία ή μια υπηρεσία. Ο αρχικός στόχος είναι να επιλεγεί το καλύτερο προϊόν, διεργασία ή υπηρεσία με τις λιγότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Μπορούν επίσης να υπάρξουν δευτερεύοντες στόχοι στη διεξαγωγή μιας ΑΚΖ, οι οποίοι μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του έργου.

Παραδείγματα δευτερευόντων στόχων είναι:

- Η απόδειξη ότι ένα προϊόν είναι περιβαλλοντικά ανώτερο από ένα ανταγωνιστικό προϊόν.
- Προσδιορισμός των σταδίων μέσα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας όπου μπορεί να επιτευχθεί μείωση χρήσης πόρων και εκπομπών.
- Καθορισμός των επιπτώσεων σε συγκεκριμένες ομάδες που επηρεάζονται (μέτοχοι, ενδιαφερόμενοι, συμβαλλόμενα μέρη).

- Καθιέρωση ενός βασικού επιπέδου πληροφοριών για τη συνολική χρήση των πόρων ενός συστήματος, της κατανάλωσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.
- Βοήθεια στην καθοδήγηση της ανάπτυξης νέων προϊόντων, διεργασιών ή δραστηριοτήτων προς μια καθαρή μείωση των απαιτήσεων σε πόρους και των εκπομπών.

Καθορισμός του τύπου των πληροφοριών που απαιτούνται για την ενημέρωση αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις

Η AKZ μπορεί να βοηθήσει να απαντηθούν διάφορες σημαντικές ερωτήσεις. Η αναγνώριση των ερωτήσεων που ενδιαφέρουν αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις, θα βοηθήσει στον καθορισμό των παραμέτρων της μελέτης. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Ποιες είναι οι επιπτώσεις σε συγκεκριμένες ενδιαφερόμενες ομάδες (μέτοχοι, συμβαλλόμενα μέρη);
- Ποιο προϊόν ή διεργασία έχει τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (ποσοτικά) συνολικά ή σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής του;
- Πώς θα επηρεάσουν οι αλλαγές στο υπάρχον προϊόν / διεργασία τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής;
- Ποια τεχνολογία ή διεργασία προκαλεί το λιγότερο ποσό όξινης βροχής, σχηματισμό αιθαλομίχλης ή ζημιάς στα τοπικά δέντρα (ή οποιαδήποτε άλλη κατηγορία επιπτώσεων που προκαλεί ανησυχία);
- Πώς μπορεί να μεταβληθεί η διεργασία για να μειωθεί μια συγκεκριμένη περιβαλλοντική επίπτωση (π.χ., παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου);

Μόλις προσδιοριστούν οι κατάλληλες ερωτήσεις, είναι σημαντικό να καθοριστούν οι τύποι πληροφοριών που απαιτούνται ώστε να απαντηθούν.

Καθορισμός του τρόπου με τον οποίο θα γίνει η οργάνωση των δεδομένων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Αυτοί που εφαρμόζουν την AKZ καθορίζουν πως πρέπει να οργανωθούν τα δεδομένα από σε σχέση με τη λειτουργική μονάδα που περιγράφει κατάλληλα τη λειτουργία του προϊόντος / διεργασίας που εξετάζεται. Οι συγκρίσεις μεταξύ προϊόντων / διεργασιών πρέπει να γίνουν βάσει της ίδιας λειτουργίας, ποσοτικοποιημένες στην ίδια λειτουργική μονάδα. Αυτό διασφαλίζει ότι τα προϊόντα / διεργασίες που συγκρίνονται έχουν αντικατασταθεί σωστά. Η προσεκτική επιλογή της λειτουργικής μονάδας για τη μέτρηση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της AKZ θα βελτιώσει την ακρίβεια της μελέτης και τη χρησιμότητα των αποτελεσμάτων.

Μια μελέτη AKZ που συγκρίνει δύο τύπους μονώσεων τοίχων για να καθορίσει το ποιος από τους δύο είναι προτιμότερος περιβαλλοντικά, πρέπει να αξιολογηθεί στην ίδια λειτουργία, την ικανότητα μείωσης της ροής θερμότητας. Έξι τετραγωνικά πόδια χοντρής μόνωσης τύπου A 4-ιντσών δεν είναι απαραίτητα τα ίδια με έξι τετραγωνικά πόδια χοντρής μόνωσης τύπου B 4-ιντσών. Η μόνωση τύπου A μπορεί να έχει έναν παράγοντα R ίσο με 10, ενώ η μόνωση τύπου B μπορεί να έχει έναν παράγοντα R ίσο με 20. Επομένως, οι τύποι A και B δεν παρέχουν το ίδιο ποσό μόνωσης και δεν μπορούν να συγκριθούν σε ίση βάση. Εάν ο τύπος A μειώνει τη ροή θερμότητας κατά 80%, πρέπει να καθοριστεί πόσο χοντρός πρέπει να είναι ο τύπος B για να μειώνει τη ροή θερμότητας επίσης κατά 80%.

Καθορισμός του τι θα συμπεριληφθεί ή όχι στην AKZ

Όπως εξηγήθηκε και στο κεφάλαιο 1, μια ανάλυση καταλόγου απογραφής προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί τις εκπομπές στο περιβάλλον ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Ιδανικά, μια AKZ περιλαμβάνει και τα τέσσερα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας: απόκτηση πρώτων υλών, κατασκευή, χρήση / επαναχρησιμοποίηση / συντήρηση και ανακύκλωση / διαχείριση αποβλήτων. Αυτά τα στάδια του προϊόντος εξηγούνται λεπτομερέστερα ακολούθως. Για να καθοριστεί εάν ένα ή όλα τα στάδια πρέπει να περιληφθούν στο πεδίο της AKZ, πρέπει να αξιολογηθούν τα εξής: ο στόχος της μελέτης, η απαραίτητη ακρίβεια των αποτελεσμάτων, και ο διαθέσιμος χρόνος και πόροι. Το σχήμα 2-1

παρουσιάζει ένα παράδειγμα σταδίων κύκλου ζωής που θα μπορούσαν να περιληφθούν σε ένα έργο που σχετίζεται με τεχνολογίες επεξεργασίας.

2.1.1. Επιδίωξη

Κατά την έναρξη μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, είναι απαραίτητο να οριστεί με σαφήνεια η επιδίωξη της μελέτης. Αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει μια ξεκάθαρη δήλωση της αιτίας διεξαγωγής της ΑΚΖ, και της επιδιωκόμενης χρήσης των αποτελεσμάτων. Η επιδίωξη της μελέτης θα πρέπει να προσδιοριστεί βάσει του ποια απόφαση θα στηριχθεί στα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης, και ποιες πληροφορίες απαιτούνται, σε ποιο βαθμό ανάλυσης, και για ποιο σκοπό. Μια βασική θεώρηση είναι το αν τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για εσωτερικές εφαρμογές σε μια εταιρία για την βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης του συστήματος, ή για εξωτερικές, για παράδειγμα, για να επηρεάσουν το δημόσιο συμφέρον.

Καθορισμός επιδίωξης

- Οι γενικοί στόχοι της μελέτης πρέπει να δοθούν σε μια σαφή και συνοπτική δήλωση οι λόγοι για τους οποίους διεξάγεται η μελέτη και η προοριζόμενη χρήση των λεπτομερών αποτελεσμάτων.
- Η μεθοδολογία που υιοθετείται πρέπει να δηλωθεί σαφώς και διαφανώς και οποιεσδήποτε διαφορές στη μεθοδολογία από μια πλήρες ΑΚΖ πρέπει να εξηγηθούν. Όλες οι υποθέσεις και οι κρίσεις αξίας πρέπει να είναι σαφώς λεπτομερείς μαζί με την αιτιολόγηση για αυτές τις υποθέσεις.

Σύμφωνα με τον Jeroen B. Guine'e (CML) αυτό το βήμα είναι σημαντικό και υποχρεωτικό για κάθε μελέτη LCA, όχι μόνο επειδή η δηλωμένη εφαρμογή θα επηρεάσει την κατεύθυνση ολόκληρης της μελέτης αλλά και για να εγγυηθεί τις σαφείς εξωτερικές πληροφορίες μετά από την ολοκλήρωση της μελέτης (Heijungs και λοιποί.>.>, 1992).

Για τον καθορισμό της επιδίωξης και του αντικείμενου, ο Lindfors *et Al* (1995) αναφέρει τα ακόλουθα ζητήματα υποβολής εκθέσεων:

- Τα μέλη της επιτροπής αναφοράς ή της ομάδας αναθεώρησης θα αναφερθούν, εάν είναι σχετικά.
 - Μια σύντομη περίληψη των συζητήσεων θα δοθεί στην επιτροπή αναφοράς, με την εστίαση στις συγκρουόμενες απόψεις, ή μια έκθεση από τον κριτικό (κριτικούς) σχετικά με την κρίσιμη αναθεώρηση, την ενδιαφερόμενη αναθεώρηση συμβαλλόμενων μερών, ή την επικύρωση, ή μια δήλωση ότι μια εξωτερική επικύρωση ή μια επεξεργασμένη αναθεώρηση δεν έχει πραγματοποιηθεί, συμπεριλαμβανομένης μιας αιτιολόγησης αυτής της απόφασης (π.χ. από τα ενδιαφερόμενα μέλη που έχουν εμπλακεί με τη συμπεριφορά της μελέτης).
 - Πρέπει να δηλωθεί ο Επίτροπος της μελέτης.
 - Μια παρουσίαση των επαγγελματιών, συμπεριλαμβανομένου του υποβάθρου τους, θα δοθεί.
 - Ο σκοπός σαφώς πρέπει να δηλωθεί, από την άποψη των λόγων που υπάρχουν για την πραγματοποίηση της ΑΚΖ.
 - Πρέπει να γίνει μια σαφής δήλωση των αποφάσεων που προορίζονται για να βασιστούν τα συμπεράσματα.
 - Πρέπει να γίνει μια δήλωση στους προοριζόμενο χρήστες ή το ακροατήριο.
 - Η κύρια λειτουργία (λειτουργίες) των χρηστών (π.χ. προστασία ή/και χρωματισμός για τα χρώματα) που αποτελεί τη βάση για την ΑΚΖ θα καθοριστεί σαφώς και θα αναφερθεί.
 - Οποιαδήποτε απόκλιση από τα αρχικά σχέδια μπορεί να αναφερθεί.
 - Οποιοδήποτε άλλοι περιορισμοί ή εισαχθείσες υποθέσεις σχετικές με τα αποτελέσματα της μελέτης πρέπει να αναφερθούν.
- Σ' αυτήν την αναφορά, SETAC Europe Case studies Working Group (Meier και λοιποί.>.>, 1997) δίνει τις ακόλουθες (ελάχιστες) αναφερόμενες οδηγίες για το στάδιο της επιδίωξης και του αντικείμενου της:

Πληροφορίες γενικής μελέτης

Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων-Χριστοφής Ι. Κορωναίος

Πρέπει να περιληφθεί όσο το δυνατόν περισσότερη λεπτομέρεια, δηλ. συντάκτες, συνεταιρισμοί των συντακτών, σώμα ανάθεσης, αρμόδιο πρόσωπο στο σώμα ανάθεσης, διαθεσιμότητα, κ.λπ.

2.1.2. Αντικείμενο

Το αντικείμενο μιας μελέτης καθορίζει το σύστημα, τα όρια, τις απαιτήσεις δεδομένων, τις υποθέσεις, και τους περιορισμούς. Πρέπει να προσδιορίζεται με λεπτομέρεια, ώστε να εξασφαλίζει την επάρκεια και την συμβατότητα του εύρους και του βάθους της ανάλυσης με τον διατυπωμένο σκοπό. Όλα τα όρια, η εκάστοτε μεθοδολογία, οι κατηγορίες δεδομένων, και οι υποθέσεις θα πρέπει να διατυπώνονται ξεκάθαρα και με σαφήνεια. Είναι επίσης απαραίτητο να συμπεριληφθεί εκτός της μέσης τιμής και μια εκτίμηση της μεταβλητότητας των δεδομένων.

Ο Jeroen B. Guine'e (CML) αναφέρει ότι με σεβασμό στα κύρια χαρακτηριστικά της A.K.Z. πρέπει να καθορίζονται και τα εξής:

- **χρόνος:** η επιθυμητή χρονική περίοδος (π.χ. εντός των τελευταίων πέντε χρόνων) των δεδομένων και η ελάχιστη χρονική διάρκεια στην οποία θα συγκεντρωθούν τα δεδομένα (π.χ. ένας χρόνος)

- **γεωγραφική έκταση:** η γεωγραφική περιοχή από την οποία τα δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν για την συγκεκριμένη μελέτη ικανοποιώντας πάντα τον σκοπό της (π.χ. τοπική, ηπειρωτική, εθνική, παγκόσμια).

- **τεχνολογία:** η συγκεκριμένη τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την διεξαγωγή της μελέτης (π.χ. καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία κ.λ.π.).

- **αρχικά όρια του συστήματος**

- **περιβαλλοντικές παρεμβάσεις και κατηγορίες επιπτώσεων:** η επιλογή των δεδομένων εισόδου και εξόδου θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τον σκοπό της μελέτης καθώς και οι ιδιαίτερες κατηγορίες επιπτώσεων θα πρέπει να είναι λεπτομερείς ικανοποιώντας και πάλι τον σκοπό της μελέτης. Δηλαδή η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων θα πρέπει να αντικατοπτρίζει μια κατανοητή διαμόρφωση από περιβαλλοντικά θέματα σχετικά με το σύστημα που μελετάται, παίρνοντας πάντα υπόψη το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης.

- **τρόπος ανάλυσης:** ο συγκεκριμένος τρόπος στον οποίο οι μέθοδοι καθοδηγούνται για να απαντήσουν σε συγκεκριμένα ερωτήματα (π.χ. ένα συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί επιστημονικά, ποιοτικά, δυναμικά κ.λ.π.).

- **επίπεδο περιπλοκής:** διατύπωση για το αν θα διεξαχθεί απλοποιημένη A.K.Z. ή λεπτομερής.

Στον καθορισμό του αντικειμένου μιας μελέτης AKZ, τα ακόλουθα στοιχεία θα εξεταστούν και θα περιγραφούν σαφώς:

- η λειτουργία του συστήματος
- η λειτουργική μονάδα
- το σύστημα που μελετάται
- τα όρια συστημάτων
- διαδικασίες κατανομής
- οι τύποι των επιπτώσεων και η μεθοδολογία της εκτίμησης των επιπτώσεων και ακολούθως η ερμηνεία που θα χρησιμοποιηθεί
- απαιτήσεις στοιχείων
- υποθέσεις
- περιορισμοί
- οι αρχικές ποιοτικές απαιτήσεις στοιχείων
- ο τύπος κριτικής αναθεώρησης, ενδεχομένως, και
- ο τύπος και το σχήμα της έκθεσης που απαιτείται για τη μελέτη.

Το πεδίο πρέπει να καθοριστεί αρκετά καλά για να εξασφαλίσει ότι το εύρος, το βάθος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατά και επαρκή για να δικαιολογήσουν πλήρως το διατυπωμένο στόχο. Η AKZ είναι μια επαναληπτική τεχνική. Επομένως, το πεδίο της μελέτης

μπορεί να πρέπει να τροποποιηθεί καθώς η μελέτη είναι διευθυμένη όπως για κάποιες πρόσθετες πληροφορίες που συλλέγονται.

Ο καθορισμός πεδίου είναι ένα σχετικά νέο βήμα που δεν έχει λάβει ακόμα πολλή προσοχή σε άλλη βιβλιογραφία ΑΚΖ. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που διακρίνονται ως μέρος του ορισμού του αντικειμένου κατά ISO 14040 και 14041, προτείνουμε δύο κύρια στοιχεία του αντικειμένου της μελέτης:

Καθορισμός των *κύριων χαρακτηριστικών* μιας προοριζόμενης μελέτης ΑΚΖ: χρονική, γεωγραφική και τεχνολογική κάλυψη, κάλυψη των οικονομικών διαδικασιών, κάλυψη των περιβαλλοντικών επεμβάσεων και κατηγοριών επιπτώσεων, τρόπος ανάλυσης και επίπεδο εκλέπτυνσης της μελέτης.

Υποβολή έκθεσης όλων των κύριων επιλογών που γίνονται στη λειτουργία, λειτουργική μονάδα, εναλλακτικές λύσεις και αναφορικές ροές και στην απογραφή δεδομένων, στην εκτίμηση επιπτώσεων και στην εκτίμηση βελτιώσεων.

Αυτά τα δύο στοιχεία καλύπτουν μαζί όλα τα ζητήματα του ISO που αναφέρονται παραπάνω.

2.1.3. Λειτουργία, Λειτουργική μονάδα, Συμπληρωματικές ροές.

Στον καθορισμό του αντικειμένου μιας μελέτης ΑΚΖ, πρέπει να γίνει μια σαφής δήλωση για την προδιαγραφή των λειτουργιών (χαρακτηριστικά απόδοσης) του προϊόντος.

Η λειτουργική μονάδα καθορίζει τον προσδιορισμό της ποσότητας αυτών των προσδιορισμένων λειτουργιών. Η λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι σύμφωνη με το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης.

Ένας από τους αρχικούς σκοπούς μιας λειτουργικής μονάδας είναι να παρασχεθεί μια αναφορά στην οποία τα δεδομένα εισαγωγής και εξόδου να μπορούν να ομαλοποιηθούν (υπό μια μαθηματική έννοια). Επομένως η λειτουργική μονάδα πρέπει να καθοριστεί σαφώς και να είναι μετρήσιμη.

Καθορίζοντας τη λειτουργική μονάδα, το ποσό προϊόντος, που είναι απαραίτητο για να εκπληρώσει τη λειτουργία, πρέπει να είναι ποσολογημένο. Το αποτέλεσμα αυτού του προσδιορισμού της ποσότητας είναι η ροή αναφοράς.

Η ροή αναφοράς χρησιμοποιείται έπειτα για να υπολογίσει την εισαγωγή και τα αποτελέσματα του συστήματος. Συγκρίσεις μεταξύ των συστημάτων θα γίνουν βάσει της ίδιας λειτουργίας, που ποσολογείται από την ίδια λειτουργική μονάδα στη μορφή των ροών αναφοράς τους.

Εάν πρόσθετες λειτουργίες οποιωνδήποτε συστημάτων δεν λαμβάνονται υπόψη στη σύγκριση των λειτουργικών μονάδων, τότε αυτές οι παραλείψεις πρέπει να τεκμηριωθούν. Παραδείγματος χάριν, τα συστήματα Α και Β εκτελούν τις λειτουργίες X και Y οι οποίες αντιπροσωπεύονται από την επιλεγμένη λειτουργική μονάδα, αλλά το σύστημα Α εκτελεί επίσης τη λειτουργία Z που δεν αντιπροσωπεύεται από τη λειτουργική μονάδα. Τότε πρέπει να τεκμηριωθεί ότι η λειτουργία Z αποκλείεται από αυτή τη λειτουργική μονάδα. Σαν εναλλακτική λύση, τα συστήματα που συνδέονται με την παράδοση της λειτουργίας Z μπορούν να προστεθούν στα όρια του συστήματος Β για να καταστήσει τα συστήματα πιο συγκρίσιμα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, οι διαδικασίες που επιλέγονται πρέπει να τεκμηριωθούν και να δικαιολογηθούν.

Σ' αυτό το στάδιο λοιπόν ορίζονται η λειτουργία, η λειτουργική μονάδα και οι συμπληρωματικές ροές. Η λειτουργική μονάδα περιγράφει την κύρια λειτουργία (ή λειτουργίες) η οποία πραγματοποιείται και υποδεικνύει κατά πόσο αυτή η λειτουργία θα θεωρηθεί στην επιδιωκόμενη μελέτη της Α.Κ.Ζ. Θα χρησιμοποιηθεί επίσης σαν βάση για την εκλογή ενός ή περισσότερων εναλλακτικών συστημάτων τα οποία θα παρέχουν αυτές τις λειτουργίες. Πιο λεπτομερώς ακολουθούν τα παρακάτω στάδια:

A) αναγνώριση των λειτουργιών:

Αναγνωρίζεται ο σκοπός που εξυπηρετεί το σύστημα, δηλαδή η λειτουργία ή λειτουργίες.

Οι λειτουργίες συσχετίζονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν (π.χ. συσκευασίας) ή με τις ιδιότητες διαδικασίας (π.χ. μεταφορά), κάθε ένα από τα οποία μπορεί:

- να εκπληρώσει τις συγκεκριμένες ανάγκες και με αυτόν τον τρόπο να έχουν μια αξία χρήσης, η οποία δημιουργεί χαρακτηριστικά οικονομική αξία στον προμηθευτή του προϊόντος,
- έχει επιπτώσεις στη λειτουργία άλλων οικονομικών συστημάτων (π.χ. η ταπετσαρία μπορεί να έχει το μια- μικρό - μόνωση επίδραση, έχοντας επιπτώσεις κατά συνέπεια στις απαιτήσεις θερμότητας του κτηρίου).

B) επιλογή της λειτουργίας ή των λειτουργιών:

Επιλέγεται μια ή περισσότερες λειτουργίες ως σχετικές λειτουργίες για σύγκριση. Αν παραπάνω από μια λειτουργία είναι σχετική τότε ακολουθούνται συγκεκριμένες επιλεκτικές κινήσεις.

Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος θα καθορίσει ποιες εναλλακτικές λύσεις συστημάτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και ποιες όχι στη συγκεκριμένη μελέτη ΑΚΖ. Σε μια συγκριτική μελέτη, η ιδιαίτερη προσοχή επομένως θα πρέπει να ληφθεί για να εξασφαλίσει ότι οποιεσδήποτε πρόσθετες λειτουργίες κάθε εναλλακτικής λύσης προσδιορίζονται κατάλληλα και περιγράφονται, και ότι όλες οι σχετικές λειτουργίες λαμβάνονται υπόψη.

Εάν ένα σύστημα εκπληρώνει μόνο μια συγκεκριμένη λειτουργία, η επιλογή του βήματος λειτουργίας (εσ) θα είναι αρκετά απλή.

Εντούτοις, τα συστήματα εκπληρώνουν συχνά περισσότερες από μια λειτουργίες. Παραδείγματος χάριν, η αρχική λειτουργία των σαμπουάν είναι να καθαρίσει την τρίχα αλλά άλλες σημαντικές λειτουργίες μπορεί να περιλαμβάνουν την αισθητική (φωτεινότητα τρίχας) ή την υγιεινή (πιτυρίαση), ή επικοινωνιακές λειτουργίες (απλώς μυρίστε πώς έπλυνα την τρίχα μου για σας). Ο Udo de Haes *et Al* (1996) διέκρινε δύο είδη πολυσύνθεσης :

το σύστημα προϊόντων καθορίζεται από την αρχική λειτουργία του (π.χ. πλύση), και όλες τις άλλες λειτουργίες του προϊόντος είναι προαιρετικές (π.χ. λειτουργία αντι-πιτυρίασης)

το σύστημα προϊόντων είναι πραγματικά πολυσύνθετο, ακόμη και με το απλούστερο σχέδιο "μην όντας σε θέση να μειωθεί σε μια λειτουργία (π.χ. προϊόντα τρόφιμων).

Βασικά, πρότειναν δύο εναλλακτικές λύσεις σε αυτό το πρόβλημα πολυσύνθεσης:

α) μονολειτουργική προσέγγιση: μόνο η αρχική λειτουργία του συστήματος εξετάζεται, με την ανάλυση να περιορίζεται σε (έναν ή περισσότερα) προϊόντα που εκπληρώνουν αυτήν την λειτουργία, ανεξάρτητα από οποιεσδήποτε άλλες οποιεσδήποτε λειτουργίες που μπορούν αυτές να εκπληρώσουν.

β) πολυσύνθετη προσέγγιση: οι αρχικές καθώς επίσης και άλλες λειτουργίες του συστήματος που αναλύεται είναι εξεταζόμενες (π.χ. κανονικά σαμπουάν, σαμπουάν αντι-πιτυρίασης κ.λπ.).

Το συμπέρασμα εδώ είναι ότι το πρόβλημα πολυσύνθεσης μπορεί να λυθεί με διάφορους τρόπους:

1. Λάβετε υπόψη την αρχική λειτουργία μόνο και παραμελήστε όλες τις άλλες λειτουργίες
2. Λάβετε υπόψη την αρχική λειτουργία και όλες, ή έναν επιλεγμένο αριθμό πρόσθετων λειτουργιών
3. Κατανομή μεταξύ της αρχικής λειτουργίας και των πρόσθετων λειτουργιών που δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση.

Γ) ορισμός της λειτουργικής μονάδας:

Εδώ οι σχετικές λειτουργίες ποσοτικοποιούνται στην λειτουργική μονάδα. Η λειτουργική μονάδα αποτελεί ένα θεμελιώδες βήμα για την αποφυγή ασαφειών κατά τη διατύπωση του σκοπού και για να ξεκαθαριστεί η βάση του αντικειμένου. Είναι ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη, μετρήσιμη και σχετική με τα δεδομένα εισόδου και εξόδου. Παραδείγματα λειτουργικών μονάδων είναι η "μονάδα επιφάνειας μιας περιοχής που καλύπτεται με μπογιά σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα", η "συσκευασία που χρησιμοποιείται για τη διάθεση μιας δεδομένης ποσότητας ενός αναψυκτικού" κ.λ.π.

Στη συνέχεια, οι σχετικές λειτουργίες ποσολογούνται στη λειτουργική μονάδα. Υπάρχουν δύο βασικά ζητήματα εδώ: μονάδα και ποσότητα. Ο καθορισμός μονάδων συσχετίζεται φυσικά με τη λειτουργία ή το στόχο της μελέτης. Ορίζοντας τη λειτουργική μονάδα

από την άποψη της μάζας, της μάζας ανά περιοχή επιφάνειας ή της μάζας ανά περιοχή επιφάνειας για τα έτη X θα δώσει διαφορετικές μονάδες: αντίστοιχα kg , kg/m^2 και $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{έτος}$. Οποιοσδήποτε συνδυασμός μονάδων είναι στην πραγματικότητα δυνατός, ανάλογα με τη λειτουργία που καθορίζεται. Παρακάτω αναφέρονται κάποια παραδείγματα:

- Χρωματισμός τοίχων (ISO/TR 14049, 1998)

Για το χρωματισμό τοίχων, η λειτουργική μονάδα θα πρέπει χαρακτηριστικά να διευκρινίσει την περιοχή που καλύπτεται (π.χ. 20m^2), ο τύπος του τοίχου (ειδικά σχετικά με την απορρόφηση και τις δεσμευτικές ιδιότητές του), η δυνατότητα του χρώματος να κρύψει την ελλοχεύουσα επιφάνεια (π.χ. αδιαφάνεια 98%), και η χρήσιμη ζωή του (π.χ. 5 έτη).

Στην περίπτωση των πολυσύνθετων μονάδων, οι διαφορετικές ποσότητες συνδέονται μερικές φορές, π.χ. μια κάλυψη τοίχων με υλικό μόνωσης μπορεί να είναι διαθέσιμη με μια προ-χρωματισμένη επιφάνεια, που καθιστά το χρωματισμό περιττό,

παρέχοντας κατά συνέπεια και τη μόνωση και το χρωματισμό. Τότε η λειτουργική μονάδα είναι: "20² κάλυψη τοίχων με μια θερμική αντίσταση $2 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, με μια χρωματισμένη επιφάνεια αδιαφάνειας 98%, χωρίς απαίτηση οποιουδήποτε άλλου χρωματισμού για 5 έτη".

- Σίτος (Wegener Sleeswijk et Al, 1996)

Μια ενδιαφέρουσα συζήτηση των μονάδων σε σχέση με το στόχο της μελέτης μπορεί να βρεθεί σε μια έκθεση μεθοδολογίας για γεωργικές AKZ (Wegener Sleeswijk και λοιποί, 1996). Εάν δύο μέθοδοι καλλιέργειας σίτου συγκρίνονται για να αξιολογηθεί ποια είναι περιβαλλοντικά η υγιέστερη, η λειτουργική μονάδα να εκφραστεί ως kg συγκομισμένος σίτου. .Εντούτοις, εάν ο στόχος της σύγκρισης είναι να καθοριστεί η πιο περιβαλλοντικά υγιής μορφή γεωργίας για μια ορισμένη γεωγραφική περιοχή, μια καλύτερη λειτουργική μονάδα μπορεί να είναι ha.yr καλλιέργεια σίτου. Στην τελευταία περίπτωση που ο στόχος δεν είναι να επιτευχθεί η αποδοτικότερη μορφή παραγωγής αλλά η πιο περιβαλλοντικά υγιής μορφή του γεωργικού χώματος ετησίως σε μια δεδομένη περιοχή. Αυτοί οι δύο διαφορετικοί στόχοι οδηγούν στις διαφορετικές μονάδες.

- Τρόφιμα LCAs (Wegener Sleeswijk et al., 1996)

Οι Wegener Sleeswijk et Al (1996) δίνει μια πρακτική πρόταση σχετικά με το πώς να εξετάσει το πρόβλημα πολυσύνθεσης στον καθορισμό μιας λειτουργικής μονάδας στα τρόφιμα. Δηλώνουν ότι τα τρόφιμα εκπληρώνουν συχνά περισσότερες της μιας λειτουργίας. Είναι συχνά ταυτόχρονα μια πηγή διατροφής και μια πηγή απόλαυσης. Ιδρύοντας τη λειτουργική μονάδα ενός προϊόντος με περισσότερες από μια λειτουργίες, η πραγματική αντικατάσταση πρέπει να διαμορφώσει τη βάση για τον καθορισμό "αφηρημένης πολυσύνθεσης": μια λειτουργική μονάδα μιας εναλλακτικής λύσης προϊόντων πρέπει να αποτελέσει ένα πραγματικό υποκατάστατο μιας λειτουργικής μονάδας μιας άλλης εναλλακτικής λύσης προϊόντων. Σε μια σύγκριση, για παράδειγμα, του λουκάνικου schnitzel και της μπριζόλας, είναι σημαντικό να ανακαλυφθεί πόσο λουκάνικο schnitzel ένας καταναλωτής θα έτρωγε στην πράξη

σαν υποκατάστατο μιας δεδομένης ποσότητας μπριζόλας. Εάν, παραδείγματος χάριν, βρίσκεται στην πράξη ότι μια μέση μερίδα μπριζόλας ζυγίζει 100 γραμμάρια και μια μέση μερίδα του λουκάνικου schnitzel 150 γραμμάρια, η προφανής προσέγγιση θα ήταν να συγκρίνουν μια μερίδα της μπριζόλας (100 γραμμάρια) με μια μερίδα του λουκάνικου schnitzel (150 γραμμάρια). Εάν στην πράξη η αγορά κρέατος είναι βασισμένη προ πάντων στη μάζα, εντούτοις, μια σύγκριση 100 γραμμαρίων μπριζόλας με 100 γραμμάρια λουκάνικου schnitzel είναι η πιο κατάλληλη επιλογή.

Η ποσότητα αναφέρεται στο ποσό λειτουργίας ή υπηρεσίας που αναλύεται. Βασικά, οποιαδήποτε αυθαίρετη ποσότητα μπορεί να λαμβάνεται, δεδομένου ότι η έννοιά της είναι μόνο σχετική σε μια συγκριτική AKZ.

Δ) ορισμός των συμπληρωματικών ροών:

Εδώ ορίζεται η ποσότητα του προϊόντος η οποία είναι απαραίτητη για να πραγματοποιηθεί η λειτουργία (π.χ. αν η λειτουργική μονάδα είναι η προαναφερθείσα μονάδα

επιφάνειας που καλύπτεται με μπογιά, η συμπληρωματική μονάδα θα είναι η ποσότητα των λίτρων μπογιάς που θα χρειαστούν για να πραγματοποιηθεί το βάψιμο).

Η απόδοση συστημάτων ποσολογείται με τη βοήθεια μιας αποκαλούμενης ροής αναφοράς ή αλλιώς συμπληρωματικής ροής, δηλ. "ένα μέτρο των χρειαζόμενων αποτελεσμάτων από τις διαδικασίες σε ένα δεδομένο σύστημα προϊόντων που απαιτείται για να εκπληρώσει τη λειτουργία που εκφράζεται από τη λειτουργική μονάδα" (ISO 14041 ..1998). Η ροή αναφοράς είναι η ροή σύνδεσης μεταξύ της φυσικής παραγωγής από ένα σύστημα και το ποσό λειτουργίας που παραδίδεται από εκείνο το σύστημα όπως ποσολογείται στη λειτουργική μονάδα. Είναι η ροή στην οποία ολόκληρη η AKZ είναι βασισμένη, παραδείγματος χάριν το ποσό του απαιτούμενου απορρυπαντικού (= ροή αναφοράς) για το πλύσιμο ενός ορισμένου αριθμού ενδυμάτων οπτικώς λευκών (= λειτουργική μονάδα).

Οι Lindfors *et al* (1998) υποστηρίζουν ότι "ποιοτικά πρότυπα απόδοσης (ενδεχομένως), π.χ. ένα ορισμένο επίπεδο προστασίας διάβρωσης που παρέχεται από ένα βιομηχανικό σύστημα χρωμάτων "πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ποσολόγηση της ροής αναφοράς. Αυτό υποστηρίζεται από την εργασία Udo de Haes *et al* (1996). Σύμφωνα με την πρόταση από Udo de Haes και λοιποί, τρεις τύποι αποδόσεων συστημάτων μπορούν να διακριθούν:

α) **Η τυποποιημένη απόδοση** αναφέρεται σε γνωστά πρότυπα (εθνικά, π.χ. DIN, ή διεθνής, π.χ. CEN), περιγράφοντας μια τυποποιημένη δοκιμή εφαρμόσιμη σε όλα τα ισοδύναμα προϊόντα: παραδείγματος χάριν, το ποσό

απορρυπαντικού που απαιτείται για να πλύνει σε έναν ορισμένο βαθμό καθαριότητας μια ορισμένη ποσότητα ενδυμάτων με έναν ορισμένο βαθμό soiledness στη θερμοκρασία X, στους βαθμούς Y σκληρότητας, κ.λπ.

β) **Η συνιστώμενη απόδοση** αναφέρεται στις συστάσεις των κατασκευαστών σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας προϊόντων: παραδείγματος χάριν, η καθαριστική δόση που υποδεικνύεται στη συσκευασία.

γ) **Η πραγματική απόδοση** αναφέρεται στην πραγματική απόδοση που θα εξαρτηθεί συχνά από τη συμπεριφορά του καταναλωτή, π.χ. η μέση καθαριστική δόση που χρησιμοποιείται από τον καταναλωτή βασισμένη στις καταναλωτικές μελέτες.

Αυτή η πραγματική απόδοση μπορεί να ληφθεί ως μέσος όρος ή ως σειρά, η οποία μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας στα τελικά αποτελέσματα της AKZ. Τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν τις περιβαλλοντικές συμβουλές στους καταναλωτές, κ.λπ.

Διάφορα παραδείγματα των ροών αναφοράς περιγράφονται παρακάτω.

Χρώμα

Οι ροές αναφοράς εκφράζονται χαρακτηριστικά ως αριθμός λίτρων που απαιτούνται για την κάλυψη της περιοχής επιφάνειας όπως καθορίζονται από τη λειτουργική μονάδα. Παραδείγματος χάριν, σε μια τυποποιημένη δοκιμή, το χρώμα A μπορεί να καθοριστεί για να καλύψει 8,7 m² ανά λίτρο, απαιτώντας κατά συνέπεια 2,3 λίτρα για να καλύψει τα 20 m² της λειτουργικής μονάδας, παρέχοντας τις συνθήκες της τυποποιημένης δοκιμής είναι παρόμοιες με εκείνες που απαιτούνται από τη λειτουργική μονάδα (όσον αφορά τον τύπο επιφάνειας και την αδιαφάνεια).

Στεγνωτήρας χεριών

Σε μια σύγκριση των χάρτινων πετσετών εναντίον ενός ηλεκτρικού στεγνωτήρα χεριών, μπορεί να είναι άσχετο να χρησιμοποιηθεί τυποποιημένη δοκιμή βασισμένη στις τεχνικές ιδιότητες του χαρτιού όπως η μάζα, η δύναμη απορρόφησης και η εκτατή δύναμη, εάν το πραγματικό βάρος του χαρτιού που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το σχέδιο διανομών.

Ένα πιο κατάλληλο μέτρο κατόπιν θα μπορούσε να είναι στοιχεία που συλλέγονται με το ζύγισμα του αποθέματος χαρτιού στην έναρξη και στο τέλος μιας κατάλληλης περιόδου στην οποία ο αριθμός των στεγνωτήρων χεριών καθορίζεται από την ηλεκτρονική επιτήρηση των πραγματικών λεκανών πλυσίματος που βρίσκονται σε σχετικά ιδρύματα. Ομοίως, τεχνικές προδιαγραφές ενός ηλεκτρικού στεγνωτήρα χεριών, όπως ο όγκος του αέρα και η θερμοκρασία του, μπορεί να είναι άσχετες ως βάση για τη λειτουργία αναφοράς, εάν ο πραγματικός τρέχοντας

χρόνος της συσκευής καθορίζεται από άλλους παράγοντες, π.χ. ένα ενσωματωμένο χρονόμετρο. Κατόπιν, όλα αυτά που απαιτούνται είναι ο τρέχοντας χρόνος και η ηλεκτρική ικανότητα του εξοπλισμού.

Ψυγεία

Για τα μακρόβια προϊόντα, όπως τα ψυγεία με τη διάρκεια ζωής 10 ή 20 ετών, η ανάπτυξη τεχνολογίας μπορεί να είναι ένας παράγοντας που δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψη. Ένα ψυγείο με μια διάρκεια ζωής 20 ετών δεν μπορεί απλά να είναι έναντι δύο διαδοχικών, παρόντων ψυγείων με μια διάρκεια ζωής 10 ετών. Τα διαθέσιμα ψυγεία 10 ετών από τώρα είναι σίγουρο να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα από τα τρέχοντα πρότυπα. Η ενεργειακή αποδοτικότητα του δεύτερου ψυγείου στα 10+10 έτη επιλογής πρέπει να καθιερωθεί με την προβολή των τάσεων, ενώ αυτό των 20 ετών επιλογής είναι καθορισμένο.

Μια σύγκριση των ψυγείων μπορεί να βασιστεί στον εσωτερικό ή/και εξωτερικό όγκο τους. Αν και η αρχική λειτουργία συσχετίζεται προφανώς με τον εσωτερικό όγκο, ο εξωτερικός όγκος μπορεί ένας καθοριστικός παράγοντας εάν το ψυγείο πρόκειται να ταιριαστεί σε μια υπάρχουσα κουζίνα. Εάν ένας ίδιος εξωτερικός όγκος απαιτείται, ο εσωτερικός όγκος μπορεί να διαφέρει λόγω των διαφορών στο πάχος μόνωσης. Αυτό μπορεί μόνο να ρυθμιστεί υποθέτοντας διαφορές στη συμπεριφορά χρηστών (π.χ. συχνότερα ταξίδια αγορών, αποθήκευση ορισμένων στοιχείων έξω από το ψυγείο, προσθέτοντας άλλο, μικρότερο ψυγείο αλλού στο σπίτι). Κάθε ένας από αυτούς τις αλλαγές στη συμπεριφορά θα περιλάβουν τις αλλαγές στις διαφορετικές διαδικασίες, οι οποίες θα πρέπει έπειτα να περιληφθούν στη μελέτη. Εάν, αφ' ετέρου, ένας ίδιος εσωτερικός όγκος απαιτείται, μια αλλαγή στο πάχος μόνωσης μπορεί να απαιτεί ρυθμίσεις των φυσικών περιχώρων του ψυγείου (τα άλλα έπιπλα κουζινών). Εάν και ο εσωτερικός και ο εξωτερικός όγκος πρέπει να είναι ίσος, δεν υπάρχει προφανώς καμία ρύθμιση εφικτή να προσαρμόσει την αλλαγή στο πάχος μόνωσης. Όπως αυτό καταδεικνύει, η επιλογή των απαραίτητων λειτουργιών καθορίζει επίσης τις πιθανές εναλλακτικές λύσεις που περιλαμβάνονται στη μελέτη.

Συσκευασία ποτών

Τα μονόδρομα μπουκάλια 100.000 μισό-λίτρων μπορούν τεχνικά να εκπληρώσουν την ίδια λειτουργία της προστασίας 50.000 λίτρων ποτού όπως 125.000 0,4-λίτρων ως επιστρεπτέα μπουκάλια με ένα ποσοστό επαναχρησιμοποίησης 90%. Για τον καταναλωτή, εντούτοις, η διαφορά στον όγκο μπορεί να είναι όμοια. Εάν ο καταναλωτής παίρνει "ένα μπουκάλι για να είναι ένα μπουκάλι", η συνολική κατανάλωση του ποτού θα μειωθεί όταν εισάγονται τα επιστρεπτέα μπουκάλια. Σε αυτήν την περίπτωση, η συσκευασία δεν μπορεί να είναι μελετημένη ανεξάρτητα του περιεχομένου της. Σε αυτό το παράδειγμα πρέπει επίσης να υπάρξει επανάληψη πίσω στο στάδιο "η επιλογή της σχετικής λειτουργίας (ες)", ή, εναλλακτικά, ο στόχος της μελέτης πρέπει να επαναπροσδιοριστεί, επιτρέποντας για μια σύγκριση του ποτού συν τη συσκευασία λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στην κατανάλωση.

Στην περίπτωση μιας πολυσύνθετης μονάδας, οι ροές αναφοράς πρέπει να ποσολογηθούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εκπληρώνουν όλες τις λειτουργίες που περιλαμβάνονται στη λειτουργική μονάδα. Αυτό μπορεί να υπονοήσει ότι, αν και μια από τις λειτουργίες μπορεί ήδη να εκπληρωθεί χρησιμοποιώντας τα μικρότερα ποσά της ροής αναφοράς, το ποσό ροής αναφοράς πρέπει να είναι περαιτέρω αυξανόμενο για να εκπληρώσει τις άλλες λειτουργίες. Εάν αυτό δεν είναι αποδεκτό, στην ανάθεση ή στα συμβαλλόμενα μέρη, παραδείγματος χάριν, το πολυσύνθετο πρόβλημα πρέπει να λυθεί από την κατανομή (συμπεριλαμβανομένου του συστήματος επέκτασης) παρά με τη συμπίεση των πρόσθετων λειτουργιών στη λειτουργική μονάδα.

Με βάση τον ανωτέρω συλλογισμό ερχόμαστε στους ακόλουθους ορισμούς για τη λειτουργική μονάδα και τη ροή αναφοράς (που προσαρμόζονται από τον ISO 14040):

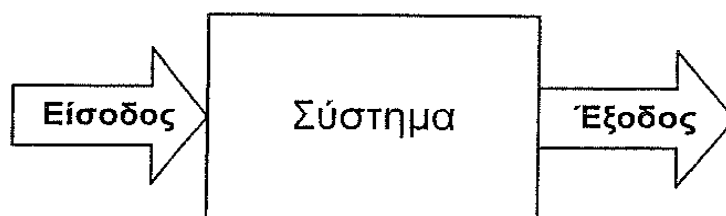
Λειτουργική μονάδα: ποσολογημένη υπηρεσία που παρέχεται από το σύστημα προϊόντων κάτω από τη μελέτη για τη χρήση ως βάση αναφοράς σε μια μελέτη αξιολόγησης των κύκλων ζωής.

- Ροή αναφοράς: ποσολογημένη ροή που συνδέεται γενικά με τη φάση χρήσης ενός συστήματος προϊόντων και αντιπροσωπεύει έναν τρόπο (δηλ. από μια συγκεκριμένη εναλλακτική λύση προϊόντων) της λήψης της λειτουργικής μονάδας.
- Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους προσαρμοσμένους ορισμούς, η συζήτηση σχετικά με την πραγματική, συνιστώμενη και τυποποιημένη απόδοση (και τα σχετικά ζητήματα) είναι ένα ζήτημα που συνδέεται με το στάδιο “συλλογή δεδομένων και συσχετισμός των στοιχείων στη μονάδα των διαδικασιών”, στην απογραφή των δεδομένων.
- Όσον αφορά την υποβολή έκθεσης, Lindfors *et to AI* (1995) απαριθμούνται τα ακόλουθα ζητήματα για τη λειτουργία, λειτουργική μονάδα, εναλλακτικές λύσεις και ροές αναφοράς:
 - Η κύρια λειτουργία (ες) χρηστών που αποτελεί τη βάση για την AKZ θα καθοριστεί σαφώς και θα αναφερθεί.
 - Η λειτουργική μονάδα (ες) του μελετημένου συστήματος (τα) θα περιγράψει κατάλληλα τις υπηρεσίες που παρέχονται και θα είναι σαφώς καθορισμένη και αναφερόμενη.
 - Μια συνοπτική περιγραφή της ομάδας προϊόντων κάτω από τη μελέτη (λειτουργίες) συστήνεται.
 - Οι μελετημένες εναλλακτικές λύσεις προϊόντων ή υπηρεσιών θα περιγραφούν και η επιλογή θα δικαιολογηθεί.
 - Οι σχετικές εναλλακτικές λύσεις που δεν καλύπτονται από τη μελέτη πρέπει να σχολιαστούν επάνω ή να απαριθμηθούν στην έκθεση. Εάν καμία σχετική εναλλακτική λύση δεν υπάρχει, είναι εξίσου σημαντικό να γίνει μια τέτοια δήλωση.
 - Οι Meier *et to AI* (1997) δίνουν την ακόλουθη οδηγία υποβολής εκθέσεων:
 - Η λειτουργική μονάδα του συστήματος κάτω από τη μελέτη πρέπει να καθοριστεί σαφώς και πρέπει να απεικονίσει τη πραγματική λειτουργία του συστήματος με έναν μετρήσιμο και ποσοτικό τρόπο. Η λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι σχετική με το στόχο της μελέτης.

2.1.4. Καθορισμός και οριοθέτηση του συστήματος

Σύμφωνα με την μεθοδολογία της αναλυτικής απογραφής, κάθε προϊόν ή υπηρεσία θα πρέπει να παρουσιάζεται σαν ένα σύστημα. Ως σύστημα ορίζεται ένα σύνολο από διεργασίες που συνδέονται μεταξύ τους υλικά ή ενεργειακά (π.χ. διαδικασία κατασκευής, διαδικασία μεταφοράς, ή διαδικασία εξόρυξης καυσίμων), το οποίο πραγματοποιεί κάποια καθορισμένη λειτουργία. Το σύστημα διαχωρίζεται από το περιβάλλον του, μέσω κάποιων ορίων. Ολόκληρη η περιοχή έξω από τα όρια είναι γνωστή ως το περιβάλλον του συστήματος.

Το περιβάλλον του συστήματος είναι η πηγή όλων των εισερχόμενων στο σύστημα και η καταβόθρα όλων των εξερχόμενων από το σύστημα. Η αναλυτική απογραφή δεδομένων είναι μια ποσοτική περιγραφή όλης της ροής μάζας και ενέργειας δια μέσου των ορίων του συστήματος.

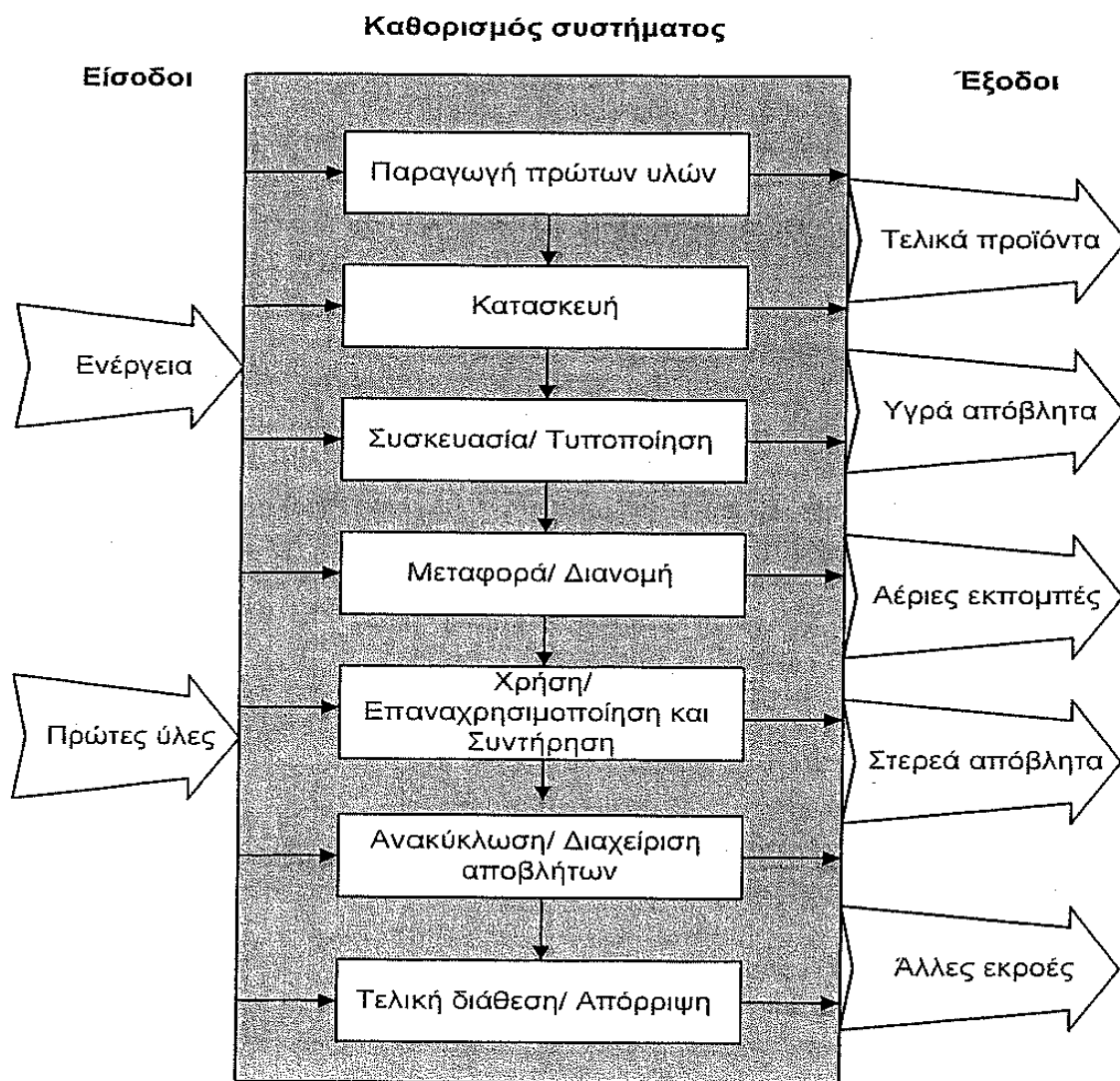


Σχήμα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση ενός απλού συστήματος

Το σύστημα θα πρέπει να καθορίζεται, όχι μόνο με βάση τη λειτουργία του, αλλά και αναφορικά με άλλους σχετικούς παράγοντες όπως πηγές εισερχομένων, τυχόν ιδιαίτερες παρεκβάσεις της πορείας της εσωτερικής διαδικασίας, γεωγραφικές θεωρήσεις, και χρονικά όρια. Οι πηγές των δεδομένων για τους υπολογισμούς της απογραφής πρέπει να συμφωνούν με αυτούς τους παράγοντες.

Είναι σημαντικό να προσδιορίζονται θεμελιώδη βοηθητικά δεδομένα εισόδου για το υπό μελέτη σύστημα. Οι παραδοχές που θα γίνονται επί του προκειμένου, θα πρέπει να είναι ξεκάθαρα διατυπωμένες στην τελική αναφορά της μελέτης ΑΚΖ. Τα βοηθητικά δεδομένα που θα έχουν συλλεχθεί, θα πρέπει να εισέρχονται στο σύστημα εξ αρχής και να καταλογίζονται ως εισοδοί του πρώτου υποσυστήματος (π.χ. της εξόρυξης των ά υλών από το έδαφος). Στις συνολικά εξερχόμενες ροές (από όλα τα υποσυστήματα) θα πρέπει να συνεκτιμώνται αυτές της απόρριψης στο περιβάλλον (π.χ. θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα και η ταφή ή η αποτέφρωση). Τέλος, θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα όλες οι διαδικασίες μεταφοράς.

Για να συλλεχθούν τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα ενός συστήματος, το σύστημα πρέπει να διασπαστεί σε μια αλληλουχία διεργασιών ή υποσυστημάτων. Το κάθε ένα έχει σαν είσοδο την έξοδο μιας διεργασίας που προηγείται. Ο βαθμός της υποδιαίρεσης του συνολικού συστήματος σε επιμέρους διεργασίες καθορίζεται συχνά από την διαθεσιμότητα των δεδομένων και τις απαιτήσεις που τίθενται κατά τον προσδιορισμό του στόχου και της έκτασης της μελέτης ΑΚΖ.



Σχήμα 2.3: Οριοθέτηση του συστήματος - γενικό διάγραμμα ροής διεργασίας

Ένας εύκολος διαχωρισμός του συστήματος σε υποσυστήματα μπορεί να γίνει με βάση τα στάδια του κύκλου ζωής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3). Κάθε στάδιο ή διεργασία μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα υποσύστημα του συνολικού συστήματος. Αντιμετωπίζοντας τα στάδια ως υποσυστήματα, διευκολύνεται η συγκέντρωση των δεδομένων για την αναλυτική απογραφή του όλου συστήματος.

Το σύστημα που περιγράφει τον κύκλο ζωής του προϊόντος είναι ευκολότερο να καθοριστεί εάν η σειρά των λειτουργιών διασπαστεί σε βασικές και δευτερεύουσες γραμμές. Η βασική γραμμή δραστηριοτήτων συμμετέχει άμεσα στην κατασκευή, χρήση και διάθεση του προϊόντος ή του υλικού. Η δευτερεύουσα γραμμή περιλαμβάνει βοηθητικές ύλες ή διεργασίες που συνεισφέρουν στην κατασκευή, ή παράγουν κάτι το οποίο συμμετέχει στη βασική γραμμή δραστηριοτήτων. Κάποιες γραμμές βοηθητικών υλικών ή διεργασιών μπορεί να επεκταθούν πέρα από τη βασική γραμμή. Κατά τον καθορισμό των ορίων του συστήματος, ο αναλυτής πρέπει να αποφασίσει που θα περιοριστεί η ανάλυση και να έχει ξεκαθαρίσει τους λόγους για την απόφασή του αυτή [7]. Τα ακόλουθα ερωτήματα είναι χρήσιμα για την τοποθέτηση και την περιγραφή των ορίων του συστήματος:

- Πρέπει η ανάλυση να καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος; Ένα σύστημα που θεωρητικά περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής θα άρχιζε με τις πηγές πρώτων υλών και ενέργειας που εξάγονται από το έδαφος, και θα τελείωνε με όλα τα υλικά να καταλήγουν πίσω στο έδαφος ή τουλάχιστον, κάπου στο περιβάλλον αλλά όχι σε κάποιο τμήμα του συστήματος. Κάθε οριοθέτηση του συστήματος που διαφέρει από αυτή, εκφράζει μια απόφαση του αναλυτή να το περιορίσει με κάποιο τρόπο. Η κατανόηση των πιθανών συνεπειών, που συνεπάγονται τέτοιες αποφάσεις, είναι σημαντική για την αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της ικανότητας των αποτελεσμάτων της αναλυτικής απογραφής να υπαγορεύσουν με λεπτομέρεια τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του προϊόντος και των περιορισμών στο κόστος, το χρόνο, ή άλλους παράγοντες, τα οποία έρχονται σε αντιπαράθεση.
- Ανάλογα με το στόχο της μελέτης, ίσως είναι δυνατό να αποκλειστούν κάποια στάδια ή δραστηριότητες και ωστόσο να καλύπτονται τα θέματα για τα οποία πραγματοποιείται η αναλυτική απογραφή. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι δυνατό να παραλείπεται η παραγωγή πρώτων υλών από μια αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής χωρίς αυτό να επηρεάζει τα αποτελέσματα. Ας υποθέσουμε ότι μια εταιρία επιθυμεί να πραγματοποιήσει μια εσωτερική απογραφή δεδομένων του κύκλου ζωής, για να αποτιμήσει τα εναλλακτικά συστήματα ξήρανσης για την παρασκευή μιας τυποποιημένης τροφής. Αν οι τεχνολογίες είναι αδιάφορες ως προς τις πρώτες ύλες τροφοδοσίας, μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι το στάδιο της παραγωγής πρώτων υλών θα είναι πανομοιότυπο για όλες τις περιπτώσεις. Αν η απόφαση αποσκοπεί στην επιλογή του συστήματος ξήρανσης με τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας ή τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, μπορεί να είναι αποδεκτή η ανάλυση ενός τέτοιου περιορισμένου συστήματος. Εντούτοις, με αυτά τα όρια του συστήματος, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ο βαθμός της απόλυτης διαφοράς στην ενέργεια του συνολικού συστήματος ή στην περιβαλλοντική απογραφή του που συνεπάγεται η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος ξήρανσης. Επομένως, δεν θα πρέπει να γίνονται δηλώσεις για το συνολικό σύστημα.
- Ποιά θα είναι η μονάδα χρήσης για το προϊόν ή το υλικό; Πρόκειται η μελέτη να συγκρίνει συστήματα διαφορετικών προϊόντων; Εάν τα προϊόντα χρησιμοποιούνται με διαφορετικούς ρυθμούς, συσκευάζονται σε διαφορετικές ποσότητες, ή προκύπτουν σε διαφορετικά μεγέθη, πώς μπορεί κάποιος να τα συγκρίνει με ακρίβεια; Μπορούν να αναπτυχθούν ρυθμοί ισοδύναμης κατανάλωσης; Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το μερίδιο της αγοράς του προϊόντος για να εκτιμηθεί η ανάλογη επιβάρυνση καθενός προϊόντος σε μια δεδομένη κατηγορία; Πρόκειται η μελέτη να συγκρίνει υπηρεσίες; Είναι οι υπηρεσίες ξεκάθαρα καθορισμένες ώστε οι ροές εισόδου και οι εξόδου να κατανεμηθούν αναλογικά;
- Ποιά βοηθητικά υλικά ή χημικά χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ή την συσκευασία των προϊόντων, ή κατά τη διάρκεια της διεργασίας; Υπάρχει πιθανότητα, αυτά τα βοηθητικά υλικά ή

τα χημικά να συμμετέχουν με περισσότερο από ένα ελάχιστο ποσοστό στην ενέργεια ή τις εκπομπές του συστήματος που πρόκειται να αναλυθεί; Πώς συγκρίνονται ως προς τη βαρύτητα τους με άλλα υλικά και χημικά του συστήματος παραγωγής;

- Υπάρχουν επιπλέον υλικά ή υπηρεσίες που απαιτούνται ώστε μια υπηρεσία να είναι λειτουργικά ισοδύναμη με κάποια άλλη;

Το παράδειγμα ροής της διαδικασίας που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3 αποτελεί ένα παράδειγμα οριοθέτησης συστήματος για μια ανάλυση που διεξάγεται με σκοπό την δημιουργία μιας βάσης πληροφοριών στο σύστημα μιας πλάκας σαπουνιού. Το ζωικό λίπος είναι το βασικό υλικό για την παραγωγή σαπουνιού, και η αρχική πηγή πρώτης ύλης του είναι οι καρποί δημητριακών που χρησιμοποιούνται σαν τροφή των ζώων. Περιλαμβάνεται επίσης η παραγωγή του χαρτιού για τη συσκευασία του σαπουνιού. Η καταστροφή τόσο του σαπουνιού όσο και της συσκευασίας του, κλείνουν τον κύκλο ζωής αυτού του συστήματος. Τα εισερχόμενα στοιχεία θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του γεωργικού μηχανήματος που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια και συγκομιδή των δημητριακών.

Σε μια αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής που γίνεται με στόχο τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για μελλοντική αξιοποίηση ή βελτίωση του προϊόντος, η μονάδα πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ανάλυση μπορεί να είναι σχεδόν οτιδήποτε ανταποκρίνεται με συνέπεια στην παραγωγική διαδικασία. Στο παράδειγμα της πλάκας σαπουνιού, μια δυνατή μονάδα χρήσης (λειτουργική μονάδα) θα μπορούσε να είναι μια μεμονωμένη πλάκα. Εντούτοις, εάν ταυτόχρονα αναλυόταν και η συσκευασία του προϊόντος, θα ήταν σημαντικό για λόγους συνέπειας, να εξεταζόταν η συσκευασία διαφόρων ποσοτήτων όπως ενός τεμαχίου, τριών πακέτων, κλπ.

Στην περίπτωση που η αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής είχε την πρόθεση να αναλύσει εάν το σαπούνι θα έπρεπε να παρασκευαζόταν χρησιμοποιώντας σαν πρώτη ύλη ζωικό ή φυτικό παράγωγο, τα όρια του συστήματος και οι μονάδες της ανάλυσης θα ήταν πιο πολύπλοκα. Πρώτα, το διάγραμμα ροής θα έπρεπε να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει την καλλιέργεια, τη συγκομιδή και τα στάδια επεξεργασίας για τις εναλλακτικές πρώτες ύλες τροφοδοσίας. Κατόπιν, θα έπρεπε να εξεταστεί η απόδοση του τελικού προϊόντος. Μήπως όμως οι διαφορετικές περιπτώσεις καταλήγουν σε ένα σαπούνι που χρησιμοποιείται σε διαφορετικό βαθμό όταν επιλέγεται το ένα ή το άλλο υλικό; εάν συνέβαινε αυτό, μια αυστηρή σύγκριση ανάμεσα σε ισοβαρείς πλάκες δεν θα ήταν κατάλληλη.

Κατά την οριοθέτηση του συστήματος, είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν όλα τα στάδια διεργασίας που επηρεάζουν τα θέματα στα οποία εστιάζεται η ανάλυση. Γενικά, μόνο εφόσον ένα στάδιο είναι ακριβώς το ίδιο από πλευράς διεργασίας, υλικών και ποσότητας σε όλες τις εναλλακτικές περιπτώσεις που εξετάζονται, μπορεί να παραλειφθεί από το σύστημα. Σ' αυτή την περίπτωση, το πλαίσιο σύγκρισης πρέπει να χαρακτηριστεί ως σχετικό επειδή οι τιμές του συνολικού συστήματος δεν περιλαμβάνουν κάποιες συγκεκριμένες συνεισφορές. Αυτός ο κανόνας είναι πιο σημαντικός για απογραφές που χρησιμοποιούνται στο δημόσιο τομέα απ' ότι για λήψεις αποφάσεων εντός κάποιας επιχείρησης. Για παράδειγμα, μια εταιρία που συγκρίνει εναλλακτικές διαδικασίες για την παραγωγή κάποιου πετροχημικού προϊόντος μπορεί να μην χρειάζεται να λάβει υπόψη της τη χρήση και τη διάθεση του προϊόντος εάν η τελική σύνθεση είναι πανομοιότυπη. Η εταιρία μπορεί επίσης να διαπιστώσει ότι κάθε διαδικασία κάνει χρήση των ίδιων υλικών στην ίδια ποσότητα ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Συνεπώς, η εταιρία μπορεί να θεωρήσει ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, δεν έχουν καμία επίπτωση στα αποτελέσματα της μελέτης. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η διαδικασία πλήρωσης φιαλών. Μια εταιρία που ενδιαφέρεται για τη χρήση εναλλακτικών υλικών για τις φιάλες της, διατηρώντας ταυτόχρονα το ίδιο μέγεθος και σχήμα, πιθανόν να μην χρειαστεί να συμπεριλάβει την πλήρωση των φιαλών σαν μέρος του συστήματος απογραφής. Παρόλα αυτά, εάν οι αρχικές φιάλες συγκρίνονταν με κουτιά διαφορετικού μεγέθους και σχήματος, θα έπρεπε να συμπεριληφθεί το στάδιο της πλήρωσης.

Όταν μια αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων, η βάση της σύγκρισης θα πρέπει να είναι η ισοδύναμη χρήση, δηλ.

κάθε σύστημα θα πρέπει να καθορίζεται έτσι ώστε να παρέχεται στον καταναλωτή ένα ίσο ποσό προϊόντος ή μια ισοδύναμη υπηρεσία. Στο παράδειγμα του σαπουνιού, το οποίο υποθέτουμε ότι χρησιμοποιείται για το πλύσιμο των χεριών, εάν γινόταν μια σύγκριση της πλάκας σαπουνιού με το υγρό σαπούνι, η λογική βάση σύγκρισης θα ήταν ένας ίσος αριθμός πλυσιμάτων των χεριών.

Κατά την οριοθέτηση του συστήματος, μπορεί να ληφθούν υπόψη περιορισμοί φυσικών πόρων για την αναλυτική απογραφή κύκλου ζωής, αλλά σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί σχετικά με την επιστημονική βάση της μελέτης. Το επίπεδο ανάλυσης που απαιτείται για τη διεξαγωγή μιας λεπτομερούς απογραφής εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος και την επιδίωξη της μελέτης. Σε ένα μεγάλο σύστημα που περιλαμβάνει διάφορες βιομηχανίες, κάποιες συγκεκριμένες λεπτομέρειες μπορεί να μην επηρεάζουν σημαντικά τη μελέτη. Αυτές οι λεπτομέρειες μπορούν να παραληφθούν χωρίς να επηρεαστεί η ακρίβεια ή η εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Βέβαια αυτό δεν είναι δυνατό όταν η μελέτη εστιάζεται κάπου πολύ συγκεκριμένα, π.χ. ένας κατασκευαστής που συγκρίνει εναλλακτικές διεργασίες ή υλικά για μελάνια που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία, θα ήταν σημαντικό να συμπεριλάβει ακόμα και τα χημικά που χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές ποσότητες.

Στην ΑΚΖ κάθε ροή πρέπει να ακολουθηθεί έως ότου οι οικονομικές εισαγωγές και εξαγωγές της έχουν όλες μεταφραστεί σε περιβαλλοντικές επεμβάσεις. Ο όρος “περιβαλλοντικές επεμβάσεις” αναφέρεται στις ροές που εισέρχονται στο σύστημα (προϊόντων) (φυσικοί πόροι, παραδείγματος χάριν, αλλά και χρήση εδάφους) οι οποίες έχουν προέλθει από το περιβάλλον χωρίς προγενέστερο ανθρώπινο μετασχηματισμό, ή ροές των υλικών που αφήνουν το σύστημα (προϊόντων) που απορρίπτεται στο περιβάλλον χωρίς επόμενο ανθρώπινο μετασχηματισμό.

Οι περιβαλλοντικές επεμβάσεις είναι έτσι ροές που διασχίζουν το όριο μεταξύ της οικονομίας (=σύστημα προϊόντος) και του περιβάλλοντος. Για να δημιουργήσει μια σαφή διάκριση μεταξύ του συστήματος προϊόντων και του περιβάλλοντος και μεταξύ των στοιχειωδών και άλλων ροών, το όριο οικονομία-περιβάλλον πρέπει να είναι ρητά καθορισμένο.

Όποτε όταν ένα σύστημα μελετάται, τα όρια συστημάτων απαιτούνται για να χωρίσουν το σύστημα από τον υπόλοιπο κόσμο. Στην απογραφή δεδομένων τρεις τύποι ορίων μπορούν να διακριθούν (Heijungs και λοιποί., 1992):

1. το όριο μεταξύ του συστήματος προϊόντων και του συστήματος περιβάλλοντος
2. το όριο μεταξύ των διαδικασιών που είναι σχετικές και άσχετες με το σύστημα προϊόντων (διακοπή)
3. το όριο μεταξύ του συστήματος προϊόντων υπό εξέταση και άλλων συστημάτων προϊόντων (κατανομή).

Ο πρώτος τύπος θα συζητηθεί εδώ, ο δεύτερος στο πλαίσιο της αποκοπής και εκτίμησης δεδομένων και ο τρίτος στο πλαίσιο της πολυλειτουργικότητας και κατανομής.

Αν και μερικά όρια του πρώτου τύπου είναι πολύ σαφή, υπάρχουν σημαντικοί τομείς ασάφειας με σεβασμό πάντα στο όριο μεταξύ του προϊόντος και του συστήματος περιβάλλοντος, όπως εμφανίζεται στις περιπτώσεις των περιοχών υλικών οδόστρωσης και γεωργικών εδάφων. Αυτά τα ζητήματα της ασάφειας θα εξεταστούν κατωτέρω. Το όριο συστημάτων μεταξύ του συστήματος προϊόντων και του συστήματος περιβάλλοντος αναφέρεται ρητά μέσα στην οδηγία του 1992:

... μια διάκριση γίνεται μεταξύ των οικονομικών και περιβαλλοντικών διαδικασιών. Δηλώνεται ότι σχεδόν οποιαδήποτε δραστηριότητα που αναλαμβάνει τις δαπάνες είναι μια οικονομική διαδικασία

... στάδια επεξεργασίας που εμφανίζονται μετά από μια ουσία που έχει σημειωθεί στο περιβάλλον (π.χ. ο καθαρισμός από το ύδωρ ποταμών για να παραχθεί το πόσιμο νερό) δεν πρέπει να περιληφθεί στο σύστημα προϊόντων προκαλώντας την εκπομπή

... η υγειονομική ταφή των αποβλήτων πρόκειται να θεωρηθεί οικονομική διαδικασία

... οι διαδικασίες σχετικά με τη γεωργία, τη διαχείριση ζωικού κεφαλαίου, τη δασονομία, κ.λπ. πρόκειται να θεωρηθούν οικονομικές διαδικασίες

στις διαδικασίες που περιλαμβάνουν το προσωπικό, προσοχή να δοθεί στη συμπερίληψη πρόσθετων φυσιολογικών και οικονομικών διαδικασιών (αυξανόμενος μεταβολισμός, κατανάλωση φαγητού και ποτού, ανταλλαγή κ.λπ.).

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τα όρια συστημάτων, έχουμε τις ακόλουθες συστάσεις από Lindfors και λοιποί. (1998):

Τα αρχικά όρια συστημάτων που επιλέγονται σε σχέση με το στόχο και το πεδίο της μελέτης πρέπει να είναι αναφερόμενα.

Τα λεπτομερείς όρια, δηλαδή γεωγραφικά, ο κύκλος ζωής και τα όρια technosphere-βιόσφαιρας, πρέπει να περιγραφούν και να δικαιολογηθούν πλήρως.

Ο SETAC – Europe Case studies Working Group (Meier και λοιποί., 1997) δίνει τις ακόλουθες (ελάχιστες) αναφερόμενες κατευθυντήριες οδηγίες:

Τα συστήματα και τα όρια συστημάτων πρέπει να καθοριστούν σαφώς για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής συστημάτων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των εισαγωγών, που επεξεργάζονται τις διαδρομές, τις χωρικές και χρονικές εκτιμήσεις. Βοηθητικά στοιχεία για το σύστημα προϊόντων πρέπει να καθοριστούν σαφώς. Οι αποκλεισμοί πρέπει να δηλωθούν και να δικαιολογηθούν μαζί με το μια εκτίμηση της σημασίας οποιωνδήποτε αποκλεισμών στην έκβαση της μελέτης.

2.1.5. Διαγράμματα ροής διεργασίας

Σύμφωνα με την EPA, ο καλύτερος τρόπος παρουσίασης των στοιχείων που απαρτίζουν ένα σύστημα είναι η ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής, απεικονίζοντας τον τρόπο διασύνδεσης των υποσυστημάτων. Κατά την παρουσίαση διαγραμμάτων ροής των περισσότερων βιομηχανικών συστημάτων διακρίνονται τρεις βασικές ομάδες διεργασιών: η βασική γραμμή παραγωγής, η παραγωγή βοηθητικών υλών, και οι βιομηχανίες παραγωγής καυσίμου. Η βασική γραμμή παραγωγής συχνά είναι η ευκολότερη να προσδιοριστεί. Παρόλα αυτά, η ανάλυση ακόμη και απλών συστημάτων απαιτεί δεδομένα από ένα μεγάλο πλήθος βιομηχανιών, κάποιες εκ' των οποίων αποκλίνουν από την βασική γραμμή παραγωγής.

Κάθε στάδιο του συστήματος θα πρέπει να απεικονίζεται στο διάγραμμα, περιλαμβάνοντας τα στάδια παραγωγής βοηθητικών εισόδων και εξόδων όπως χημικά και συσκευασίες. Εάν έχει ληφθεί απόφαση αποκλεισμού συγκεκριμένων θεμάτων, θα πρέπει για την διατήρηση της διαφάνειας, το διάγραμμα ροής του συστήματος να ακολουθείται από επεξηγήσεις. Συχνά σε μελέτες που προτίθενται για εξωτερική εφαρμογή, το διάγραμμα ροής του συστήματος ενσωματώνεται σε ένα επίσημο έγγραφο που περιλαμβάνει τον σκοπό, τα όρια και τη συλλογή των δεδομένων (Scope, Boundaries and Data Collection-SBDC document). Το έγγραφο SBDC αποτελεί τη βάση για επανεξετάσεις και άλλες ανασκοπήσεις ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος καθορισμού της μελέτης καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι ορισμοί και οι υποθέσεις θα μεταφραστούν σε δραστηριότητες συλλογής δεδομένων.

Κατάστρωση ενός καταλόγου λίστας απογραφής

Η λίστα απογραφής είναι ένα εργαλείο το οποίο καλύπτει τις περισσότερες περιοχές λήψης αποφάσεων κατά την πραγματοποίηση μιας αναλυτικής απογραφής. Αφού ο σκοπός και τα όρια της αναλυτικής απογραφής έχουν καθοριστεί, μπορεί να συνταχθεί μια λίστα για να καθοδηγήσει τη συλλογή και την επιβεβαίωση των δεδομένων και να καταστήσει δυνατή την κατασκευή ενός υπολογιστικού μοντέλου. Στο παράρτημα δίνεται ένα γενικευμένο παράδειγμα μιας λίστας απογραφής και ένα συνοδευτικό φύλλο εργασίας με τα δεδομένα. Αν και η λίστα αυτή είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο καθοδήγησης και ενισχύει τη διαφάνεια της ανάλυσης, εντούτοις, δεν αποτελεί την μοναδική διαδικασία ποιοτικού ελέγχου υπό της οποίας θα πρέπει να πραγματοποιείται η ανάλυση. Οι αναλυτές καλούνται να δημιουργήσουν αυτή τη λίστα έτσι ώστε να καλύπτει ένα δεδομένο προϊόν ή υλικό. Στη λίστα απογραφής ή στο φύλλο εργασίας θα πρέπει να εμφανίζονται οκτώ περιοχές λήψης αποφάσεων:

1. Επιδίωξη της αναλυτικής απογραφής
2. Όρια του συστήματος

3. Γεωγραφική έκταση
4. Τύποι των δεδομένων που χρησιμοποιούνται
5. Διαδικασίες συλλογής και σύνθεσης των δεδομένων
6. Κριτήρια ποιότητας δεδομένων
7. Κατασκευή υπολογιστικού μοντέλου
8. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Μια τυποποιημένη λίστα μπορεί να αποβεί χρήσιμη σε διάφορους τομείς. Ο αναλυτής που πραγματοποιεί την αναλυτική απογραφή στα πλαίσια του κύκλου ζωής μπορεί να χρησιμοποιήσει τη λίστα για να εξασφαλίσει ότι περιλαμβάνονται όλα τα σημαντικά στάδια και οι υπομονάδες του συστήματος.

Η λίστα αποτελείται από δύο κύρια τμήματα -το τμήμα της περίληψης όπου περιγράφονται οι διαδικασίες και τα συστήματα που περιλαμβάνονται στη μελέτη και ένα σύνολο από φύλλα εργασίας όπου καταγράφονται και πιστοποιούνται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

Η λίστα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη την έκταση της μελέτης ώστε να εξασφαλίσει ότι κατά τη διάρκεια της μελέτης αναγνωρίζονται και περιγράφονται όλα τα όρια και τα θέματα σύγκρισης. Το τμήμα των φύλλων εργασίας έχει ένα διπλό σκοπό: να βοηθήσει τον αναλυτή να ταξινομήσει και να κατανοήσει τα στοιχεία των υπομονάδων και τη χρήση τους για την αναζήτηση δεδομένων. Σε μια αναλυτική απογραφή, όπου σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής μπορεί να πραγματοποιούνται πολλές διεργασίες, τα φύλλα εργασίας βοηθούν στην εξασφάλιση της συνοχής μεταξύ των διαφόρων πηγών πληροφόρησης. Οι υπομονάδες αποτελούμενες από εισόδους και εξόδους υποσυστημάτων αποτελούν τη βάση για την προετοιμασία μιας αναλυτικής απογραφής στα πλαίσια του κύκλου ζωής. Οι υπομονάδες υποσυστημάτων αντιπροσωπεύουν θεμελιώδεις λειτουργίες οι οποίες αποτελούν “οικοδομικούς λίθους” για το άθροισμα των δεδομένων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και σε ολόκληρο το σύστημα. Για παράδειγμα μπορεί να κατασκευαστεί μια υπομονάδα για την παραγωγή των καυστικών όπως εμφανίζεται στο διάγραμμα ροής του συστήματος της πλάκας σαπουνιού (Σχήμα 2.4). Αυτή η υπομονάδα θα ήταν μια από τις διάφορες που περιλαμβάνονται στο επιμέρους στάδιο της κατασκευής των υλικών. Φύλλα εργασίας μπορούν να προετοιμαστούν για κάθε βιομηχανική μονάδα, σε κάθε υπομονάδα του υποσυστήματος και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον αναλυτή για να αθροίσει αυτά τα δεδομένα σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής. Συμπληρωματικός εσωτερικός ποιοτικός έλεγχος και διαδικασίες διασφάλισης της ποιότητας θα πρέπει να υπάρχουν στην κατάλληλη θέση ώστε να εξασφαλίζουν και να επιβεβαιώνουν ότι η αναλυτική απογραφή είναι ολοκληρωμένη και ορθή.

Μια λίστα απογραφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο επικοινωνίας. Περιλαμβάνοντας μια συμπληρωμένη λίστα στην αναφορά των αποτελεσμάτων μιας αναλυτικής απογραφής, ο αναλυτής μπορεί να γνωστοποιήσει στους αναγνώστες κάποιους από τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Η λίστα απογραφής θα βοηθήσει στην κατανόηση των ορίων του συστήματος, της ποιότητας των δεδομένων, της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται, και του επίπεδου της ανάλυσης στο οποίο υπεισέρχεται. Τυποποιημένες λίστες που περιλαμβάνονται σε αναφορές αναλυτικών απογραφών μπορούν επίσης να βοηθήσουν τους αναγνώστες να αναγνωρίσουν και να κατανοήσουν τις διαφορές μεταξύ αναφορών στο ίδιο θέμα. Η τυποποιημένη λίστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες επανεξέτασης καθώς παρέχει χρήσιμα κριτήρια και στοιχεία για τη διαβεβαίωση της πληρότητας μιας συγκεκριμένης αναλυτικής απογραφής στα πλαίσια του κύκλου ζωής.

Επανεξέταση της μελέτης από ειδήμονες

Ο βαθμός κατά τον οποίο είναι επιθυμητή η διαδικασία μιας επανεξέτασης της μελέτης από ειδήμονες, έχει αποτελέσει κύριο θέμα πολλών συζητήσεων πάνω στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Τα προβλήματα εντοπίζονται σε τέσσερις περιοχές: στην κατανόηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται ή της έκτασης της μελέτης, στον έλεγχο της αξιοπιστίας των δεδομένων και της ερμηνείας τους από τον αναλυτή, στην εξέταση των υποθέσεων “κλειδιά” και των

συνολικών αποτελεσμάτων, και στην ανακοίνωση των αποτελεσμάτων. Γι' αυτούς τους λόγους, συστήνεται να εγκαθίσταται και να εκτελείται μια διαδικασία επανεξέτασης από ειδήμονες στα αρχικά στάδια κάθε μελέτης που θα χρησιμοποιηθεί σε κάποια δημόσια διακίνηση ιδεών.

Γενικά, μια διαδικασία επανεξέτασης της μελέτης θα πρέπει να περιλαμβάνει τις τέσσερις περιοχές που προσδιορίστηκαν προηγουμένως:

- Μεθοδολογία προσδιορισμού έκτασης/ οριοθέτησης
- Απόκτηση/ ερμηνεία δεδομένων
- Αξιοπιστία των υποθέσεων "κλειδιά" και των αποτελεσμάτων
- Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων

Η επανεξέταση θα μπορούσε να διεξαχθεί σε διάφορα σημεία της μελέτης: 1) στο σκοπό, στα όρια του συστήματος, στις υποθέσεις, και στη συλλογή των δεδομένων, 2) στα επεξεργασμένα δεδομένα και στα κριτήρια ποιότητας που σχετίζονται μ' αυτά, και 3) στην προκαταρκτική αναφορά της αναλυτικής απογραφής, περιλαμβανομένου και του τρόπου ανακοίνωσης των αποτελεσμάτων.

Ο SETAC σε συνεργασία με επιχειρήσεις, καταναλωτές και περιβαλλοντικές ομάδες, καθώς και με την ακαδημία, ασχολήθηκε για την ανάπτυξη μιας διαδικασίας επανεξέτασης για μελέτες αναλυτικής απογραφής (Fava et al., 1992).

Γενικά θεωρείται ότι η ομάδα εκτέλεσης της επανεξέτασης θα πρέπει να αποτελείται από 3 με 5 άτομα τα οποία θα αντιπροσωπεύουν διάφορους κρατικούς και τοπικούς φορείς, ακαδημαϊκά ιδρύματα, βιομηχανίες, καθώς επίσης περιβαλλοντικές ή καταναλωτικές ομάδες, και ειδικούς στην πραγματοποίηση της ΑΚΖ. Δεν είναι βέβαια απαραίτητο, μέσα στο πλαίσιο κάθε επανεξέτασης της μελέτης να αντιπροσωπεύονται όλοι οι παραπάνω τομείς. Τα διαπιστευτήρια ή το παρελθόν των ατόμων θα πρέπει να καταδεικνύουν τη φήμη τους ή έστω ένα καλό όνομα όσον αφορά την αντικειμενικότητα, την εμπειρία τους πάνω στη μεθοδολογία ή τη διεξαγωγή μελετών κύκλου ζωής, και μια προθυμία να εργαστούν σαν μέλη μιας ομάδας. Το θέμα του τρόπου διεξαγωγής των επανεξετάσεων γεννά ένα πλήθος ερωτημάτων, του είδους: Είναι απαραίτητη μια τυποποιημένη λίστα απογραφής; Μπορούν να γίνονται δεκτά τόσο προφορικά όσο και γραπτά σχόλια αυτών που πραγματοποιούν την επανεξέταση; Πόσος χρόνος θα πρέπει να διατεθεί για την επανεξέταση; Ποιος χρηματοδοτεί την επανεξέταση;

Η διαδικασία της επανεξέτασης θα πρέπει να είναι ευέλικτη για να διευκολύνει τυχόν διαφοροποιήσεις στην εφαρμογή ή στην έκταση μελετών κύκλου ζωής. Η επανεξέταση θα πρέπει να βελτιώνει τη διεξαγωγή αυτών των μελετών, να συμβάλλει θετικά στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, και να βοηθά στον περαιτέρω προσδιορισμό και κατά συνέπεια στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων ή των υλικών. Η EPA (Environmental Protection Agency) υποστηρίζει τη χρήση των επανεξετάσεων από ειδήμονες ως ένα μηχανισμό βελτίωσης της ποιότητας και της συνοχής των αναλυτικών απογραφών στα πλαίσια του κύκλου ζωής.

➤ Δυνατότητες διαφορετικών προσεγγίσεων ΑΚΖ

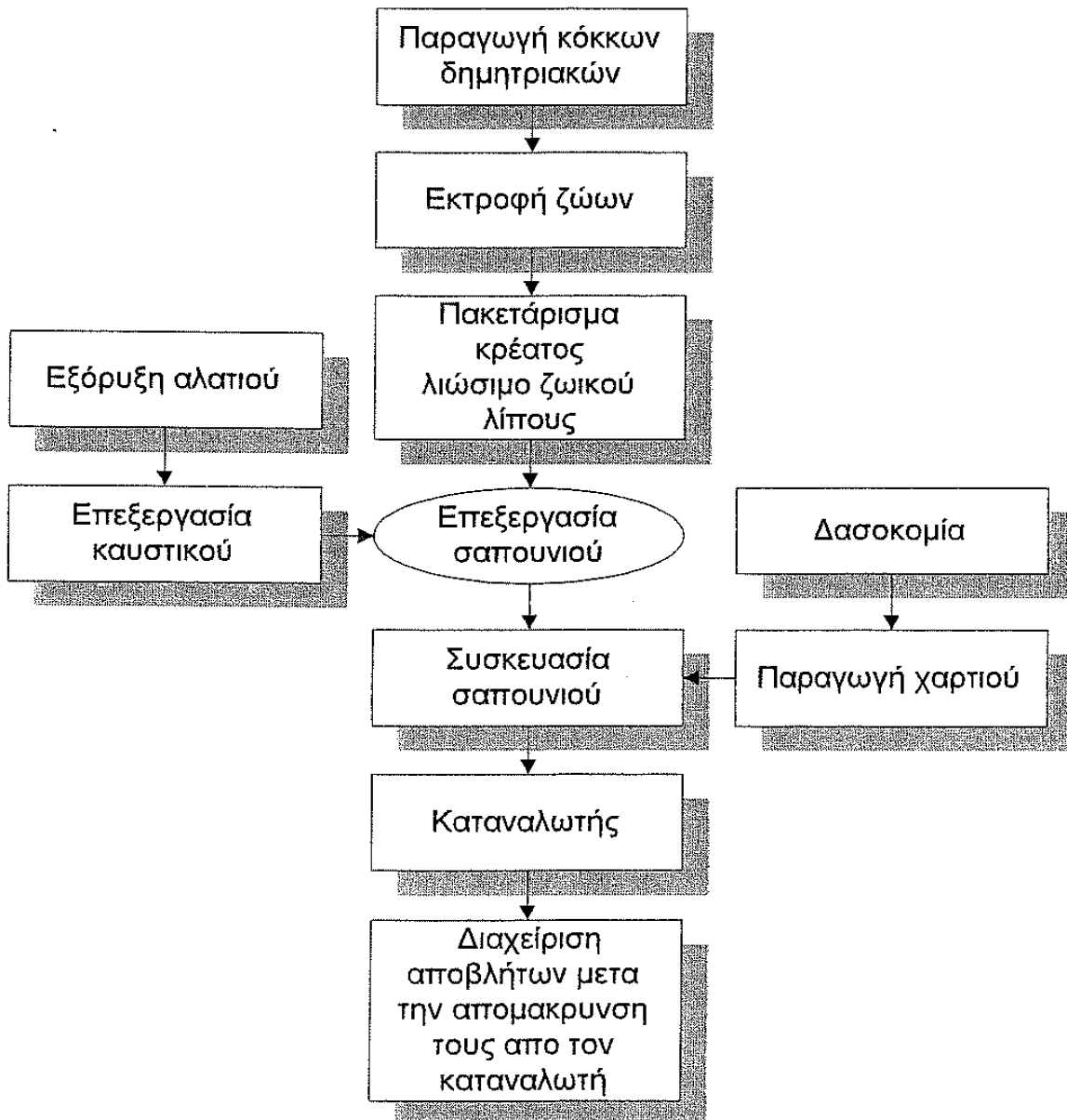
A) Αναθεώρηση κύκλου ζωής

Ένα απλό διάγραμμα ροής, παρουσιάζει όλα τα κύρια στοιχεία κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος. Αυτό βοηθάει στην αναγνώριση των ορίων του συστήματος, δηλαδή στον εντοπισμό κάποιου στοιχείου που αξίζει να συμπεριληφθεί στις μελέτες ή που μπορεί να παραληφθεί χωρίς σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα. Μπορεί επίσης να φανεί χρήσιμο στην παροχή μιας δομής για την Ανάλυση Κύκλου Ζωής και για τη συσχέτιση των δεδομένων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.

Σε πολλές περιπτώσεις, το διάγραμμα ροής μπορεί να επαρκεί, χωρίς να χρειάζεται η συλλογή ποσοτικών δεδομένων. Μια απλή σχεδίαση του συστήματος μπορεί να δώσει πολλά χρήσιμα ποιοτικά δεδομένα για τα ζητήματα που θα έπρεπε να εξεταστούν για μια περιβαλλοντική διαχείριση. Προφανώς η ποιότητα δεν θα είναι τόσο καλή όσο στις περισσότερες ποσοτικές προσεγγίσεις, αλλά μπορεί να είναι αρκετή για το σκοπό της. Μπορεί επίσης να είναι το μόνο που θα μπορούσε να επιτευχθεί στο δεδομένο χρόνο μελέτης και με τις διαθέσιμες πηγές.

B) Μεθοδολογία Πινάκων

Μια άλλη προσέγγιση που επιδιώχθηκε από την εταιρία AT & T στην Αμερική εμφανίζεται με τη μορφή ενός απλοποιημένου ποιοτικού πίνακα (πιν.2.1), που χρησιμοποιήθηκε από την ομάδα σχεδίασής της για να αναγνωριστούν περιοχές του προϊόντος που επιδέχονται βελτίωση. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται περισσότερο στην εμπειρική αξιολόγηση παρά στη συλλογή των δεδομένων για τις α' ύλες, τις εκπομπές κτλ.



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα διαγράμματος ροής (πλάκα σαπουνιού) [7]

Γ) Συνοπτικές ΑΚΖ

Μια άλλη προσέγγιση είναι η διεξαγωγή μιας συνοπτικής ΑΚΖ, κατά την οποία δεν είναι απαραίτητο να συλλέγονται δεδομένα για όλες τις εισόδους και εξόδους σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής. Γι' αυτή την προσέγγιση υπάρχουν πολλές διαφορετικές δυνατότητες. Μια συνοπτική ΑΚΖ θα μπορούσε να εστιάσει σε ένα συγκεκριμένο θέμα το οποίο θεωρείται πολύ

σημαντικό στον κύκλο ζωής του προϊόντος, π.χ. την κατανάλωση ενέργειας κατά τη χρήση του. Αν χρησιμοποιηθεί αυτή η προσέγγιση, μια μορφή του κύκλου ζωής πρέπει παρ' όλα αυτά να διατηρηθεί. Άλλα στάδια του κύκλου ζωής μπορούν να εκτιμηθούν ποιοτικά ή ανατρέχοντας σε δεδομένα από άλλες δημοσιευμένες ΑΚΖ.

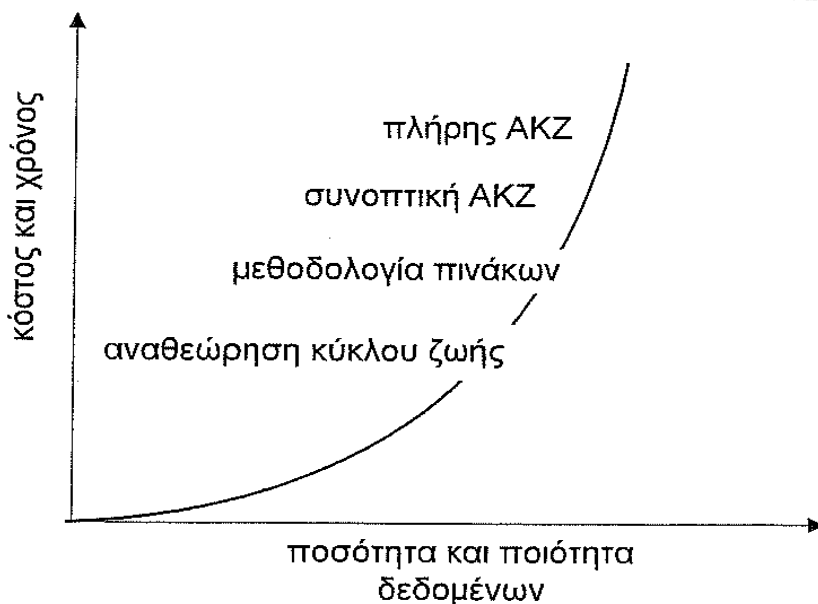
Μια άλλη δυνατότητα είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους με τη συλλογή βασικών δεδομένων μόνο για τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής θα μπορούσαν να μελετηθούν με τη χρήση μέσων όρων των δεδομένων που έχουν δημοσιευτεί για διάφορους τομείς, όπως την επεξεργασία των πρώτων υλών και τη μεταφορά. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της χρησιμοποίησης λογισμικού πακέτου δεδομένων, που περιλαμβάνει μέσους όρους δεδομένων για ένα μεγάλο πλήθος υλικών και διεργασιών, αλλά που επίσης επιτρέπει την εισαγωγή νέων δεδομένων της εκάστοτε εταιρίας.

Πίνακας 2.1: Πίνακας βελτίωσης προϊόντος από την AT&T [3]

Στάδια κύκλου ζωής	Τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος				
	Επιλογή υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απορρίμματα	Υγρά απόβλητα	Αέριες εκπομπές
Απόκτηση πρώτων υλών/ Προκατασκευή					
Κατασκευή					
Μεταφορά/ Συσκευασία					
Χρήση					
Ανακύκλωση/ Τελική διάθεση					

Δ) Πλήρεις ΑΚΖ

Οι πλήρεις ΑΚΖ είναι περισσότερο ποσοτικές και στηρίζονται σε μετρήσεις, υπολογισμούς και εκτιμήσεις των δεδομένων, ενώ οι συνοπτικές προσεγγίσεις στηρίζονται περισσότερο σε εμπειρικές εκτιμήσεις μέσα από εφαρμογές στην πράξη.



Σχήμα 2.5: Διάφορες προσεγγίσεις μιας AKZ

Το σχήμα 2.5 δείχνει τις διάφορες προσεγγίσεις εκπόνησης μιας μελέτης AKZ σε σχέση με τις πηγές και την ποιότητα δεδομένων. Η ποιότητα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για μια AKZ εξαρτάται από την προσπάθεια και τον χρόνο που έχει αφιερωθεί στην μελέτη, όπως, και από τη διαθεσιμότητά τους.

2.2. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής

Ο κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής (ΚΑΚΖ) είναι:

Μια διαδικασία ποσοτικοποίησης των απαιτήσεων σε ενέργεια και πρώτες ύλες, των ατμοσφαιρικών εκπομπών, των εκπομπών στα ύδατα, των στερεών αποβλήτων και άλλων εκπομπών για τον ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή μιας δραστηριότητας (EPA 1993). Γιατί χρειάζεται ο ΚΑΚΖ;

Στη φάση του ΚΑΚΖ μιας AKZ, συλλέγονται και οργανώνονται όλα τα σχετικά δεδομένα. Χωρίς ένα ΚΑΚΖ, δεν υπάρχει καμία βάση για να αξιολογήσει τις συγκριτικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή τις πιθανές βελτιώσεις. Το επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειας των συλλεχθέντων δεδομένων απεικονίζεται σε όλη την υπόλοιπη διαδικασία της AKZ.

Οι αναλύσεις του ΚΑΚΖ μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Μπορούν να βοηθήσουν ένα οργανισμό στη σύγκριση προϊόντων ή διεργασιών και στην εξέταση των περιβαλλοντικών παραγόντων για επιλογή των υλικών. Επιπλέον, οι αναλύσεις του ΚΑΚΖ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χάραξη πολιτικής βοηθώντας τις κυβερνήσεις στην ανάπτυξη κανονισμών σχετικά με τη χρήση των πόρων και τις περιβαλλοντικές εκπομπές.

Τι αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα του ΚΑΚΖ;

Μια ανάλυση ΚΑΚΖ δημιουργεί έναν κατάλογο που περιέχει τις ποσότητες ρύπων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον και το ποσό ενέργειας και υλικών που καταναλώνονται. Τα αποτελέσματα μπορούν να διαχωριστούν κατά στάδια κύκλου ζωής, κατά διάφορα μέσα (αέρας, νερό, έδαφος), κατά συγκεκριμένες διεργασίες ή κατά οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών.

2.2.1. Καθορισμός της απαιτούμενης ακρίβειας των δεδομένων

Το απαραίτητο επίπεδο ακρίβειας των δεδομένων για το έργο εξαρτάται από τη χρήση των τελικών αποτελεσμάτων και του ακροατηρίου για το οποίο προορίζονται (δηλ., τα

αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σε μια εσωτερική διαδικασία ή σε ένα δημόσιο φόρουμ;). Παραδείγματος χάριν, εάν η πρόθεση είναι να τα αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν σε ένα δημόσιο φόρουμ για την υποστήριξη της επιλογής κάποιου προϊόντος / διεργασίας σε μια τοπική κοινότητα ή έναν ρυθμιστή, τότε τα εκτιμημένα δεδομένα ή η καλύτερη γνώμη κάποιου μηχανικού για τα αρχικά υλικά, ενέργεια και ροές αποβλήτων, μπορεί να μην είναι αρκετά ακριβή για να δικαιολογήσουν τα τελικά συμπεράσματα. Αντίθετα, εάν η πρόθεση για την εκτέλεση μιας ΑΚΖ είναι μόνο για εσωτερικούς λόγους λήψης αποφάσεων, τότε τα εκτιμημένα δεδομένα ή η καλύτερη γνώμη κάποιου μηχανικού μπορούν να εφαρμοστούν πιο συχνά. Αυτό μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος και χρόνο που απαιτούνται για να εκτελεστεί μια ΑΚΖ καθώς επίσης και να επιτρέψει την ολοκλήρωση της μελέτης ακόμα και αν υπάρχει έλλειψη δεδομένων μεγάλης ακρίβειας και από πρώτο χέρι.

Εκτός από το προοριζόμενο ακροατήριο, το απαραίτητο επίπεδο ακρίβειας στοιχείων θα μπορούσε να βασιστεί στην κρισιμότητα της απόφασης που θα ληφθεί και στο χρηματικό ποσό που σχετίζεται με την απόφαση.

2.2.2. Καθορισμός των διαδικαστικών κανόνων για την εκτέλεση του έργου

Πριν την εξέταση της φάσης της ανάλυσης καταλόγου απογραφής είναι σημαντικό να καθοριστούν μερικές από τις λογιστικές διαδικασίες για το έργο.

1. *Τεκμηρίωση των υποθέσεων*

Όλες οι υποθέσεις ή οι αποφάσεις που λαμβάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του έργου πρέπει να αναφερθούν μαζί με τα τελικά αποτελέσματα της ΑΚΖ. Εάν οι παραληφθεί η αναφορά των υποθέσεων, τα τελικά αποτελέσματα μπορεί να ληφθούν έξω από το πλαίσιο ή εύκολα να παρερμηνευθούν. Καθώς η διαδικασία της ΑΚΖ προχωρά από φάση σε φάση, πρόσθετες υποθέσεις και περιορισμοί στη ΑΚΖ μπορεί να είναι απαραίτητοι για να ολοκληρωθεί το έργο με τους διαθέσιμους πόρους.

2. *Διαδικασίες εξασφάλισης ποιότητας (quality assurance procedures)*

Οι διαδικασίες εξασφάλισης ποιότητας είναι σημαντικές για να διασφαλιστεί ότι ο στόχος και ο σκοπός για τη διεξαγωγή μιας ΑΚΖ θα εκπληρωθούν στην ολοκλήρωσή της. Το επίπεδο των διαδικασιών εξασφάλισης ποιότητας που υιοθετούνται για το πρόγραμμα εξαρτάται από το διαθέσιμο χρόνο και πόρους και το τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ένα δημόσιο φόρουμ, συστήνεται μια επίσημη διαδικασία αναθεώρησης. Μια τέτοια διαδικασία μπορεί να αποτελείται από εσωτερική και εξωτερική αναθεώρηση από ειδικούς στην ΑΚΖ ή / και αναθεώρηση από τα ενδιαφερόμενα συμβαλλόμενα μέρη για να εξασφαλιστεί καλύτερα η υποστήριξή τους στα τελικά αποτελέσματα. Εάν τα αποτελέσματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για εσωτερικούς λόγους λήψης αποφάσεων μόνο, τότε ένας εσωτερικός επιθεωρητής που γνωρίζει τις πρακτικές της ΑΚΖ και δεν συνδέεται με τη μελέτη της ΑΚΖ μπορεί αποτελεσματικά να εκπληρώσει τους στόχους εξασφάλισης ποιότητας. Προτείνεται να συμπεριληφθεί στην τελική έκθεση για το έργο, μια επίσημη δήλωση από τον επιθεωρητή(ες) που να τεκμηριώνει την αξιολόγηση του για την κάθε φάση της ΑΚΖ.

3. *Απαιτήσεις για την υποβολή αναφοράς*

Ο καθορισμός εκ των προτέρων του τρόπου με τον οποίο πρέπει να τεκμηριωθούν τα τελικά αποτελέσματα και ακριβώς τι πρέπει να περιληφθεί στην τελική έκθεση εξασφαλίζει ότι το τελικό προϊόν ικανοποιεί τις κατάλληλες προσδοκίες. Κατά την υποβολή των αναφορών για τα τελικά αποτελέσματα ή για τα αποτελέσματα μιας συγκεκριμένης φάσης της ΑΚΖ, είναι σημαντικό να περιγραφεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Η έκθεση πρέπει να καθορίσει σαφώς τα συστήματα που αναλύονται και τα όρια που έχουν τεθεί. Η βάση σύγκρισης μεταξύ των συστημάτων πρέπει να εξηγηθεί όπως επίσης και όλες οι υποθέσεις που έγιναν κατά την διεξαγωγή της μελέτης. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι συνεπής με το σκοπό της μελέτης. Τα αποτελέσματα δεν πρέπει υπεραπλουστεύονται μόνο για σκοπούς παρουσίασης.

2.2.3. Βήματα – κλειδιά ενός KAKZ

Το 1993, η EPA δημοσίευσε ένα οδηγό με τίτλο “*Life-Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*” ενώ το 1995 δημοσίευσε τον οδηγό “*Guidelines for Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Analysis*”. Ο συνδυασμός αυτών των δύο οδηγιών παρέχει το πλαίσιο για τη διεξαγωγή ανάλυσης KAKZ και την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, καθώς επίσης και των αποτελεσμάτων. Οι δύο αυτοί οδηγοί καθορίζουν τα ακόλουθα βήματα ενός KAKZ:

Βήμα 1. Ανάπτυξη ενός διαγράμματος ροής των υπό αξιολόγηση διεργασιών

Βήμα 2. Ανάπτυξη ενός σχεδίου συλλογής δεδομένων

Βήμα 3. Συλλογή δεδομένων

Βήμα 4. Αξιολόγηση και αναφορά αποτελεσμάτων

2.2.3.1. Ανάπτυξη Διαγράμματος Ροής

Ένα διάγραμμα ροής είναι ένα εργαλείο για την καταγραφή των εισροών και των εκροών σε μια διεργασία ή ένα σύστημα. Το “σύστημα” ή τα “όρια του συστήματος” ποικίλλουν για κάθε μελέτη AKZ. Η φάση καθορισμού στόχων και σκοπών θέτει τα αρχικά όρια τα οποία καθορίζουν τι θα περιληφθεί σε μια συγκεκριμένη AKZ. Αυτά χρησιμοποιούνται ως τα όρια του συστήματος για το διάγραμμα ροής. Μονάδες διεργασίας μέσα στα όρια του συστήματος συνδέονται για να διαμορφώσουν μια πλήρη εικόνα του κύκλου ζωής των απαραίτητων εισροών και εκροών (υλικών και ενέργειας) στο σύστημα. Το σχήμα 3-1 παρουσιάζει τα συστατικά μιας γενικής μονάδας διεργασίας μέσα σε ένα διάγραμμα ροής για δεδομένα όρια συστήματος.

Όσον αφορά το θέμα του διαγράμματος ροής ο ISO δηλώνει μόνο ότι “είναι χρήσιμο να περιγραφεί ένα συστημά χρησιμοποιώντας ένα διάγραμμα ροής διαδικασίας που παρουσιάζει τις διαδικασίες μονάδων και αλληλεξαρτήσεις τους”.

Η κατάρτιση ενός αρχικού διαγράμματος ροής μπορεί να θεωρηθεί ως πρακτική ενίσχυση στη συλλογή δεδομένων. Όπως μόνο γίνεται προφανές που οι οικονομικές ροές και η παράδοση των διαδικασιών είναι σχετικές με μια ιδιαίτερη μελέτη όπως τα στοιχεία ανακτώνται, η σύνταξη ενός οριστικού διαγράμματος ροής θα είναι μια ιδιαίτερα επαναληπτική διαδικασία. Αρχικά, το διάγραμμα θα καλύψει μόνο τη διαδικασία παραδίδοντας τη λειτουργική μονάδα και τις παρακείμενες διαδικασίες παρέχοντας τις κύριες πρώτες ύλες και επεξεργάζοντας τις κύριες ροές αποβλήτων, και τις αντίστοιχες διασυνδέσεις τους. Ακόμα και αφού έχουν συλλεχθεί όλα τα σχετικά στοιχεία, εν τούτοις, ένα αληθινά περιεκτικό διάγραμμα στη πράξη είναι αδύνατον να συνταχθεί. Λαμβάνοντας υπόψη το κοινό περιστατικό των βρόχων και των πολυ-παραγωγών διαδικασιών, ένα τέτοιο διάγραμμα θα περιελάμβανε απλά πάρα πολλές διαδικασίες μονάδων στην υπερβολικά σύνθετη αλληλεξάρτηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, έπειτα, η μόνη εφαρμόσιμη λύση είναι να καταρτιστεί ένα βασικό διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τις κύριες συστατικές μονάδες διαδικασίας, από τις οποίες να “επικεντρωθείτε” στις ελλοχεύουσες διαδικασίες μονάδων, αντιπροσωπευόμενες χωριστά στα μερικά διαγράμματα ροής από μόνες τους.

Οι Wegener Sleeswijk & Huppes (1994) προτείνουν τις ακόλουθες συμβάσεις για την κατασκευή των διαγραμμάτων ροής.

- οι διαδικασίες μονάδων αντιπροσωπεύονται ως κουτιά
- οι οικονομικές ροές αντιπροσωπεύονται ως βέλη μεταξύ τέτοιων κουτιών
- οι οικονομικές ροές εισάγουν μια διαδικασία μονάδων στην κορυφή του παραθύρου και αφήνουν μια διαδικασία μονάδων στο κατώτατο σημείο του κουτιού
- η κύρια κατεύθυνση της ροής μέσω του διαγράμματος ροής είναι από επάνω προς τα κάτω, αν και οι επαναλαμβανόμενες ροές είναι στην αντίστροφη κατεύθυνση
- όλα τα κουτιά περιέχουν τις ετικέτες κειμένων με το όνομα της διαδικασίας, π.χ. “παραγωγή του θεικού οξέος”
- τα βέλη ονομάζονται μόνο εφ' όσον το όνομά τους απαιτείται για μια σαφή κατανόηση του διαγράμματος ροής

Ένα διάγραμμα ροής δεν πρέπει κατά προτίμηση να περιέχει περισσότερα από 20 κουτιά. Η χρήση των μερικών διαγραμμάτων ροής μπορεί να είναι χρήσιμη για κάθε κουτί, πρέπει έπειτα σαφώς να υποδειχθεί εάν αντιπροσωπεύει μια αδιαίρετη διαδικασία μονάδων ή μια αθροισμένη διαδικασία μονάδων, ενδεχομένως διαμορφωμένη σε ένα άλλο μερικό διάγραμμα ροής. Αυτοί οι κανόνες πρέπει να θεωρηθούν ως συστάσεις για μια βέλτιστη χρήση των διαγραμμάτων ροής παρά ως δεσμευτικές οδηγίες.

Για την υποβολή εκθέσεων των διαγραμμάτων ροής οι Lindfors *et al* (1996) προβαίνουν στις ακόλουθες συστάσεις:

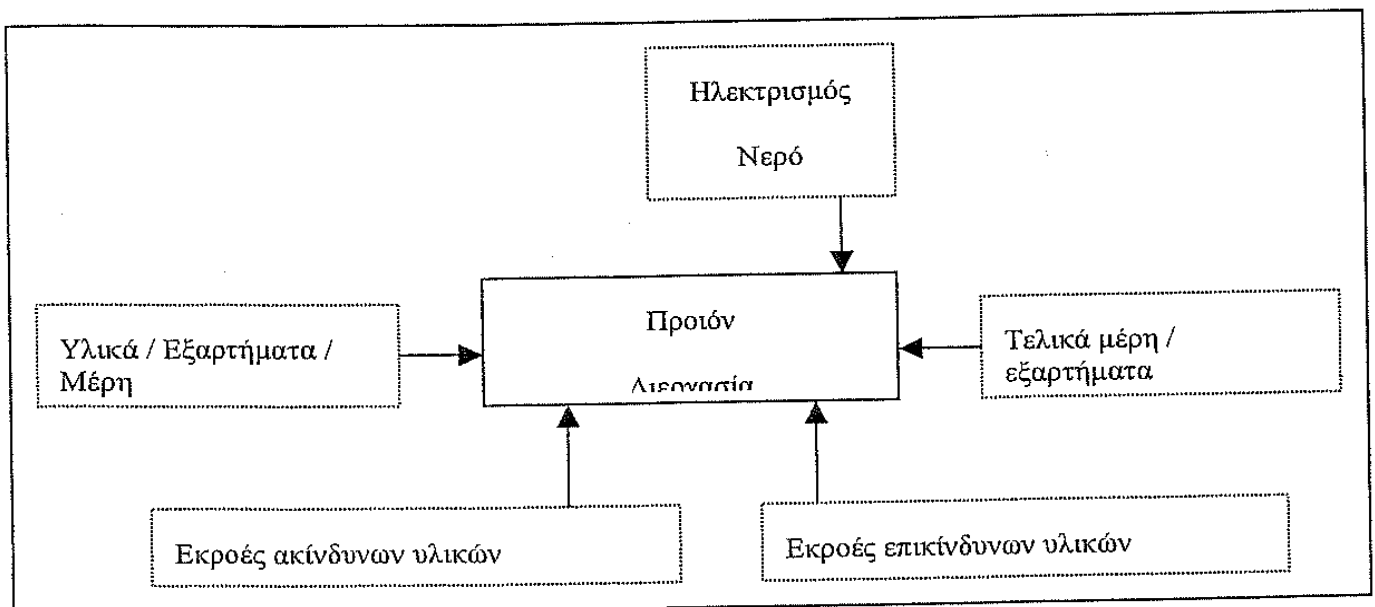
Τα μελετημένα συστήματα πρέπει να καθοριστούν και να αναφερθούν χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα ροής στο ανώτατο όριο λεπτομέρειας που χρησιμοποιείται στη μελέτη.

Τα υποσυστήματα μπορούν να αθροιστούν στα πιο υψηλά επίπεδα εάν κριθεί απαραίτητο, εφ' όσον οι λεπτομερείς περιγραφές παρέχονται (π.χ. σε ένα παράρτημα).

Σε αυτό το ζήτημα ο Meier *et al* (1997) συστήνει τα αναφερόμενα διαγράμματα ροής διαδικασίας να περιγράφουν ολόκληρο το σύστημα κάτω από τη μελέτη και περιλαμβάνουν όρια συστημάτων, σημαντικές εισαγωγές, τα προϊόντα και τα ομο-προϊόντα, καθώς επίσης και τις κύριες ακολουθίες παραγωγής, τα βοηθητικά υλικά και την παραγωγή ενέργειας / καυσίμων.

Όσο πιο πολύπλοκο είναι το διάγραμμα ροής τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια και η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων. Δυστυχώς, αυξημένη πολυπλοκότητα σημαίνει επίσης και περισσότερο χρόνο και πόρους που πρέπει να αφιερωθούν σε αυτό το βήμα, καθώς επίσης και στα βήματα συλλογής στοιχείων και ανάλυσης.

Τα διαγράμματα ροής χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση όλων των εναλλακτικών λύσεων που εξετάζονται (π.χ., τόσο για ένα σύστημα βάσης όσο και για εναλλακτικά συστήματα). Για μια συγκριτική μελέτη είναι σημαντικό τόσο η βάση όσο και οι εναλλακτικές λύσεις να χρησιμοποιούν τα ίδια όρια συστήματος και να προσομοιώνονται στο ίδιο επίπεδο λεπτομέρειας. Αν όχι, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να αποκλίνει.



Σχήμα 2.5. Πρότυπο εισροών / εκροών μονάδων διεργασιών

2.2.3.2. Ανάπτυξη σχεδίου συλλογής δεδομένων ΚΑΚΖ

Αναλυτική απογραφή δεδομένων

Η αναλυτική απογραφή είναι μια τεχνική διαδικασία ποσοτικοποίησης, βασισμένη σε δεδομένα των συνολικών απαιτήσεων σε ενέργεια και πρώτες ύλες, των ατμοσφαιρικών

εκπομπών, των αποβλήτων που μεταφέρονται στο νερό, των στερεών απορριμμάτων και άλλων στοιχείων που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή ενός προϊόντος ή σε μια διεργασία. Τα ποιοτικά θέματα αντιμετωπίζονται στην εκτίμηση επιπτώσεων, όμως θα ήταν χρήσιμο να προσδιοριστούν κατά την διεξαγωγή της απογραφής. Με την ευρύτερη έννοια, η αναλυτική απογραφή ξεκινά από την παραγωγή πρώτων υλών και συνεχίζει μέχρι την τελική κατανάλωση και διάθεση του προϊόντος. Εντούτοις, κάποιες απογραφές έχουν πιο αυστηρά όρια εξαιτίας του σκοπού χρήσης τους (π.χ. βελτιώσεις διαμόρφωσης εσωτερικού βιομηχανικού προϊόντος όπου προσδιορίζονται οι πρώτες ύλες).

Οι βασικές αρχές της αναλυτικής απογραφής που περιγράφονται παρακάτω, απευθύνονται σε κάθε φυσικό σύστημα δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει την άμεση ή έμμεση χρήση ενέργειας ή μάζας.

Κατηγορίες δεδομένων

Η φάση κλειδί της απογραφής των δεδομένων είναι η συλλογή των δεδομένων. Εδώ έχουμε να κάνουμε με μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε ηλεκτρονική μορφή. Για να είναι αυτά τα δεδομένα συγκρίσιμα και αμοιβαίως σύμφωνα, θα πρέπει να δημιουργηθεί και να αναπτυχθεί μια συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Όλες οι διάφορες κατηγορίες δεδομένων πρέπει να εκχωρηθούν σε συγκεκριμένο μέρος σ' αυτή τη βάση, και γενικές περιγραφές για την κάθε μια πρέπει να διατυπωθούν για να διευκολύνουν και να οδηγήσουν στην είσοδο και ανάκτηση δεδομένων.

Οι κύριες ονομασίες στις οποίες τα δεδομένα μπορούν να ταξινομηθούν είναι οι εξής: δεδομένα εισόδου (ενέργεια, πρώτες ύλες, βοηθητικές και άλλες φυσικές), προϊόντα, και δεδομένα εξόδου (εκπομπές στον αέρα, στο νερό, στο έδαφος).

Οι μεμονωμένες κατηγορίες δεδομένων πρέπει να εκτεθούν λεπτομερώς περαιτέρω για να ικανοποιήσουν το στόχο της μελέτης. Παραδείγματος χάριν, κάτω από την κατηγορία "εκπομπές στον αέρα", οι κατηγορίες στοιχείων όπως το μονοξείδιο άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια θείου, τα οξείδια αζώτου, κ.λπ. μπορούν να προσδιοριστούν χωριστά."

Η πρόταση 5.3.4 του ISO 14041 συνεχίζει: "Τα στοιχεία που απαιτούνται για μια μελέτη ΑΚΖ εξαρτώνται από το στόχο της μελέτης. Τέτοια στοιχεία μπορούν να συλλεχθούν από τις περιοχές παραγωγής που συνδέονται με τις διαδικασίες μονάδων μέσα στα όρια συστημάτων, ή μπορούν να ληφθούν ή να υπολογιστούν από τις δημοσιευμένες πηγές. Στην πράξη, όλες οι κατηγορίες στοιχείων μπορούν να περιλαμβάνουν ένα μίγμα μετρημένων, υπολογισμένων ή κατ' εκτίμηση δεδομένων.

Οι ενεργειακές εισαγωγές και εξαγωγές πρέπει να αντιμετωπιστούν ως οποιαδήποτε άλλη εισαγωγή ή εξαγωγή σε μια ΑΚΖ. Οι διάφοροι τύποι ενεργειακών εισαγωγών και εξαγωγών πρέπει να περιλάβουν τις εισαγωγές και τις εξαγωγές που είναι σχετικές για την παραγωγή και την παράδοση των καυσίμων, την ενέργεια αερίου πετροχημικής βιομηχανίας και την ενέργεια διαδικασίας που χρησιμοποιούνται μέσα στο σύστημα που διαμορφώνεται.

Οι εκπομπές στον αέρα, το ύδωρ και το έδαφος αντιπροσωπεύουν τις αλλαγές από τις σημειακές ή διασκορπισμένες πηγές, αφού περάσουν μέσω των συσκευών ελέγχου εκπομπών. Η κατηγορία πρέπει επίσης να περιλάβει, όταν είναι σημαντικό, διαφυγούσες εκπομπές. Οι παράμετροι δεικτών, π.χ. βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD), μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν.

Άλλες κατηγορίες δεδομένων για τις οποίες τα δεδομένα εισόδου και εξόδου μπορούν να συλλεχθούν περιλαμβάνουν, παραδείγματος χάριν, το θόρυβο και τη δόνηση, τη χρήση εδάφους, την ακτινοβολία, τη μυρωδιά και τη θερμότητα των αποβλήτων."

Ο ISO 14041 συνεισφέρει ελάχιστα στο σχήμα των δεδομένων υπό αυτήν τη μορφή. Είναι εν τούτοις ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο, ιδιαίτερα όταν συμβαίνει ανταλλαγή δεδομένων. Η βελτίωση της ανταλλαγής δεδομένων μπορεί να οδηγήσει στην ουσιαστική οικονομία τόσο του χρόνου όσο και των πόρων που απαιτούνται για μια μελέτη ΑΚΖ.

Ένα σχήμα χαρακτηρίζεται από:

1. η εννοιολογική, δηλ. η αρχική δομή του
2. τα στοιχεία που περιλαμβάνει: τα διαστήματα που γεμίζονται μέσα από το χρήστη
3. οι κανόνες για τα διαστήματα: “the cookbook”.

Όταν σχεδιάζεται ένα σχήμα, δέουσα μέριμνα πρέπει να ληφθεί για το γεγονός ότι τα διάφορα και διαφορετικά είδη δεδομένων διαδικασίας θα χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε δοθείσα ΑΚΖ.

Τα ακατέργαστα δεδομένα διαδικασίας (από ποικίλες πηγές με τα σχήματα δεδομένων τους) μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία από τις διάφορες διαδικασίες σε τέσσερις βασικές μορφές δεδομένων διαδικασίας.

1. αβοήθητα δεδομένα διαδικασίας μονάδων
2. διατιθέμενα δεδομένα διαδικασίας μονάδων
3. (μερικά) δεδομένα συστημάτων ανιχνεύσιμα στα δεδομένα διαδικασίας μονάδων
4. (μερικά) δεδομένα συστημάτων που αθροίζονται αμετάκλητα.

Από το 1992 διάφορα διαφορετικά σχήματα δεδομένων για ΑΚΖ έχουν αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο, τα περισσότερα από αυτά υπό μορφή φύλλων συνοπτικών δεδομένων. Μερικά, όπως SPOLD και η SPINE έχουν εφαρμοστεί στο λογισμικό βάσεων δεδομένων, ενώ άλλα είναι διαθέσιμα ως τυπωμένη μορφή μόνο. Διάφορες βάσεις δεδομένων ΑΚΖ έχουν αναπτυχθεί επίσης που αποθηκεύουν τα στοιχεία διαδικασίας με ένα ιδιόκτητο σχήμα (π.χ. ETH, SimaPro, SAEFL). (όπου σχήμα στο παραπάνω κείμενο εννοείται ο πίνακας απογραφής δεδομένων).

Πίνακες απογραφής δεδομένων

Η παρουσίαση των δεδομένων στα πλαίσια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην παραλειφθούν κάποια από αυτά. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός ανάλυσης (στα πλαίσια εισόδου και εξόδου), που χρησιμοποιείται κατά τη συλλογή των δεδομένων, πρέπει να διατηρηθεί και κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Για τις πιο σημαντικές υποδιεργασίες, εφόσον τα δεδομένα παρουσιάζονται σαν μέση τιμή (ή άλλο κριτήριο κεντρικής θεώρησης), θα πρέπει να δίνεται και το εύρος (άνω και κάτω όριο) ή άλλο κριτήριο της μεταβλητότητας γύρω από την μέση τιμή.

Είδη δεδομένων

Όταν η ΑΚΖ χρησιμοποιείται ευρέως, απ’ όλες τις βιομηχανίες, για τη μέτρηση και σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τότε δημιουργούνται τα ακόλουθα προβλήματα, τα οποία ξεκινάνε στη φάση της απογραφής.

Χρήση μέσων όρων δεδομένων

Μία ΑΚΖ, που επεκτείνεται πέρα από τα όρια μιας επιχείρησης, περικλείει αναγκαστικά μέσους όρους δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές. Αλλά οι μέσοι όροι και τα αθροίσματα περιγράφουν χωρίς μεγάλη ακρίβεια τις συνέπειες της μετατόπισης του ενδιαφέροντος από το ένα προϊόν στο άλλο. Κάθε αλλαγή θα ήταν μερική ή βαθμιαία, όχι όμως ολική. Μια αλλαγή προτίμησης από το συνθετικό ύφασμα στο βαμβακερό θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συστηματικής καλλιέργειας βαμβακιού, ή την αύξηση της παραγωγής βαμβακιού με τη χρήση χημικών. Έτσι ο “μέσος όρος” της ποσότητας των χημικών που θα είχαν χρησιμοποιηθεί στην καλλιέργεια βαμβακιού θα αντιπροσώπευε, αναπόφευκτα, λανθασμένα την υπάρχουσα κατάσταση. Τα παρακάτω παραδείγματα δείχνουν την ποικιλία των μέσων όρων και των αθροισμάτων που μπορεί να κρύβουν τα δεδομένα:

- Κατά μέσο όρο, 15 τοις εκατό των στερεών απορριμμάτων που παράγονται στην Αμερική αποτεφρώνονται, και τα υπόλοιπα καταλήγουν στους ΧΥΤΑ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων). Είναι πιο πιθανό τα στερεά απορρίμματα να σταλούν για υγειονομική ταφή στην αραιοκατοικημένη Δύση παρά στην πιο πυκνοκατοικημένη βορειοανατολική περιοχή, όπου το έδαφος δεν επαρκεί. Μελέτες που προτείνουν κάποιο προϊόν έναντι κάποιου άλλου,

βασισμένες στο ποσό παραγωγής στερεών απορριμμάτων, μπορεί να είναι σωστές για τους βορειοανατολικούς αλλά όχι και για τους δυτικούς.

- Εργοστάσια που παράγουν παρόμοια προϊόντα χρησιμοποιούν διαφορετικές πρώτες ύλες και διεργασίες και βασίζονται σε διαφορετικές πηγές ενέργειας με ποικίλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σαν αποτέλεσμα, φαινομενικά παρόμοιες μονάδες μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Χρήση μεικτών δεδομένων

Μια τυπική, σε βιομηχανικό επίπεδο, αναλυτική απογραφή στα πλαίσια της AKZ θα συμπεριλαμβάνει δεδομένα από πολυάριθμες πηγές που θα διαφέρουν σε ακρίβεια και εξειδίκευση. Κατά τη διεξαγωγή μιας μελέτης, οι ερευνητές μπορούν να βασιστούν σε μέσους όρους δεδομένων από διάφορες κατηγορίες κατασκευαστών αλλά και σε εξειδικευμένα δεδομένα κάποιου κατασκευαστή.

Στους Franklin Associates L.T.D., οι αναφορές για τη σύγκριση συσκευασιών γάλακτος βασίστηκαν σε στοιχεία από κρατικά έγγραφα, όπως επίσης και σε ομοσπονδιακούς κανονισμούς, σε τεχνικό έντυπο υλικό, και σε βιομηχανικές πηγές. Σε μια άλλη μελέτη του Franklin για τη σύγκριση συσκευασιών αφρώδους πολυστυρενίου και χαρτονιού που έχει υποστεί λεύκανση, η σύσταση των πηγών είναι ουσιαστικά ίδια: δημόσιες αναφορές, ομοσπονδιακοί κανονισμοί, τεχνικό έντυπο υλικό, και έμπιστες βιομηχανικές πηγές. Μέχρι στιγμής καμιά μελέτη δεν υποδεικνύει ποια δεδομένα προέρχονται από ποια πηγή.

Οι κατευθυντήριες γραμμές του SETAC επισημαίνουν ότι “οι πηγές, η ηλικία, η μέθοδος παραγωγής, και άλλα σχετικά χαρακτηριστικά των δεδομένων πρέπει να αναφέρονται ξεκάθαρα”. Παρ’ όλα αυτά, σε μια μελέτη όπου εξετάστηκαν τριάντα AKZ για το Υπουργείο Περιβάλλοντος του Κεμπέκ, οι ερευνητές Sylvie Bisson και Mario Berube κατέληξαν ότι συχνά “είναι αδύνατο να καθορίσεις ποια δεδομένα προέρχονται από αναλυτικές πηγές και ποια έχουν παραχθεί από γενικές πηγές που είναι βασισμένες σε επαγγελματικές εκτιμήσεις. Επί πλέον, είναι αδύνατο να καθοριστεί η αβεβαιότητα των δεδομένων και ο βαθμός κατά τον οποίο επιδρά στα αποτελέσματα της μελέτης”.

Σταθερά δεδομένα

Ο Harry Teasley, ο πρώτος διοικητικός που χρησιμοποίησε την AKZ για να ενημερώνει συνεταιρισμούς λήψης αποφάσεων, ισχυρίζεται ότι οι AKZ δεν είναι κατάλληλες για αναλύσεις που εξυπηρετούν το δημόσιο συμφέρον εξαιτίας της τεχνολογικής εξέλιξης. Ένα άρθρο στο Beverage World υπερασπίζει αυτή τη θέση. Αναφέρει ότι ενώ τα σημερινά αλουμινένια κουτάκια θεωρούνται μια συσκευασία φιλική προς το περιβάλλον, πριν 20 χρόνια έρευνες βασιζόμενες σε AKZ θα τα απέρριπταν λόγω της μεγάλης απαίτησής τους σε ενέργεια. Η ανακύκλωση έχει μειώσει σημαντικά τη χρήση ενέργειας στην κατασκευή αλουμινένιων κουτιών, τα οποία χρησιμοποιούν λιγότερο μέταλλο απ’ ότι στο παρελθόν.

Αναλύσεις Κύκλου Ζωής που γίνονται για τη σύγκριση προϊόντων γενικής χρήσεως, συχνά στηρίζονται όχι μόνο σε σταθερά δεδομένα αλλά και σε απαρχαιωμένα. Για παράδειγμα, σε ένα άρθρο του στο Science το 1991, ο Martin Hocking του πανεπιστημίου Victoria σύγκρινε τα χάρτινα με τα πλαστικά κύπελλα. Μια από τις πηγές ήταν μια αναφορά του 1982 από τον Neil McCubbin, που συμπεριλάμβανε δεδομένα για μύλους πολτοποίησης χαρτιού από τα τέλη του 1970. Ο Hocking απέδιδε 30 ως 50 κιλά BOD σε κάθε μετρικό τόνο (1,1 τόνοι) παραγωγής πολτού. Ωστόσο, σύμφωνα με ένα άρθρο του McCubbin που δημοσιεύτηκε στο Science, αναμενόταν ότι το 1991 οι πραγματικές εκπομπές από τους μύλους πολτοποίησης θα έχουν περιοριστεί σε 5 κιλά BOD ανά μετρικό τόνο παραγόμενου πολτού. Επίσης, ο Hocking ισχυρίστηκε ότι η παραγωγή των χάρτινων κυπέλλων απαιτεί 4,1 γραμμάρια πετρελαίου ανά κύπελλο και των κυπέλλων πολυστυρενίου 3,2 γραμμάρια, ενώ ο McCubbin τοποθέτησε την τιμή για τα χάρτινα κύπελλα μεταξύ των 1,5 και 2 γραμμαρίων ανά κύπελλο. Επιπροσθέτως, τα χάρτινα κύπελλα, αν είναι ανάγκη, μπορούν να κατασκευαστούν χωρίς σχεδόν καθόλου πετρέλαιο.

Ελλιπή δεδομένων

Όταν τα δεδομένα είναι अपαρχαιωμένα ή απύπαρκα, οι ερευνητές πρέπει να τα εκτιμήσουν. Οι ερευνητές του ινστιτούτου μελέτης συσκευασιών Tellus υιοθέτησαν μια νέα μέθοδο για τον καθορισμό του “κοινωνικού κόστους” συνδυασμένου με τους παράγοντες μόλυνσης. Χρησιμοποίησαν το συνολικό κόστος για τον έλεγχο της μόλυνσης, ως το κοινωνικό κόστος αυτής. Στη συνέχεια, για τον καθορισμό του κοινωνικού κόστους κάθε παράγοντα μόλυνσης για τον οποίο δεν είχαν πιστοποιημένα δεδομένα κόστους, πρώτα προσδιόρισαν την τοξικότητα κάθε παράγοντα μόλυνσης και μετά τους κατέταξαν με βάση το σχετικό υγειονομικό κίνδυνο. Ουσίες για τις οποίες δεν υπήρχαν πιστοποιημένα κοινωνικά κόστη συγκρίθηκαν με το μόλυβδο ώστε να εξεταστεί η τοξικότητά τους. Μια μολυσματική ουσία η οποία βρέθηκε να είναι δυο φορές πιο επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία από ότι ο μόλυβδος, θα χαρακτηριζόταν από ένα “κοινωνικό” κόστος διπλάσιο του μολύβδου.

Η απαραίτητη ακρίβεια των δεδομένων καθορίζεται ως τμήμα της φάσης καθορισμού στόχων και σκοπών (κεφάλαιο 2). Όταν επιλέγονται οι πηγές δεδομένων για τη συμπλήρωση του ΚΑΚΖ, το σχέδιο συλλογής δεδομένων ΚΑΚΖ εξασφαλίζει ότι η ποιότητα και η ακρίβεια των δεδομένων ικανοποιούν τις προσδοκίες αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις.

Τα βασικά στοιχεία ενός σχεδίου συλλογής δεδομένων περιλαμβάνουν τα εξής:

Καθορισμός των στόχων για την ποιότητα των δεδομένων.

Η ποιότητα δεδομένων της ΑΚΖ ορίζεται ως ο βαθμός αξιοπιστίας ανάμεσα σ' αυτά της εισόδου και εξόδου ξεχωριστά, στα συνολικά, και στις αναφορές που βασίζονται στη χρήση τους. Οι στόχοι για μια συγκεκριμένη ποιότητα δεδομένων θα πρέπει να διατυπώνονται ξεκάθαρα κατά το στάδιο προσδιορισμού του στόχου και της έκτασης της μελέτης.

Η χρησιμότητα και η αξιοπιστία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των δεδομένων. Η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων σε υπολογιστές, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για μια εκτίμηση της ποιότητάς τους. Τελευταία αν και σημειώθηκε σημαντική αύξηση των μεθόδων ΑΚΖ, η αμφισβήτησή τους λόγω της ποιότητας των δεδομένων είναι εμφανής. Η ΑΚΖ πρέπει να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη λόγω της πολυπλοκότητάς της και της εξάρτησής της από τα δεδομένα.[3]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ΑΚΖ συσκευασιών ροφημάτων. Η ανάλυση αυτή σύγκρινε τη χάρτινη με την πλαστικοποιημένη συσκευασία γάλακτος και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χάρτινη έχει λιγότερες αέριες εκπομπές από την πλαστική. Αυτό σχολιάστηκε από επιστήμονες της Ε.Ε., οι οποίοι εξέφρασαν αμφιβολίες για τη μεθοδολογία και την ποιότητα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Σημαντικός λόγος της παραπάνω αντίδρασης αποτέλεσε το γεγονός ότι για την πλαστικοποιημένη συσκευασία χρησιμοποιήθηκαν βιομηχανικοί μέσοι όροι δεδομένων, ενώ για τη χάρτινη ειδικά δεδομένα από συγκεκριμένη εταιρία.[Ends Report 230, March 1994]

Οι στόχοι ποιότητας των δεδομένων παρέχουν ένα πλαίσιο για το ισοζύγιο του διαθέσιμου χρόνου και πόρων σε σχέση με την ποιότητα των δεδομένων που απαιτείται για να ληφθεί μια απόφαση σχετικά με τις συνολικές επιπτώσεις στο περιβάλλον ή στην ανθρώπινη υγεία (EPA 1986). Οι στόχοι ποιότητας των δεδομένων συνδέονται στενά με τους γενικούς στόχους της μελέτης και εξυπηρετούν δύο αρχικούς σκοπούς:

- Να βοηθήσουν αυτούς που διεξάγουν ΑΚΖ στη δόμηση μιας προσέγγισης για τη συλλογή δεδομένων, βασισμένη στην ποιότητα των δεδομένων που απαιτείται για την ανάλυση.
- Να χρησιμεύουν ως κριτήρια απόδοσης της ποιότητας των δεδομένων.

Δεν υπάρχει κανένας προκαθορισμένος κατάλογος στόχων ποιότητας δεδομένων για όλες τις μελέτες ΑΚΖ. Ο αριθμός και η φύση των στόχων ποιότητας δεδομένων εξαρτώνται απαραιτήτως από το επίπεδο ακρίβειας που απαιτείται για την ενημέρωση αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις και που συμμετέχουν στη διαδικασία.

Τα ακόλουθα στοιχεία αποτελούν ένα κατάλογο υποθετικών στόχων ποιότητας δεδομένων:

- Τα τοπογραφικά δεδομένα (σχετικά με περιοχές) απαιτούνται για τις πρώτες ύλες και τις απαιτήσεις σε ενέργεια, την κατανάλωση νερού, τις εκπομπές στον αέρα, τα υγρά απόβλητα και τα στερεά απόβλητα.
- Οι κατά προσέγγιση τιμές δεδομένων είναι επαρκείς για την κατηγορία ενεργειακών δεδομένων.
- Τα δεδομένα εκπομπών στον αέρα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά παρόμοιων περιοχών στις ΗΠΑ.
- Στον ΚΑΚΖ πρέπει να περιλαμβάνεται ένα ελάχιστο 95% των εισροών υλικών και ενέργειας. Η ποιότητα δεδομένων έχει οριστεί ως ο βαθμός εμπιστοσύνης στα διάφορα δεδομένα εισόδου, στα δεδομένα ως σύνολο, και τελικά σε αποφάσεις που βασίζονται σε μελέτες ΑΚΖ με τη χρήση τέτοιων δεδομένων. Η ποιότητα δεδομένων επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:
 - την πηγή
 - τον όγκο
 - τη μέθοδο συλλογής και
 - το χρόνο αναφοράς των δεδομένων

Βάσεις δεδομένων από δημόσιους φορείς

Η ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται, διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από επαγγελματία σε επαγγελματία, που ερευνά το ίδιο προϊόν, όταν αυτά συλλέγονται ξεχωριστά από τον καθένα. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό αν σκεφτεί κανείς ότι τα δεδομένα ως επί το πλείστον πρέπει να εκτιμηθούν. Δηλαδή η ποιότητά τους εξαρτάται από τον χρόνο και τα χρήματα που ο κάθε επαγγελματίας διαθέτει. Μια λύση γι' αυτό είναι να υπάρχει μια τυποποιημένη βάση δεδομένων είτε ηλεκτρονική είτε από δημόσιες αναφορές.

Διεθνείς τυποποιήσεις

Οι τυποποιήσεις καθορίζονται κυρίως από δύο οργανισμούς. Ο ένας είναι ο SETAC και ο άλλος ο ISO. Επίσης το πρακτορείο προστασίας περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA) υπήρξε πολύ δραστήριο σ' αυτόν τον τομέα.

Δείκτες ποιότητας δεδομένων

Οι δείκτες ποιότητας των δεδομένων είναι συγκριτικές μετρήσεις επιδόσεων στις οποίες τα συλλεγόμενα δεδομένα μπορούν να μετρηθούν για να καθοριστεί εάν οι απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων έχουν καλυφθεί. Παρόμοια όπως και με τους στόχους για την ποιότητα των δεδομένων, δεν υπάρχει κανένας προκαθορισμένος κατάλογος δεικτών ποιότητας δεδομένων για όλους τους ΚΑΚΖ. Η επιλογή των δεικτών ποιότητας δεδομένων εξαρτάται από το ποιοι είναι πιο κατάλληλοι και εφαρμόσιμοι σε συγκεκριμένες πηγές δεδομένων που αξιολογούνται. Στην αρχή της μελέτης προσδιορίζονται οι στόχοι της ποιότητας δεδομένων με βάση τον σκοπό της μελέτης, την διαθεσιμότητα και τις πηγές των δεδομένων. Οι στόχοι της ποιότητας δεδομένων βρίσκονται σε συμφωνία με ειδικούς δείκτες. Αυτοί μπορεί να είναι είτε ποιοτικοί είτε ποσοτικοί. Επιλέγονται ανάλογα με το σκοπό της ΑΚΖ και τις μεθοδολογίες που έχουν οριστεί για τη μελέτη. Μετά τη συλλογή και καταγραφή των δεδομένων οι δείκτες ποιότητας χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση της ποιότητας των τελικών δεδομένων, σε σχέση με τους τελικούς στόχους, για να εξακριβωθεί αν και κατά πόσο επιτεύχθηκαν, οπότε και τίθενται περιορισμοί στα αποτελέσματα. Πραγματοποιούν δηλαδή μια κριτική αναθεώρηση της μελέτης.

Παραδείγματα δεικτών ποιότητας δεδομένων είναι η ακρίβεια, η πληρότητα, η συνέπεια, η αντιπροσωπευτικότητα και η δυνατότητα αναπαραγωγής.

Ανάπτυξη ενός φύλλου εργασίας και μιας λίστας ελέγχου συλλογής δεδομένων.

Το επόμενο βήμα είναι να αναπτυχθεί μια λίστα ελέγχου ΚΑΚΖ που να καλύπτει τις περισσότερες από τις περιοχές αποφάσεων κατά την εκτέλεση ενός ΚΑΚΖ (βλ. Παράρτημα Α). Μια λίστα ελέγχου μπορεί να προετοιμαστεί για να καθοδηγήσει τη συλλογή και την επικύρωση των δεδομένων και για να επιτρέψει την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για την ηλεκτρονική

αποθήκευση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί. Στη λίστα ελέγχου ΚΑΚΖ πρέπει να εξεταστούν οι ακόλουθες οκτώ γενικές περιοχές αποφάσεων:

- ο σκοπός του ΚΑΚΖ
- ο όρια του συστήματος
- ο γεωγραφικό πεδίο
- ο τύποι δεδομένων που χρησιμοποιούνται
- ο διαδικασίες συλλογής δεδομένων
- ο μέτρα ποιότητας δεδομένων
- ο δημιουργία υπολογιστικού μοντέλου
- ο παρουσίαση αποτελεσμάτων.

Πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα συνοδευτικό φύλλο εργασίας δεδομένων (βλ. παράρτημα

A) για να καταγραφούν οι εισροές και εκροές για κάθε διεργασία που προσομοιώνεται στο διάγραμμα ροής.

Η λίστα ελέγχου και το φύλλο εργασίας είναι πολύτιμα εργαλεία για διασφάλιση της πληρότητας, της ακρίβειας και της συνέπειας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικά για μεγάλα έργα όταν διάφοροι άνθρωποι συλλέγουν τα δεδομένα από πολλές πηγές. Η λίστα ελέγχου και το φύλλο εργασίας πρέπει να προσαρμοστούν για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης ΑΚΖ.

Ένα γενικό σύνολο από δείκτες ποιότητας δεδομένων έχουν δοθεί στον Πίνακα 2.2 μαζί με μερικές άμεσες εφαρμογές της ΑΚΖ.

Οι δείκτες που επιλέγονται για κάθε συγκεκριμένη μελέτη εξαρτώνται από το σκοπό της, για παράδειγμα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση εσωτερικής παραγωγής ή εξωτερικό μάρκετινγκ προϊόντων. Για εσωτερικούς σκοπούς, η ακρίβεια και η πληρότητα ίσως είναι αρκετή, αλλά στις εξωτερικές εφαρμογές χρειάζονται περισσότεροι δείκτες. Π.χ. αν η ΑΚΖ πρόκειται να χρησιμοποιηθεί δημόσια για τη σύγκριση ενός προϊόντος με ένα ανταγωνιστικό του, θα πρέπει να είναι αυστηρή και καθορισμένη. Χρειάζεται τότε να οριστεί ένα εύρος ποιοτικών και ποσοτικών δεικτών (οι δείκτες που έχουν σημειωθεί στον Πίνακα 2.2 είναι ενδεικτικοί και παρέχονται διευκρινιστικά).

Η τυποποίηση κατά ISO θέτει μερικούς ελάχιστους κανόνες ποιότητας δεδομένων. Σύμφωνα με αυτούς, οι απαιτήσεις της ποιότητας δεδομένων θα πρέπει να καθορίζονται έτσι ώστε να καθιστούν ικανή την ταύτιση του στόχου και του σκοπού της ΑΚΖ. Οι απαιτήσεις της ποιότητας δεδομένων θέτουν ζητήματα όπως:

- Ακρίβεια, πληρότητα και αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων και των πηγών τους.
- Συνοχή και ικανότητα αναπαραγωγής της μεθοδολογίας μιας ΑΚΖ.
- Πηγές των δεδομένων.
- Μεταβλητότητα και αβεβαιότητα των πληροφοριών και των μεθόδων.

Όταν οι μελέτες ΑΚΖ χρησιμοποιούνται για να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών θέσεων τότε η ακρίβεια, η πληρότητα και η αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων, όπως επίσης η ακρίβεια και η ικανότητα αναπαραγωγής των μεθόδων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της ΑΚΖ θα πρέπει να είναι καθορισμένες.

Γενικά, οι δείκτες ποιότητας δεδομένων χρησιμοποιούνται για τους ακόλουθους σκοπούς:

- Για να αποτιμήσουν την ποιότητα της τρέχουσας μελέτης ώστε να εντοπίσουν “ασθενή σημεία”.

Για να αποτιμήσουν δεδομένα που προέκυψαν από βιβλιογραφία και έγγραφα πριν χρησιμοποιηθούν στην μελέτη.

Πίνακας 2.2: Δείκτες ποιότητας δεδομένων που απαιτούνται ανάλογα με τον σκοπό διεξαγωγής μιας ΑΚΖ.

Σκοπός μελέτης Δείκτες	Βελτίωση εσωτερικής παραγωγής	Αποτίμηση προϊόντος	Προώθηση (μάρκετινγκ) προϊόντος
Ποσοτικοί δείκτες			
Ακρίβεια και ορθότητα	+	+	+
Πληρότητα	+	+	+
Κατανομή		+	+
Ομοιογένεια			+
Σχέσεις αλληλεξάρτησης			
Αβεβαιότητα			+
Ποιοτικοί δείκτες			
Συνοχή	+	+	+
Εφαρμοσιμότητα/ καταλληλότητα		+	+
Συγκρισιμότητα		+	+
Αντιπροσωπευτικότητα			+
Αναγνώριση ιδιομορφιών		+	+
Ικανότητα αναπαραγωγής	+	+	+
Προσιτότητα/ διαθεσιμότητα			+

Μερικοί από τους δείκτες ποιότητας αναπτύσσονται παρακάτω:

- Ακρίβεια και ορθότητα

Δεδομένα για συγκεκριμένες εισόδους και εκπομπές προτιμούνται από πιο γενικά δεδομένα. Όποτε είναι δυνατό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δεδομένα από διεργασίες κατασκευής που σχετίζονται άμεσα με το υλικό, το προϊόν ή τη διαδικασία.

- Πληρότητα

Η πληρότητα είναι το ποσοστό επί τοις εκατό των δεδομένων που είναι διαθέσιμα για ανάλυση, σε σχέση με την ποσότητα των δεδομένων που υπάρχουν. Μια ΑΚΖ δεν μπορεί να καλύπτει τα πάντα. Πρέπει επίσης να αποφασιστεί ποια δεδομένα είναι κρίσιμα για τη μελέτη οπότε και πρέπει να συμπεριληφθούν, και ποια μπορούν να αγνοηθούν χωρίς να επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα.

- Αβεβαιότητα

Κατά τη διαδικασία της συλλογής των δεδομένων υπάρχει πιθανότητα να προκύψουν κενά μεταξύ τους λόγω:

- της απουσίας δεδομένων από μερικούς παραγωγούς για ένα συγκεκριμένο υλικό. Μια λύση για αυτό είναι να υποθέσουμε ότι τα δεδομένα που λείπουν είναι ισοδύναμα με την μέση τιμή των δεδομένων των εφαρμογών που είναι διαθέσιμα και
- του γεγονότος ότι τα δεδομένα είναι δυσεύρετα ή λιγότερα από ένα αναγκαίο ποσό. Σε αυτές τις περιπτώσεις η τιμή που αναζητείται θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, με μια υποσημείωση ότι η πραγματική τιμή μπορεί να είναι μικρότερη.

- Συνοχή και ικανότητα αναπαραγωγής της μεθοδολογίας μιας ΑΚΖ.

Η μεθοδολογία μιας ΑΚΖ θα πρέπει να εφαρμόζεται με κάποια συνοχή σε όλα τα στάδια της ανάλυσης. Αυτό συμπεριλαμβάνει τον τρόπο συλλογής και τον τρόπο μέτρησης των δεδομένων. Βασική απαίτηση κάθε επιστημονικής μελέτης είναι και η ικανότητα να αναπαραγωγής. Πληροφορίες για τη μεθοδολογία και για τις πηγές των δεδομένων πρέπει να παρέχονται με επαρκείς λεπτομέρειες ώστε να μπορεί ο ερευνητής να διεκπεραιώσει τη μελέτη και να αναπαράγει τα αποτελέσματά της.

Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ένα περιστατικό που έλαβε χώρα στη Nufarm στη Μελβούρνη το 1991. Η Greenpeace ισχυρίστηκε ότι η εταιρία μόλυνε το αποχετευτικό σύστημα της Μελβούρνης με διοξείδια, και ότι τα διοξείδια μόλυναν τη φάρμα του Werritee εισχωρώντας στο θαλάσσιο οικοσύστημα του Port Phillip Bay. Δημιούργησε μεγάλο σάλο στα ΜΜΕ, προτρέποντας την ΕΡΑ να κάνει μια σειρά από εξετάσεις που όμως δεν βρήκαν τίποτα ανησυχητικό. Αργότερα μια επιστημονική αναφορά σχετική με το περιστατικό της Nufarm ουσιαστικά την αθώωσε. Το αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας ήταν η σπατάλη ενέργειας και η αμφιβολία για την αξιοπιστία της Greenpeace. Σε αυτήν την περίπτωση η έρευνα που χρησιμοποιήθηκε από την Greenpeace δεν μπορούσε να αναπαραχθεί.

- Εφαρμοσιμότητα ή καταλληλότητα των δεδομένων

Είναι η σχέση των δεδομένων με το σκοπό της μελέτης. Η εφαρμοσιμότητα ή καταλληλότητα μπορεί να αποτιμηθεί ανατρέχοντας στις πηγές, στους τύπους, και στην ηλικία των δεδομένων καθώς επίσης και στην τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεργασία.

- Συγκρισιμότητα

Η συγκρισιμότητα είναι ο βαθμός στον οποίο η μεθοδολογία επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων δύο διαφορετικών στοιχείων της ανάλυσης. Για να μπορέσουν να συγκριθούν διαφορετικά στοιχεία, π.χ. προϊόντα ή διεργασίες, πρέπει οι οριακές συνθήκες, οι κατηγορίες δεδομένων, οι υποθέσεις και τα δείγματα δεδομένων να είναι ίδια.

Μια ΑΚΖ για τη συσκευασία γάλακτος, κατακρίθηκε για τη μη συγκρισιμότητα των δεδομένων. Για την πλαστικοποιημένη συσκευασία χρησιμοποιήθηκαν βιομηχανικοί μέσοι όροι δεδομένων, ενώ για τη χάρτινη ειδικά δεδομένα από κάποια εταιρία. Τα πρώτα δείχνουν μεγαλύτερη επίπτωση στο περιβάλλον εξαιτίας της παλιότερης τεχνολογίας που χρησιμοποιούν.

- Αντιπροσωπευτικότητα

Για να εξασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητα, τα χαρακτηριστικά του δείγματος πρέπει να είναι αρκετά κοντά στον υπό μελέτη πληθυσμό ώστε να τον αντιπροσωπεύουν. Η αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων πρέπει να αναφέρεται στα αποτελέσματα.

Η έκθεση της EDIP (Wenzel και λοιποί.>.>, 1997) υπογραμμίζει τη σημασία του χαρακτηρισμού διαδικασίας. Η ποιότητα των δεδομένων περιγράφεται σε δύο επίπεδα: στο επίπεδο μεμονωμένων εισαγωγών και εξαγωγών και σ' αυτό ολόκληρης της διαδικασίας. Σύμφωνα με την EDIP, ο χαρακτηρισμός στοιχείων πρέπει γενικά να καλύψει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Καθορισμός του πεδίου της διαδικασίας
- η περιγραφή των διαδικασιών περιλαμβανομένων και αποκλεισμένων και των εισαγωγών και των εξαγωγών που δεν συνδέθηκαν με άλλες οικονομικές διαδικασίες
- η προδιαγραφή των ομο-προϊόντων παραγόμενα και η μέθοδος διάθεσης αυτών
- Χαρακτηρισμός στοιχείων
- περιγραφή των γνωστών κενών δεδομένων
- περιγραφή της πηγής δεδομένων
- πόσο καλά τα δεδομένα περιγράφουν τη διαδικασία και πόσο αντιπροσωπευτικά του μέσου όρου είναι αυτά;
- περιγραφή της αντιπροσωπευτικότητας της διαδικασίας για το στόχο της μελέτης
- περιγραφή της αξιολόγησης / υπολογισμού των συντελεστών της στατιστικής παραλλαγής για τις περιβαλλοντικές εισαγωγές και εξαγωγές.
- μαζική ισορροπία: υπολογισμός της μαζικής ισορροπίας για τη διαδικασία
- τεχνολογική ανάπτυξη
- περιγραφή των τεχνολογικών εξελίξεων και των τάσεων στις σημαντικότερες εισαγωγές και εξαγωγές
- περιγραφή της προβολής της διαδικασίας

2.2.3.3. Συλλογή δεδομένων

Στο στάδιο αυτό όλα τα σχετικά δεδομένα συλλέγονται και όλα τα στοιχεία ροής που συνδέονται με τη διεργασία ποσοτικοποιούνται σύμφωνα με τη βάση δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης διακρίνονται τα πρωτεύοντα από τα δευτερεύοντα δεδομένα καθώς επίσης και οι αντίστοιχες διαδικασίες.

Μερικά δεδομένα μπορεί να είναι δύσκολο ή αδύνατο να ληφθούν και τα διαθέσιμα δεδομένα μπορεί να είναι δύσκολο να μετατραπούν στη λειτουργική μονάδα που απαιτείται. Επομένως, τα όρια του συστήματος ή στόχοι ποιότητας των δεδομένων της μελέτης μπορεί να χρειαστεί να καθοριστούν βασισμένα στη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία είναι κοινή για τις περισσότερες ΑΚΖ.

Οι προσπάθειες συλλογής δεδομένων περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό έρευνας, επισκέψεων σε περιοχές και άμεσης επαφής με ειδικούς που παράγουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων ή ένα λογιστικό φύλλο μπορεί να είναι χρήσιμα για την αποθήκευση και το χειρισμό των δεδομένων. Σαν εναλλακτική λύση της ανάπτυξης από την αρχή ενός μοντέλου προσομοίωσης σε υπολογιστή, μπορεί να αποτελεί οικονομικά πιο αποδοτικό να αγοραστεί ένα εμπορικά διαθέσιμο πακέτο λογισμικού ΑΚΖ (Βλέπε Παράρτημα). Πριν από την αγορά ενός τέτοιου λογισμικού πακέτου ΑΚΖ, αυτοί που λαμβάνουν αποφάσεις ή ο επαγγελματίας της ΑΚΖ πρέπει να διασφαλίσουν ότι θα παρέχει το απαραίτητο επιθυμητό επίπεδο ανάλυσης δεδομένων.

Μια δεύτερη μέθοδος μείωσης χρόνου και πόρων για τη συλλογή δεδομένων είναι η λήψη δεδομένων που είναι ανεξάρτητα από την κάθε περιοχή. Διάφοροι οργανισμοί έχουν αναπτύξει βάσεις δεδομένων ειδικά για ΑΚΖ οι οποίες περιέχουν μερικά από τα βασικά δεδομένα που απαιτούνται συνήθως στην δημιουργία ενός ΚΑΚΖ. Μερικές από τις βάσεις δεδομένων πωλούνται μαζί με το λογισμικό συλλογής δεδομένων ΚΑΚΖ. Άλλες αποτελούν αυτόνομες πηγές. Πολλές επιχειρήσεις με ιδιόκτητο λογισμικό προσφέρουν επίσης συμβουλευτικές υπηρεσίες για μια μελέτη ΑΚΖ.

Όσον αφορά τη συλλογή δεδομένων, ο ISO 14041 (1998E) αναφέρει ότι "οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων ποικίλλουν με κάθε διαδικασία μονάδων στα διαφορετικά συστήματα που διαμορφώνονται από μια μελέτη ΑΚΖ. Οι διαδικασίες μπορούν επίσης να ποικίλουν λόγω της σύνθεσης και των προσόντων των συμμετεχόντων στη μελέτη και της ανάγκης να ικανοποιηθούν και οι απαιτήσεις ιδιοκτησιών και εμπιστευτικότητας. Τέτοιοι διαδικασίες και λόγοι πρέπει να τεκμηριωθούν."

Κάθε μια από τις διαδικασίες μονάδων πρέπει να περιγραφεί αρχικά για να καθορίσει: το που αρχίζει η διαδικασία μονάδων, από την άποψη της παραλαβής των πρώτων υλών ή των ενδιάμεσων προϊόντων

τη φύση των μετασχηματισμών και των διαδικασιών που εμφανίζονται ως τμήμα της διαδικασίας μονάδων και

το που τελειώνει η διαδικασία μονάδων, από την άποψη του προορισμού των ενδιάμεσων ή τελικών προϊόντων.

Η συλλογή δεδομένων απαιτεί λεπτομερή γνώση για κάθε διαδικασία μονάδων. Για να αποφύγει το διπλό υπολογισμό ή τα χάσματα, η περιγραφή κάθε διαδικασίας μονάδων πρέπει να καταγραφεί. Αυτό περιλαμβάνει μια ποσοτική και ποιοτική περιγραφή των στοιχείων εισόδου και εξόδου που απαιτούνται για να καθορίσουν το που αρχίζει και τελειώνει η διαδικασία, και τη λειτουργία της διαδικασίας μονάδων. Όπου η διαδικασία μονάδων έχει πολλαπλάσιες εισαγωγές (π.χ. πολλαπλάσια ρεύματα αποβλήτων αποχέτευσης σε εγκαταστάσεις κατεργασίας ύδατος) ή οι πολλαπλάσιες εξαγωγές, τα στοιχεία σχετικά με τις διαδικασίες κατανομής θα πρέπει να τεκμηριωθούν και να αναφερθούν.

Όταν τα στοιχεία συλλέγονται από τη δημοσιευμένη λογοτεχνία, η πηγή πρέπει να διευκρινιστεί. Για εκείνα τα δεδομένα που συλλέγονται από τη λογοτεχνία που είναι σημαντικά για τα συμπεράσματα της μελέτης, η δημοσιευμένη λογοτεχνία που παρέχει τις λεπτομέρειες για τη σχετική διαδικασία συλλογής δεδομένων, για το χρόνο όταν συλλεχθούν τα στοιχεία και για τους περαιτέρω δείκτες ποιότητας των δεδομένων, θα πρέπει να διευκρινιστεί. Εάν τέτοια δεδομένα δεν καλύπτουν τις αρχικές ποιοτικές απαιτήσεις δεδομένων, αυτό θα πρέπει να δηλωθεί.

Για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής, η μονάδα διεργασίας ή ο τύπος των εκπομπών στο περιβάλλον, καθορίζει την απαραίτητη πηγή δεδομένων ή / και τον τύπο που απαιτείται για την παροχή ικανοποιητικής ακρίβειας και ποιότητας για την εκπλήρωση των στόχων της μελέτης. Ο καθορισμός των απαραίτητων πηγών και τύπων δεδομένων πριν από τη συλλογή τους βοηθά στη μείωση των δαπανών και του χρόνου που απαιτούνται για τη συλλογή τους.

2.2.3.4. Πηγές των δεδομένων

Οι πηγές των δεδομένων μπορεί να είναι πρωτογενείς (όπως για τα δεδομένα που συλλέγονται για ειδικές διαδικασίες) ή δευτερογενείς (όπως για αυτά που συλλέγονται από αναφορές ή άλλες δημοσιευμένες πηγές). Αυτές προέρχονται από:

- βιομηχανικές αναφορές (εσωτερικές ή εξωτερικές)
- δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών
- κρατικές αναφορές
- αρχεία καταγραφής, βιβλία και ευρεσιτεχνίες
- βιβλία αναφοράς
- βάσεις δεδομένων
- εμπορικούς συνδέσμους
- συμβούλους
- σχετικές αναλύσεις, απογραφές στοιχείων/ κύκλων ζωής

Μια πρόσφατη ανασκόπηση από ειδικούς στην ΑΚΖ στη βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη έδειξε ότι η πιο συνηθισμένη, μέχρι στιγμής, πηγή δεδομένων είναι οι εταιρίες. Περίπου το 87% των επιχειρήσεων που ανταποκρίθηκαν, είχαν χρησιμοποιήσει αυτήν την πηγή, σε συνδυασμό με τα βιομηχανικά δεδομένα.

Όταν είναι δυνατό, συστήνεται η απόκτηση πλήρως καθορισμένων βιομηχανικών δεδομένων από παραγωγικές διαδικασίες. Επειδή οι διαδικασίες αυτές, συχνά, μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, θα πρέπει να αναζητούνται πρόσφατα δεδομένα. Τα δεδομένα της αναλυτικής απογραφής μπορεί να είναι εξειδικευμένα, στα πλαίσια της βιομηχανικής μονάδας, ή πιο γενικευμένα και ωστόσο να παραμένουν πρόσφατα.

Τα παραδείγματα των πηγών στοιχείων περιλαμβάνουν τα εξής:

- αρχεία / ημερολόγια λειτουργίας εξοπλισμού
- ενδείξεις μετρητών από τον εξοπλισμό
-
- δεδομένα αναφορών βιομηχανίας, βάσεις δεδομένων ή σύμβουλοι
- αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών
- κυβερνητικά έγγραφα, εκθέσεις, βάσεις δεδομένων και ιδρύματα διευθέτησης τραπεζών
- άλλες δημόσια διαθέσιμες βάσεις δεδομένων ή ιδρύματα διευθέτησης τραπεζών
- αρχεία, περιοδικά, έγγραφα, βιβλία και διπλώματα ευρεσιτεχνίας
- βιβλιογραφικές αναφορές
- εμπορικοί σύνδεσμοι
- σχετικές / προηγούμενες μελέτες ΚΑΚΖ
- προδιαγραφές εξοπλισμού και διεργασιών
- καλύτερη μηχανική γνώμη

Παραδείγματα τύπων δεδομένων αποτελούν:

- Μετρήσεις
- Προσομοιώσεις
- Δείγματα
- Ανεξάρτητα από συγκεκριμένη περιοχή (δηλ., αντιπροσωπευτικά δεδομένα)
- Δεδομένα ανεξάρτητα με τον ΚΑΚΖ (δηλ., δεδομένα που δεν προορίζονται για χρήση σε ένα ΚΑΚΖ)
- Δεδομένα προμηθευτών

Το απαραίτητο επίπεδο αθροιστικών δεδομένων πρέπει επίσης να διευκρινιστεί. Παραδείγματος χάριν, εάν τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά μιας διεργασίας ή διάφορων διεργασιών.

Στην αναλυτική απογραφή χρησιμοποιούνται συχνά διάφορες κατηγορίες δεδομένων. Αρχίζοντας με τις πιο αναλυτικές, έχουμε:

- Εξειδικευμένα δεδομένα στα πλαίσια μιας ξεχωριστής διεργασίας εντός μιας βιομηχανικής μονάδας, τα οποία δεν έχουν συνδυαστεί κατά οποιοδήποτε τρόπο.
- Σύνθετα δεδομένα από την ίδια λειτουργία ή δραστηριότητα τα οποία συνδυάζονται σε διάφορα σημεία της.
- Αθροιστικά δεδομένα τα οποία συνδυάζουν περισσότερες από μία λειτουργία.
- Βιομηχανικές μέσες τιμές: δεδομένα τα οποία παράγονται από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα εγκαταστάσεων, το οποίο θεωρείται ότι περιγράφει στατιστικά την τυπική λειτουργία μέσω διαφόρων τεχνολογιών.
- Γενικευμένα δεδομένα των οποίων η αντιπροσωπευτικότητα μπορεί να είναι άγνωστη αλλά τα οποία περιγράφουν ποιοτικά μια διεργασία ή μια τεχνολογία.

Ολοκληρωμένες και διεξοδικές αναλυτικές απογραφές συχνά απαιτούν τη χρήση δεδομένων, τα οποία θεωρούνται ιδιοκτησία του κατασκευαστή του προϊόντος, των προμηθευτών ή των πωλητών, ή των ειδικών πάνω στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής, που πραγματοποιούν τη μελέτη. Θέματα εμπιστοσύνης δεν τίθενται σε εταιρίες, οι οποίες χρησιμοποιούν δεδομένα της δικής τους βιομηχανικής μονάδας, για εσωτερικούς σκοπούς. Εντούτοις, η απόκτηση εμπιστευτικών στοιχείων, αποτελεί κρίσιμο θέμα σε αναλυτικές απογραφές, οι οποίες συντάσσονται για εξωτερική χρήση, όπου τα δεδομένα που αφορούν μια βιομηχανική μονάδα αποκτούνται από εξωτερικούς ερευνητές. Αυτό έχει σαν συνέπεια, οι μελέτες συχνά να περιέχουν ανεπαρκείς πηγές και ελλιπή δεδομένα ώστε να επιτραπεί μια

τεχνολογικής φύσεως εξωτερική επανεξέταση. Η έλλειψη δεδομένων τεχνολογικής φύσεως επηρεάζει αρνητικά την αξιοπιστία των αναλυτικών απογραφών κύκλου ζωής αλλά και τη μέθοδο για την πραγματοποίησή τους. Το βιομηχανικό απόρρητο και οι ανταγωνιστικές τεχνολογίες μιας εταιρίας πρέπει να προστατεύονται. Κατά τη συλλογή των δεδομένων (και κατόπιν κατά την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων), η προστασία των εμπιστευτικών επαγγελματικών πληροφοριών θα διακυβευτεί προς την ανάγκη για μια πλήρη και λεπτομερή ανάλυση ή την αποκάλυψη πληροφοριών. Συχνά λοιπόν είναι απαραίτητη κάποια μορφή συμφωνία για την διασφάλιση του απορρήτου κατά την πραγματοποίηση αναλυτικών απογραφών κύκλου ζωής, καθώς επίσης και η τυποποίηση της διαδικασίας της επανεξέτασης από ειδήμονες, για αναλυτικές απογραφές οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν σε έναν δημόσιο χώρο διακίνησης ιδεών. Συνεπώς, βιομηχανικά δεδομένα μπορεί να χρειαστεί να υποβληθούν προηγουμένως σε μια έμμεση εμπιστευτική επανεξέταση για να αποτελέσουν μια πηγή αθροιστικών δεδομένων για ένα έγγραφο το οποίο πρόκειται να ανακοινωθεί δημόσια.

Ο σκοπός, η έκταση, και τα όρια της αναλυτικής απογραφής βοηθούν τον αναλυτή να καθορίσει το επίπεδο ή τον τύπο των πληροφοριών που απαιτούνται. Για παράδειγμα, ακόμη και όταν ο αναλυτής μπορεί να αποκτήσει πραγματικά βιομηχανικά δεδομένα, με ποια μορφή και σε ποιο βαθμό θα τα παρουσιάσει; (π.χ. το εύρος των τιμών που παρατηρήθηκαν, βιομηχανικές μέσες τιμές, εξειδικευμένα δεδομένα εργοστασίου, καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές ελέγχου). Αυτά τα ερωτήματα μπορούν συνήθως να απαντηθούν εάν ο σκοπός, ή η έκταση έχει καθοριστεί πλήρως. Συνήθως, οι περισσότερες Αναλύσεις Κύκλου Ζωής που διατίθενται δημόσια παρουσιάζουν βιομηχανικούς μέσους όρους, ενώ πολλές εσωτερικές βιομηχανικές μελέτες χρησιμοποιούν εξειδικευμένα δεδομένα εργοστασίου. Προτείνεται πάντως, για εξωτερικές μελέτες κύκλου ζωής να παρέχεται και ένας δείκτης της μεταβλητότητας των δεδομένων μαζί με τις μέσες τιμές. Συχνά ο δείκτης της μεταβλητότητας θα είναι μια στατιστική παράμετρος, όπως η τυπική απόκλιση.

Παραδείγματα πηγών ιδιωτικών βιομηχανικών δεδομένων περιλαμβάνουν ανεξάρτητες ή ιδιωτικές αναφορές, περιοδικές μετρήσεις, λογιστικές ή μηχανολογικές αναφορές ή πακέτα δεδομένων, συγκεκριμένες μετρήσεις, και προδιαγραφές μηχανών.

Κρατικά έγγραφα και βάσεις δεδομένων παρέχουν πληροφορίες για διάφορες κατηγορίες διεργασιών και διατίθενται δημόσια. Τα περισσότερα κρατικά έγγραφα εκδίδονται σε περιοδική βάση, π.χ. ετησίως, ανά διετία, ή κάθε τέσσερα χρόνια. Εντούτοις, τα δεδομένα που δημοσιεύονται σε αυτά τα έγγραφα έχουν συνήθως ηλικία κάποιων ετών. Επίσης, τα δεδομένα που συναντώνται σ' αυτά πιθανόν να είναι λιγότερο σαφή και λιγότερο ακριβή απ' ό,τι τα βιομηχανικά δεδομένα από συγκεκριμένες βιομηχανικές μονάδες ή συγκροτήματα βιομηχανικών μονάδων. Παρόλα αυτά, ανάλογα με το σκοπό της μελέτης και τους συγκεκριμένους αντικειμενικούς στόχους των δεδομένων, αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να μην είναι κρίσιμοι. Όλες οι μελέτες θα πρέπει να αναφέρουν την ηλικία των δεδομένων που χρησιμοποιούν.

Οι κρατικές βάσεις δεδομένων περιλαμβάνουν τόσο βιβλιογραφικούς τύπους, οι οποίοι περιλαμβάνουν αναφορές απ' όπου μπορούν να συλλεχθούν δεδομένα, όσο και μη-βιβλιογραφικούς τύπους, όπου τα δεδομένα περιέχονται σε κάποια βάση δεδομένων.

Τεχνικά βιβλία, αναφορές, πρακτικά συνεδρίων και άρθρα τα οποία δημοσιεύονται σε τεχνικά περιοδικά μπορούν επίσης να παρέχουν πληροφορίες και στοιχεία για τις διεργασίες του συστήματος. Τα περισσότερα από αυτά διατίθενται δημόσια. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται σε αυτές τις πηγές είναι συχνά αρκετά παλιά και μπορεί να είναι είτε πάρα πολύ εξειδικευμένα είτε όχι αρκετά εξειδικευμένα. Πολλά από αυτά τα έγγραφα δίνουν περισσότερο θεωρητικά παρά πραγματικά στοιχεία διεργασιών. Αυτά τα δεδομένα μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά πραγματικών διεργασιών ή μπορεί να ασχολούνται με νέες τεχνολογίες που δεν έχουν δοκιμαστεί εμπορικά. Κατά τη χρήση τεχνολογικών πηγών δεδομένων ο αναλυτής πρέπει να λαμβάνει υπόψη του την ημερομηνία, την εξειδίκευση, και τη σχετικότητα των δεδομένων.

Έρευνες, σχεδιασμένες να συγκεντρώνουν πληροφορίες σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα από τελικούς χρήστες, μπορούν να παρέχουν τρέχουσες πληροφορίες πάνω στις παραμέτρους

της χρήσης κάποιου προϊόντος ή κάποιας υπηρεσίας. Οι έρευνες, συνήθως, επικεντρώνονται γύρω από κάποια ερωτήματα όπως:

- Για ποιο διάστημα ή πόσες φορές χρησιμοποιείται ένα προϊόν ή μια υπηρεσία πριν να τεθεί εκτός λειτουργίας; (π.χ. ο αριθμός των ετών που λειτουργεί μια τηλεόραση και ο αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας της)
- Ποια άλλα υλικά και ποιες ποσότητες αυτών των υλικών χρησιμοποιούνται κατά τη χρήση του προϊόντος ή/ και τη συντήρησή του; (π.χ. υδατική λοσιόν μετά το πλύσιμο των χεριών με σαπούνι)
- Πόσο συχνή είναι η ανάγκη για επισκευή ή συντήρηση του προϊόντος (π.χ. πόσο συχνά επισκευάζεται μια συσκευή κατά την διάρκεια ζωής της, και από ποιον γίνεται η επισκευή);
- Ποιες άλλες χρήσεις έχει το προϊόν πέρα από τον κύριο σκοπό του;
- Πως διαχειρίζεται ο τελικός χρήστης το προϊόν όταν εξαντλήσει τη χρήση του;

Συχνά, ο τελικός χρήστης δεν θα είναι σε θέση να παρέχει συγκεκριμένες λεπτομέρειες για τις εισόδους και εξόδους. Εντούτοις, μπορεί να δώσει στοιχεία για τις πρακτικές εφαρμογές από τις οποίες μπορούν να παραχθούν οι ροές εισόδου και εξόδου. Γενικά, ο τελικός χρήστης μπορεί να αποτελέσει πηγή σχετικών πληροφοριών από την οποία μπορούν να προκύψουν στοιχεία για την αναλυτική απογραφή της ενέργειας, των υλικών, και των ανεπιθύμητων ουσιών. Εταιρίες έρευνας αγοράς μπορούν συχνά να παρέχουν στοιχεία για την ποιοτική και ποσοτική χρήση και τις προτιμήσεις του καταναλωτή, απαλλάσσοντας τον αναλυτή από ιδιωτικές έρευνες αγοράς.

Η ανακύκλωση δίνει ένα παράδειγμα μερικών από τις δυνατότητες και τους περιορισμούς που συναντώνται κατά την συλλογή δεδομένων. Για μερικά προϊόντα, η ανακύκλωση με οικονομικά κίνητρα εφαρμόστηκε για πολλά χρόνια, οπότε υπάρχει ήδη μια υποδομή, καθώς και αγορές γι' αυτά τα προϊόντα. Τα δεδομένα γι' αυτά τα προϊόντα είναι τυπικά διαθέσιμα, συμπεριλαμβάνοντας τους βαθμούς ανακύκλωσής τους, τους καταναλωτές τους, τις απαιτήσεις σε φυσικούς πόρους και τις εκπομπές στο περιβάλλον από τις διαδικασίες ανακύκλωσης (συλλογή και επανακατεργασία). Δεδομένα για υλικά που αναφέρονται σε χαμηλούς βαθμούς ανακύκλωσης, με πρόσφατα δημιουργούμενες υποδομές ανακύκλωσης, είναι πολύ δύσκολο να αποκτηθούν. Σε κάθε περίπτωση, συχνά η καλύτερη πηγή δεδομένων για τις απαιτήσεις σε πρώτες ύλες και τις εκπομπές στο περιβάλλον είναι οι ίδιοι οι επεξεργαστές. Για τα δεδομένα των βαθμών ανακύκλωσης και των ανακυκλωμένων υλικών, καταναλωτές και επεξεργαστές μπορεί να είναι χρήσιμοι, αλλά και οι εμπορικές συναλλαγές καθώς και οι καταναλωτές των ανακυκλωμένων υλικών μπορούν επίσης να παρέχουν δεδομένα. Για προϊόντα τα οποία έχουν ανακυκλωθεί σε χαμηλό βαθμό, η εύρεση δεδομένων θα είναι πιο δύσκολη.

Δύο άλλες περιοχές για την συλλογή δεδομένων σχετίζονται με το σύστημα σαν σύνολο και με συγκρίσεις μεταξύ συστημάτων. Είναι απαραίτητο να αποκτηθούν δεδομένα για την συμμετοχή κάθε συστατικού στο προϊόν, που εκτιμάται είτε από τις προδιαγραφές του προϊόντος είτε υπολογίζοντας το βάρος κάθε συστατικού. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κατόπιν για να συνδυάσουν τα ξεχωριστά στοιχεία στην ανάλυση ολόκληρου του συστήματος. Λόγοι ισοδύναμης χρήσης για τα προϊόντα που συγκρίνονται μπορούν να αναπτυχθούν ερευνώντας ανάμεσα σε λιανοπωλητές και καταναλωτές, ή επιθεωρώντας περιοδικά καταναλωτές ή εμπορικές συναλλαγές.

Εκτός από τις πηγές δεδομένων, δύο ακόμη παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ποιότητας δεδομένων. Αυτοί είναι ο τρόπος που συλλέγονται τα δεδομένα και ο τρόπος που παράγονται.

Η συλλογή μπορεί να γίνει σε διάφορα επίπεδα:

- επιμέρους εξέταση
- μέσες τιμές (μηνιαίες/ ετήσιες)
- κανονικοποίηση (ανά μονάδα)

Επίσης δεδομένα μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπους:

- ακριβείς μετρήσεις

- εκτιμήσεις/ δείγματα
- μοντέλα/ υπολογισμούς
- θεσμοθετημένα όρια

2.2.3.5. Εγκυρότητα των δεδομένων

Όταν ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων και οργανωθούν σε κάποια μορφή, πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια πρέπει να είναι επαρκής για να υποστηρίξει τους σκοπούς διεξαγωγής της ΑΚΖ όπως καθορίζεται στους στόχους και στους σκοπούς. Διαθέσιμα εργαλεία για αυτόν τον σκοπό είναι τα εξής: ισοζύγια μάζας, ισοζύγια ενεργείας και συγκρίσεις με δεδομένα από άλλες πηγές

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1-2 στο κεφάλαιο 1, η ΑΚΖ είναι μια επαναληπτική διαδικασία. Ο καθορισμός της ευαισθησίας των προσπαθειών συλλογής δεδομένων ΚΑΚΖ σε σχέση με την ακρίβεια των δεδομένων πριν από τη διεξαγωγή της αποτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής (ΑΕΚΖ) συνεπάγεται εξοικονόμηση χρόνου και πόρων. Σε διαφορετική περίπτωση, η προσπάθεια ΑΕΚΖ μπορεί να χρειαστεί να επαναληφθεί εάν καθοριστεί αργότερα ότι η ακρίβεια των δεδομένων είναι ανεπαρκής για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Όταν γίνεται τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων του ΚΑΚΖ, είναι σημαντικό να περιγραφεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση, να καθοριστούν τα συστήματα που αναλύονται και τα όρια που τέθηκαν όπως επίσης και όλες οι υποθέσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της δημιουργίας του ΚΑΚΖ. Η χρήση λίστας ελέγχου και φύλλου εργασίας (βλ. Βήμα 2) βοηθά στην υποστήριξη μιας σαφούς διαδικασίας τεκμηρίωσης αυτών των πληροφοριών.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του ΚΑΚΖ η δημιουργία ενός καταλόγου που περιέχει τις ποσότητες ρύπων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον και το ποσό ενέργειας και υλικών που καταναλώνονται. Οι πληροφορίες μπορούν να οργανωθούν κατά στάδιο κύκλου ζωής, κατά μέσο (αέρας, νερό, έδαφος), κατά συγκεκριμένη διεργασία ή κατά οποιοδήποτε συνδυασμό αυτών που είναι σύμφωνος με τους κανόνες που καθορίζονται στο κεφάλαιο 2, για τις απαιτήσεις για υποβολή εκθέσεων.

Οποιαδήποτε δεδομένα που βρέθηκαν να είναι ανεπαρκή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επικύρωσης πρέπει να αντικατασταθούν. Ομοίως, τα ελλείπη δεδομένα πρέπει να προσδιοριστούν σ' αυτό το στάδιο και μια απόφαση πρέπει να ληφθεί σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα κενά πρόκειται να καλυφθούν.

Ένας έλεγχος στην ισχύ των δεδομένων πρέπει να διευθυνθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της συλλογής δεδομένων. Η εγκυρότητα μπορεί να περιλάβει την καθιέρωση, παραδείγματος χάριν, των μαζικών ισορροπιών, των ενεργειακών ισορροπιών ή/και της συγκριτικής ανάλυσης των συντελεστών εκπομπής. Οι προφανείς ανωμαλίες στα δεδομένα που εμφανίζονται από τέτοιες διαδικασίες εγκυρότητας απαιτούν τις εναλλακτικές τιμές δεδομένων που συμμορφώνονται με τις ποιοτικές απαιτήσεις των δεδομένων.

Για κάθε κατηγορία δεδομένων και για κάθε θέση υποβολής εκθέσεων όπου το ελλείπον δεδομένο προσδιορίζεται, η επεξεργασία των ελλειπόντων δεδομένων και των χασμάτων των δεδομένων πρέπει να οδηγήσει σε:

- μια αξία δεδομένων που να δικαιολογείται
- μια "μηδενική" αξία κάποιου δεδομένου εάν αυτή είναι δικαιολογημένη ή
- μια υπολογισμένη αξία που υπολογίζεται με βάση τις αναφερόμενες τιμές από τη μονάδα επεξεργασίας υιοθετώντας παρόμοια τεχνολογία.

Η επεξεργασία των ελλειπόντων δεδομένων θα πρέπει να τεκμηριωθεί.

2.2.3.6. Σκόπιμες Παραλήψεις

Ο αποκλεισμός συστημάτων, από την απογραφή δεδομένων, τα οποία δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μελέτης, είναι απαραίτητος ώστε το κόστος της μελέτης να διατηρείται σε λογικά επίπεδα. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για την καταγραφή μόνο του βασικού

εξοπλισμού, μερικών συστατικών ή προϊόντων, ή ορισμένων βοηθητικών υλικών. Τέτοιου τύπου αποκλεισμοί θα πρέπει να είναι λογικοί, να συμφωνούν με τον στόχο και το αντικείμενο της μελέτης, και να συνοδεύονται με πλήρη επεξήγηση και αιτιολόγηση.

Οποιοσδήποτε αποφάσεις παράληψης τα στάδια κύκλου ζωής, οι διαδικασίες ή οι εισερχόμενες /εξερχόμενες ροές θα δηλωθούν σαφώς και θα δικαιολογηθούν.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στον καθορισμό των ορίων συστημάτων υπαγορεύουν το βαθμό εμπιστοσύνης στην εξασφάλιση ότι τα αποτελέσματα

από τη μελέτη δεν έχουν συμβιβαστεί και ότι θα επιτευχθεί ο στόχος μιας δεδομένης μελέτης.

Διάφορα στάδια κύκλου ζωής, διαδικασίες μονάδων και ροές πρέπει να ληφθούν υπόψη, π.χ.:

- εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές στις κύριες ακολουθίες κατασκευής/ επεξεργασίας
- διανομή /μεταφορά
- παραγωγή και χρήση των καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας
- χρήση και συντήρηση των προϊόντων
- διάθεση των αποβλήτων και των προϊόντων
- αποκατάσταση των χρησιμοποιημένων προϊόντων (συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και της αποκατάστασης ενέργειας)
- κατασκευή βοηθητικών υλικών
- κατασκευή, συντήρηση και αποπλισμός του κύριου εξοπλισμού
- πρόσθετες διαδικασίες όπως ο φωτισμός και η θέρμανση
- άλλες εκτιμήσεις σχετικές με την αξιολόγηση του αντίκτυπου (αν υπάρχει).

Είναι χρήσιμο να περιγραφεί το σύστημα που χρησιμοποιεί ένα διάγραμμα διαδικασίας ροής που παρουσιάζει τις διαδικασίες των μονάδων και τις αλληλεξαρτήσεις τους

. Κάθε μια από τις διαδικασίες μονάδων πρέπει να περιγραφεί αρχικά για να καθορίσει:

- που αρχίζει η διαδικασία μονάδων, από την άποψη της παραλαβής των πρώτων υλών ή των ενδιάμεσων προϊόντων
- τη φύση των μετασχηματισμών και των διαδικασιών που εμφανίζονται ως τμήμα της διαδικασίας μονάδων και
- που οι διαδικασίες μονάδων τελειώνουν, από την άποψη του προορισμού των ενδιάμεσων ή των τελικών προϊόντων.

Διάφορα κριτήρια χρησιμοποιούνται στην πρακτική της A.K.Z. ώστε να αποφασιστούν ποιες εισαγωγές να μελετηθούν, συμπεριλαμβανομένης α) της μάζας, β) της ενέργειας και γ) της περιβαλλοντικής σχετικότητας. Κάνοντας τον αρχικό προσδιορισμό των εισερχόμενων ροών βασισμένο στη μαζική συμβολή από μόνος του μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές εισ. ροές που παραλείπονται από τη μελέτη. Συνεπώς, η ενέργεια και η περιβαλλοντική σχετικότητα πρέπει επίσης να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια σε αυτήν την διαδικασία:

α) μάζα: Η σωστή απόφαση, κατά τη χρησιμοποίηση της μάζας ως κριτήριο, θα πρόβλεπε το συνυπολογισμό στη μελέτη όλων των εισερχόμενων ροών που συμβάλλουν συσσωρευτικά περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό στην εισέλθουσα ροή της μάζας του συστήματος προϊόντων που διαμορφώνεται

β) ενέργεια: ομοίως, μια σωστή απόφαση, κατά τη χρησιμοποίηση της ενέργειας ως κριτήριο, θα πρόβλεπε το συνυπολογισμό στη μελέτη εκείνων των εισαγωγών που συμβάλλουν συσσωρευτικά περισσότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό των ενεργειακών εισερχόμενων ροών του συστήματος των προϊόντων

γ) περιβαλλοντική σχετικότητα: η απόφαση σχετικά με τα περιβαλλοντικά κριτήρια σχετικότητας πρέπει να ληφθεί ώστε να περιλάβει τις εισαγωγές που συμβάλλουν περισσότερο από ένα πρόσθετο καθορισμένο ποσοστό στην κατ' εκτίμηση ποσότητα κάθε μεμονωμένης κατηγορίας στοιχείων του συστήματος προϊόντων. Παραδείγματος χάριν, εάν τα οξείδια θείου επιλέχθηκαν ως κατηγορία στοιχείων, ένα κριτήριο θα μπορούσε να καθιερωθεί ώστε να περιλάβει οποιοσδήποτε εισερχόμενες ροές που συμβάλλουν περισσότερο από ένα

προκαθορισμένο ποσοστό στις συνολικές εκπομπές οξειδίων θείου για το σύστημα των προϊόντων.

Αυτά τα κριτήρια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν ποιες εξερχόμενες ροές πρέπει να αποτυπωθούν στο περιβάλλον, δηλ. με το να συμπεριλάβουν τις τελικές διαδικασίες επεξεργασίας αποβλήτων.

Όπου η μελέτη προορίζεται να υποστηρίξει έναν δημοσιοποιημένο συγκριτικό ισχυρισμό, η τελική ανάλυση ευαισθησίας των εισερχόμενων και εξερχόμενων ροών θα συμπεριλάβει τη μάζα, την ενέργεια και τα περιβαλλοντικά κριτήρια σχετικότητας, σύμφωνα με αυτή την υποπερίπτωση. Όλες οι επιλεγμένες εισερχόμενες ροές που προσδιορίζονται με αυτήν την διαδικασία πρέπει να μοντελοποιούνται ως αρχικές ροές.

Source: ISO 14041 (1998E); clause 5.3.5.

Επομένως καλό είναι να αποφεύγονται αυθαίρετες αποκοπές χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως:

- εκτίμηση ροών χρησιμοποιώντας εκτεταμένα περιβαλλοντικά μοντέλα εισόδου-εξόδου
- εκτίμηση ροών από παρόμοιες ροές για τις οποίες είναι γνωστά τα δεδομένα
- αποκοπή βασισμένη σε προκαθορισμένα κριτήρια

2.2.4. Διαδικασία υπολογισμού

Κατά την απογραφή των δεδομένων του συνολικού συστήματος: α) Υπολογίζεται το συνολικό ισοζύγιο μάζας. Η έξοδος της λειτουργίας που αντιστοιχεί στη λειτουργική μονάδα, και οι εισοδοί υλικών σε όλες τις λειτουργίες των υποσυστημάτων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ισοζυγίου μάζας που συνδέει όλες τις επιμέρους λειτουργίες με το συνολικό σύστημα. Με την ολοκλήρωση του συνολικού ισοζυγίου μάζας, ποσοτικοποιούνται οι έξοδοι κάθε υποσυστήματος ξεχωριστά. β) Υπολογίζεται η συνεισφορά καθενός υποσυστήματος στο συνολικό σύστημα, πολλαπλασιάζοντας όλα τα εξισορροπημένα δεδομένα με την εξερχόμενη μάζα. Το συνολικό σύστημα περιγράφεται μέσω του αθροίσματος της συνεισφοράς καθενός από τα υποσυστήματα.

Στο ISO 14041 (1998E) διάφορα βήματα διακρίνονται υπό τον τίτλο των διαδικασιών υπολογισμού:

- η επικύρωση των στοιχείων
- ο συσχετισμός των στοιχείων στη διαδικασία των μονάδων
- ο συσχετισμός των στοιχείων στη λειτουργική μονάδα και στη συνάθροιση στοιχείων
- καθορισμός των ορίων του συστήματος.

Στο συσχετισμό των στοιχείων στη λειτουργική μονάδα και στη συνάθροιση στοιχείων η ISO 14041 πρόταση 6.4.4 δηλώνει :

Με βάση τα όρια των διαγραμμάτων ροής και των συστημάτων, οι διαδικασίες των μονάδων διασυνδέονται για να επιτρέψουν τους υπολογισμούς στο πλήρες σύστημα. Αυτό ολοκληρώνεται με την ομαλοποίηση των ροών όλων των διαδικασιών των μονάδων στο σύστημα της λειτουργικής μονάδα. Ο υπολογισμός πρέπει να οδηγήσει σε όλα τα δεδομένα εισερχόμενης ροής και εξόδου των συστημάτων που παραπέμπονται στη λειτουργική μονάδα.

Προσοχή πρέπει να δοθεί κατά τη συνάθροιση των εισερχόμενων και των εξερχόμενων ροών στο σύστημα προϊόντων. Το επίπεδο συνάθροισης πρέπει να είναι ικανοποιητικό για να εκπληρώσει το στόχο της μελέτης. Οι κατηγορίες στοιχείων πρέπει μόνο να αθροιστούν εάν συσχετίζονται με τις ισοδύναμες ουσίες και με τις παρόμοιες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Εάν απαιτούνται πιο λεπτομερείς κανόνες συνάθροισης, πρέπει να δικαιολογηθούν στη φάση στόχου και σκοπού της μελέτης ή πρέπει να αφεθούν σε μια επόμενη φάση αντίκτυπου-αξιολόγησης.

Πηγή: ISO 14041, 1998E

Προτάση ISO 14041 (1998E) 6.4.1 δηλώνει :

Κατά τον καθορισμό των στοιχειωδών ροών που συνδέονται με την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, προσοχή πρέπει να δοθεί στο μίγμα παραγωγής και τις αποδοτικότητες της καύσης, της μετατροπής, της μετάδοσης και της διανομής. Οι υποθέσεις που γίνονται θα δηλωθούν σαφώς και θα δικαιολογηθούν. Όπου είναι δυνατόν, πρέπει να χρησιμοποιηθεί το πραγματικό μίγμα παραγωγής προκειμένου να απεικονιστούν οι διάφοροι τύποι καυσίμων που καταναλώνονται.

Οι εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές συσχετιζόμενες με ένα καύσιμο υλικό, π.χ. πετρέλαιο, αέριο ή άνθρακας, μπορούν να μετασχηματιστούν σε μια ενεργειακή εισερχόμενη ή εξερχόμενη ροή με τον πολλαπλασιασμό του με τη σχετική θερμότητα της καύσης. Σε αυτήν την περίπτωση θα αναφερθεί εάν χρησιμοποιείται η υψηλότερη ή η χαμηλότερη αξία θέρμανσης. Η ίδια διαδικασία υπολογισμού πρέπει να εφαρμοστεί σε όλη τη μελέτη.

[...]. Όλες οι διαδικασίες υπολογισμού θα τεκμηριωθούν ρητά.

2.2.4.1. Πολυλειτουργικότητα και κατανομή

Σε πολλά υποσυστήματα, εκτός από το τελικό προϊόν προκύπτουν και άλλα παράγωγα. Η διαχείριση των παραπροϊόντων μπορεί να πραγματοποιηθεί σαν ξεχωριστή λειτουργία. Ένα σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει ένα στοιχείο που προέρχεται από “ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου” (open-loop recycling). Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου αναφέρεται σε ένα προϊόν ή συστατικό, που μεταφέρεται από ένα σύστημα σε κάποιο άλλο, το οποίο χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή ενός διαφορετικού προϊόντος. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας συμβατός τρόπος προσδιορισμού αυτών των ροών εισόδου και εξόδου που αποδίδονται στο σύστημα παραγωγής και οι οποίες αποτελούν το αντικείμενο της μελέτης. Για παράδειγμα, οι πραγματικές εκπομπές στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος κατανέμονται στο προϊόν που επικεντρώνει το ενδιαφέρον, σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιώντας σαν βάση επιμερισμού την μάζα, ή άλλα φυσικά κριτήρια. Εκεί όπου οι μέθοδοι κατανομής με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν να εφαρμοστούν, χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι (π.χ., θεωρητική θερμοδυναμική, οικονομική προσέγγιση, κλπ.).

Δευτερεύοντα προϊόντα

Μια στοιχειώδης διεργασία μέσα στο υπό μελέτη σύστημα μπορεί να αποδίδει δύο ή και περισσότερα τελικά προϊόντα, εκ των οποίων μόνο ένα χρησιμοποιείται για περαιτέρω επεξεργασία εντός του συστήματος. Για παράδειγμα, αν το χλώριο εισέρχεται σε μια λειτουργία του συστήματος, η αντίθετης ροής κατασκευαστική λειτουργία θα παράγει επίσης ένα ισοδύναμο ποσό καυστικής σόδας. Αν το άλλο (τα άλλα) προϊόν εγκαταλείπει το σύστημα για την ευεργετική χρήση του σε άλλα συστήματα (δηλ. δεν αντιμετωπίζεται σαν απόβλητο που απορρίπτεται στο περιβάλλον από το υπό μελέτη σύστημα), θα πρέπει να γίνει μια μείωση της συνεισφοράς του σε όλες τις εισόδους και εξόδους αντίθετης ροής (δηλ. της αντίστροφης διαδικασίας) προς και από το σύστημα. Αυτό ακριβώς είναι το πρόβλημα της κατανομής δευτερεύοντος προϊόντος.

Το αντικείμενο της κατανομής δευτερεύοντος προϊόντος είναι η χρησιμοποίηση μιας παραμέτρου κατανομής, η οποία αντικατοπτρίζει, όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται, την φυσική συμπεριφορά του ίδιου του συστήματος. Η πιο κοινή τεχνική είναι να κατανεμηθεί με βάση τη μάζα. Παρόλο που η ακριβής τεχνική κατανομής μπορεί να διαφέρει από το ένα σύστημα στο άλλο, η εκλογή της βάσης κατανομής θα πρέπει να συνδέεται άμεσα με τη χημική και τη φυσική της διεργασία. Για παράδειγμα, όταν ο ασβεστόλιθος υπόκειται σε κατεργασία άλεσης, προκύπτουν δύο προϊόντα, ασβεστόλιθος σε μορφή κόκκων και σκόνη ασβεστόλιθου. Οι εισροές στο μύλο και οι εκροές από αυτόν μπορούν να κατανεμηθούν ανάμεσα στα δύο προϊόντα με βάση τη σχετική μάζα τους.

Διαδικασία αντιμετώπισης των αποβλήτων

Σε περιπτώσεις παραγωγής διαφόρων προϊόντων από το ίδιο σύστημα ή εργοστάσιο, ο έλεγχος των αερίων εκπομπών, η αντιμετώπιση των υγρών αποβλήτων, και των στερεών απορριμμάτων μπορεί να γίνεται μέσω κοινών εγκαταστάσεων. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να

διαχωρίζεται το μίγμα των αποβλήτων από τα προϊόντα εξόδου, που επικεντρώνουν το ενδιαφέρον κατά την ΑΚΖ, με βάση τη μάζα, ή άλλες φυσικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

Ανακύκλωση

Κάθε περίπτωση ανακύκλωσης είναι απλά ένα σύνολο υποσυστημάτων εντός του κύριου συστήματος. Η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου (closed-loop recycling) επαναφέρει το υλικό στην αρχική διεργασία. Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου, όπως ήδη προαναφέρθηκε, αναφέρεται σε ένα προϊόν ή συστατικό που μεταφέρεται από ένα σύστημα σε κάποιο άλλο, στο οποίο χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή ενός διαφορετικού προϊόντος, π.χ. μια φιάλη PET χρησιμοποιείται για την παραγωγή ινών για τάπητες. Σ' αυτή την περίπτωση τα δύο συστήματα που πραγματοποιούν διαφορετικές λειτουργίες, συνδέονται μεταξύ τους επειδή μοιράζονται κοινές εισόδους και εξόδους.

Η κατάλληλη μέθοδος για την ανάλυση αυτών των συστημάτων που συνδέονται μεταξύ τους (ιδιαίτερα όταν περιλαμβάνονται λίγα συστήματα) είναι η μελέτη των εισροών και εκροών του συνολικού συστήματος. Παρόλα αυτά, σε περίπτωση που περιέχονται πολύπλοκα συνδεδεμένα συστήματα (π.χ. επεξεργασία του πετρελαίου όπου μπορεί να επεξεργάζονται μέχρι και 20 προϊόντα), μπορεί η μέθοδος να μην είναι πρακτική. Για την μελέτη ενός συστήματος, πρέπει να ληφθούν αποφάσεις μέσω μιας αυθαίρετης κατανομής.

Γενικά, η κατάλληλη μέθοδος κατανομής εξαρτάται από το αντικείμενο και το σκοπό της μελέτης. Παρόλα αυτά, είναι απαραίτητο :

1. Να χρησιμοποιηθεί μια προσέγγιση λογικής κατανομής, σύμφωνη με τον στόχο της μελέτης, και
2. Να εξηγηθεί με σαφήνεια η προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην τελική αναφορά.

2.2.4.2. Διαχείριση της ενέργειας-πρώτων υλών

Κατά την απογραφή δεδομένων, οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται για την παραγωγή (και μετατροπή) της ενέργειας αποτελούν μέρη του συστήματος και συνεισφέρουν στην απογραφή όπως και κάθε άλλο υποσύστημα.

Τα εισερχόμενα σε κάθε διεργασία υλικά συχνά αναφέρονται ως πρώτες ύλες τροφοδοσίας. Είναι σημαντικό, παρόλα αυτά, να γίνει διαχωρισμός μεταξύ ανόργανων και οργανικών πρώτων υλών. Οι ανόργανες ή μεταλλικές πρώτες ύλες τροφοδοσίας είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστούν γιατί κατά την επεξεργασία τους, η μάζα διατηρείται είτε μέχρι το τελικό προϊόν είτε μέχρι την έξοδο των αποβλήτων. Με ένα σχετικά απλό τρόπο εφαρμογής του ισοζυγίου μάζας μπορεί να βεβαιωθεί ότι κανένα από τα υλικά δεν απωλέσθηκε κατά την επεξεργασία.

Ο υπολογισμός των οργανικών πρώτων υλών τροφοδοσίας είναι πιο πολύπλοκος. Οργανικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως είσοδος μάζας είτε ως είσοδος καυσίμου. Όταν χρησιμοποιούνται σαν καύσιμο, το υλικό καίγεται για να παράγει ενέργεια προς χρήση. Από την άλλη, όταν χρησιμοποιούνται οργανικές ύλες σαν μάζα, η ενέργεια που εισάγεται μπορεί να παραμείνει στο προϊόν χωρίς να υποστεί καμία μεταβολή. Το ενεργειακό περιεχόμενο αυτού του υλικού είναι διαθέσιμο προς ανάκτηση, καίγοντας το όταν το προϊόν έχει ολοκληρώσει τη βασική λειτουργία του.

Συνεπώς, κατά την περιγραφή των απαιτήσεων σε φυσικούς πόρους οποιουδήποτε προϊόντος, είναι σημαντικό να περιλαμβάνεται και η ενέργεια που περιέχεται στις πρώτες ύλες τροφοδοσίας, ιδιαίτερα όταν η πρώτη ύλη τροφοδοσίας χρησιμοποιείται σαν πηγή ενέργειας. Εάν το προϊόν τελικά καίγεται, τότε μια συγκεκριμένη ποσότητα της ενέργειας τροφοδοσίας θα επανακτηθεί καταλήγοντας και αυτή στα αέρια, υγρά και στερεά απόβλητα. Το γεγονός ότι το υλικό στο τέλος της ζωής του συχνά δεν καίγεται με ενεργειακά χρήσιμο τρόπο συνεπάγεται μια απώλεια των διαθέσιμων φυσικών πόρων.

Η ενέργεια τροφοδοσίας υπολογίζεται ως η ανώτερη θερμογόνο δύναμη των πηγών ενέργειας που λαμβάνεται από τα ενεργειακά αποθέματα της γης. Για τα καύσιμα, η ανώτερη θερμογόνο δύναμη είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποδοθεί από ένα καύσιμο και

τελικά, είναι ένα μέτρο της συνολικής ενέργειας που αποσπάται από την γη. Η ενέργεια των πρώτων υλών τροφοδοσίας δεν θα πρέπει να μεταφράζεται ως το θερμικό περιεχόμενο των εξερχόμενων ενός συστήματος αλλά ως το θερμικό περιεχόμενο των εισερχόμενων. Όσο διαρκεί ο κύκλος ζωής των υλικών, ένα μέρος της ενέργειας των πρώτων υλών τροφοδοσίας μπορεί να χαθεί κατά τη διάρκεια διαφόρων διεργασιών.

2.2.4.3. Κρίσιμα σημεία κατά την διεξαγωγή της αναλυτικής απογραφής

Ανάπτυξη αυτόνομων δεδομένων

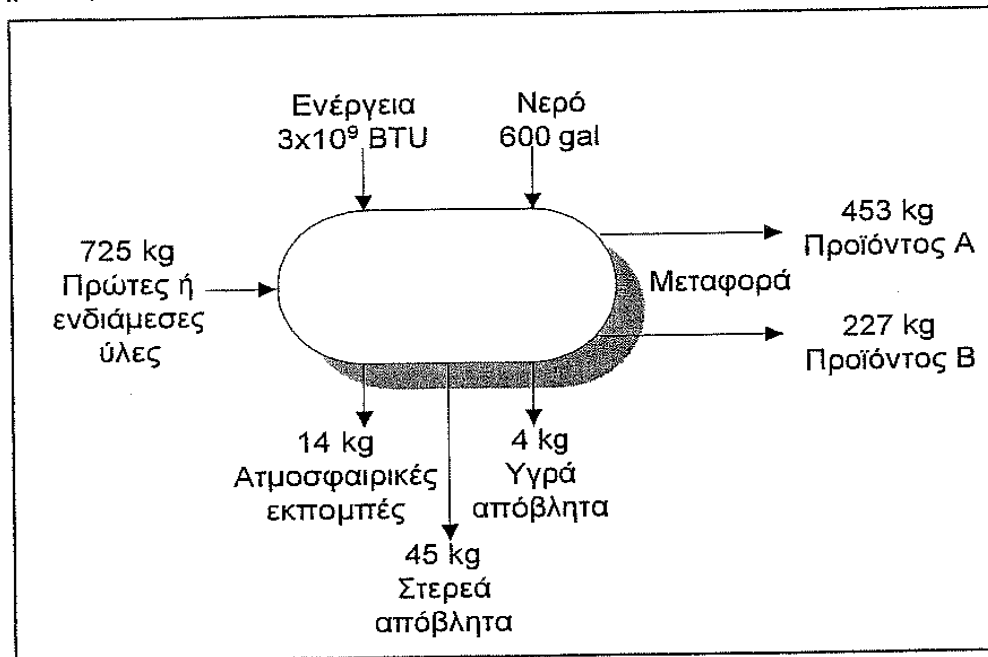
“Αυτόνομα δεδομένα” είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για να τυποποιήσουν ή να κανονικοποιήσουν τις εισροές και τις εκροές της υπομονάδας κάθε υποσυστήματος για το συγκεκριμένο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα που αναλύεται. Πρέπει να αναπτύσσονται για κάθε υποσύστημα ώστε να προσαρμόζουν τα υποσυστήματα σε ένα και μοναδικό σύστημα. Σ’ αυτό το στάδιο επιδιώκονται δύο στόχοι: (1) η παρουσίαση δεδομένων για κάθε υποσύστημα εμφανίζοντας την ίδια ποσότητα προϊόντος στην έξοδο κάθε υποσυστήματος, (2) η ανάπτυξη των δεδομένων που αφορούν τον κύκλο ζωής μόνο του προϊόντος που εξετάζεται στην αναλυτική απογραφή. Πρώτα, πρέπει να καθοριστεί μια τυποποιημένη μονάδα εξόδου για κάθε υποσύστημα. Όλα τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν σε σχέση με την παραγωγή ενός συγκεκριμένου αριθμού γραμμαρίων, κιλών, ή τόνων του προϊόντος του υποσυστήματος. Για παράδειγμα, η παραγωγή ξυλείας, η παραγωγή χαρτιού και η συσκευασία σαπουνιού είναι όλα στάδια της συσκευασίας του σαπουνιού όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για τα ξεχωριστά στάδια ή υποσυστήματα δεν είναι απαραίτητο να ταιριάζουν με αυτές του τελικού προϊόντος.

Εφόσον έχει ληφθεί η απόφαση για τον τρόπο παρουσίασης, τα δεδομένα που αποκτώνται από το υποσύστημα, πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στη μορφή του προϊόντος στην έξοδο. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι ένας αναλυτής που πραγματοποιεί μια μελέτη σε μια πλάκα σαπουνιού έχει συλλέξει στοιχεία για το υποσύστημα παρασκευής καυστικού. Σ’ αυτή τη διαδικασία παράγονται τρία υποπροϊόντα: καυστικό, χλώριο και υδρογόνο. Ας υποθέσουμε ότι τα δεδομένα που αποκτήθηκαν για την διεργασία δόθηκαν αναφορικά με τη συνολική παραγωγή 500 τόνων καυστικού, 250 τόνων χλωρίου και 5 τόνων υδρογόνου. Μόνο το καυστικό χρησιμοποιείται στο σύστημα παραγωγής του σαπουνιού. Επειδή ο αναλυτής επέλεξε 1000 τόνους σαν βάση αναφοράς για όλα τα δεδομένα των υποσυστημάτων, τα δεδομένα της παρασκευής του καυστικού πρέπει να παρουσιαστούν σε σχέση με τους 1000 τόνους εξόδου του καυστικού (και συνεπώς με 500 τόνους χλωρίου και 10 τόνους υδρογόνου). Για να γίνει αυτό, όλα τα δεδομένα διεργασίας που συλλέχθηκαν θα πολλαπλασιαστούν επί δύο.

Εφόσον τα δεδομένα είναι αρκετά σαφή, ο αναλυτής πρέπει να καθορίσει τις απαιτήσεις σε ενέργεια και υλικά καθώς και τις εκπομπές στο περιβάλλον, που θα συνεισφέρουν στην παραγωγή καθενός υποπροϊόντος, χρησιμοποιώντας την τεχνική της κατανομής δευτερεύοντος προϊόντος. Μια μέθοδος κατανομής που χρησιμοποιείται συχνά, βασίζεται στο σχετικό βάρος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6). Το σχήμα 2.6(α) απεικονίζει το πραγματικό διάγραμμα ροής διεργασίας για την υποθετική παραγωγή καυστικού (προϊόν Α), με το χλώριο (προϊόν Β) σαν ένα υποπροϊόν του καυστικού. Επειδή το σύστημα παραγωγής της πλάκας σαπουνιού χρησιμοποιεί μόνο καυστικό, και όχι χλώριο, οι εισοδοί ενέργειας και υλικών καθώς και οι εκπομπές στο περιβάλλον της διεργασίας πρέπει να κατανεμηθούν ξεχωριστά στο καυστικό και στο χλώριο. Το σχήμα 2.6(β) του διαγράμματος παρουσιάζει αυτή την κατανομή. Το προϊόν Α αντιπροσωπεύει τα δύο τρίτα της εξόδου της συνολικής παραγωγής της διεργασίας, έτσι δύο τρίτα των εισόδων ενέργειας και φυσικών πόρων και δύο τρίτα των εκπομπών στο περιβάλλον αποδίδονται στο καυστικό. Ομοίως, το προϊόν Β (σχήμα 2.6(γ)) αντιπροσωπεύει το ένα τρίτο της εξόδου της συνολικής παραγωγής της διεργασίας, οπότε ένα τρίτο των εισόδων ενέργειας και φυσικών πόρων και ένα τρίτο των εκπομπών στο περιβάλλον που συνεισφέρουν αποδίδονται στο χλώριο. Η πραγματοποίηση της κατανομής των δεδομένων κατ’ αυτό τον τρόπο επιτρέπει

στον αναλυτή να απομονώσει αυτές τις εισόδους και εξόδους που σχετίζονται με το υπό μελέτη προϊόν.

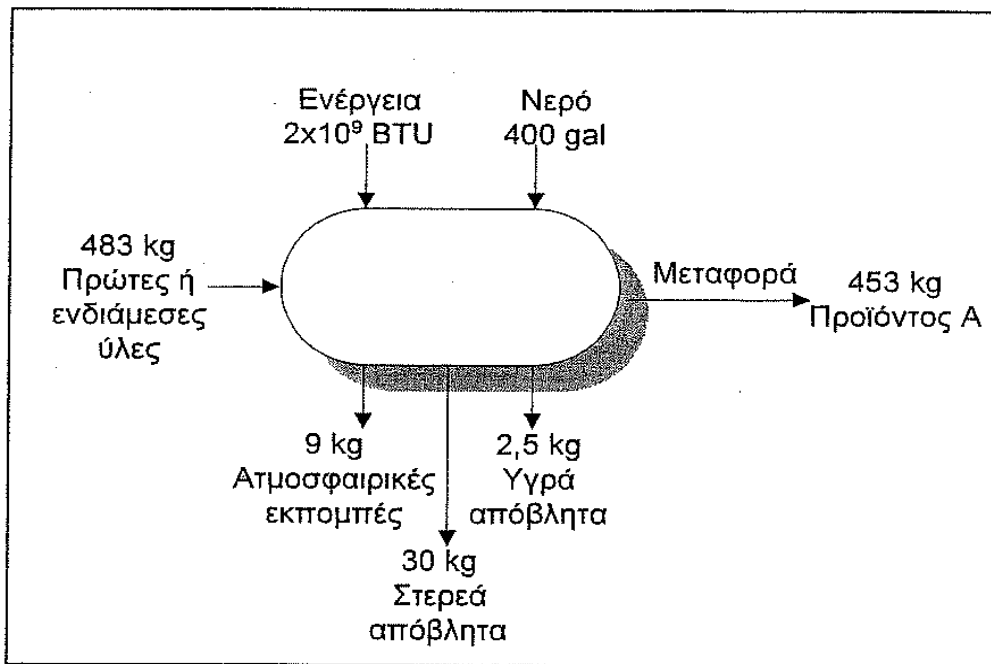
Εφόσον οι εισροές και οι εκροές κάθε υποσυστήματος έχουν κατανεμηθεί, μπορούν να πραγματοποιηθούν οι αριθμητικές συσχετίσεις των υποσυστημάτων εντός του συνολικού διαγράμματος ροής του συστήματος. Αυτό γίνεται αρχίζοντας από το τελικό προϊόν του συστήματος και δουλεύοντας προς τα πίσω, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις με τις οποίες συνδέονται οι εισοδοί υλικών και οι έξοδοι προϊόντος κάθε υποσυστήματος, για να υπολογιστούν οι απαιτήσεις εισόδου καθενός από τα προηγούμενα υποσυστήματα. Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι το σύστημα της πλάκας σαπουνιού πρόκειται να αναλυθεί έχοντας σαν βάση 1000 τόνους συσκευασμένης πλάκας σαπουνιού. Εάν η διεργασία συσκευασίας του σαπουνιού απαιτεί 900 τόνους πλάκας σαπουνιού για να παράγει 1000 τόνους συσκευασμένης πλάκας σαπουνιού, μόνο 900 τόνοι πλάκας σαπουνιού θα χρειαζόταν να παρασκευαστούν για το συνολικό σύστημα. Υποθέτουμε ότι 2000 τόνοι ζωικού λίπους απαιτούνται για να παράγουν 1000 τόνους πλάκας σαπουνιού. Μόνο 900 τόνοι πλάκας σαπουνιού απαιτούνται για το συνολικό σύστημα, άρα χρειάζονται 1800 τόνοι ζωικού λίπους για το συνολικό σύστημα.



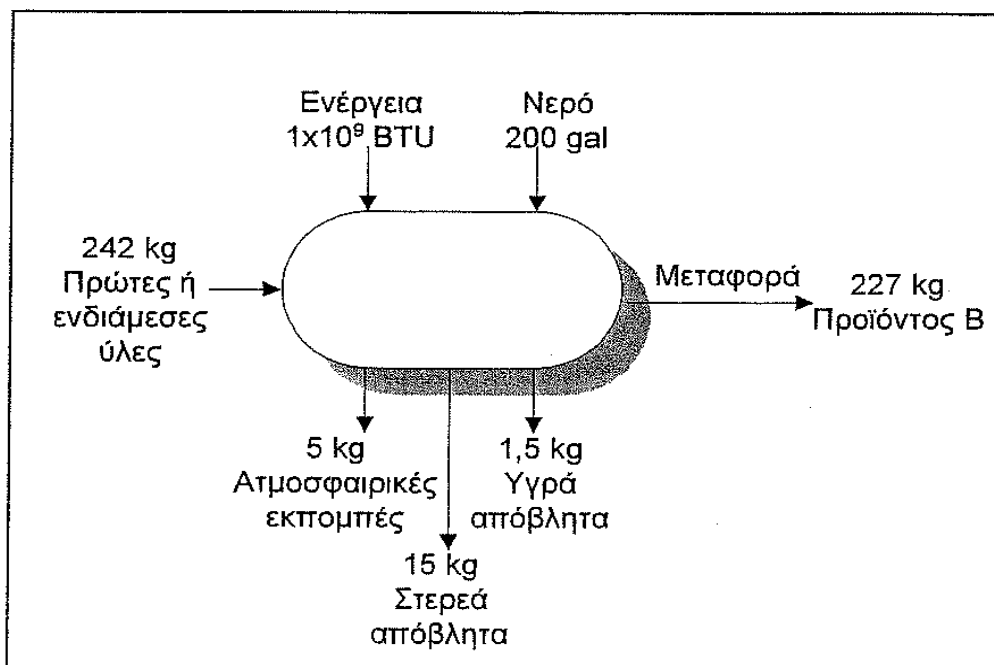
(α) Διάγραμμα ροής της πραγματικής διεργασίας παραγωγής των προϊόντων "Α" και "Β"

Δημιουργία ενός υπολογιστικού μοντέλου

Κατά την απογραφή των δεδομένων είναι σημαντική η δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο θα αποτελείται από την ενσωμάτωση των κανονικοποιημένων δεδομένων και των ροών των υλικών χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό πρόγραμμα. Τα δεδομένα των συστημάτων που προκύπτουν από κάποιο λογισμικό πρόγραμμα δίνουν τα συνολικά αποτελέσματα για τη χρήση της ενέργειας, των φυσικών πόρων και των εκπομπών στο περιβάλλον του συνολικού συστήματος.



(β) Κατανομή δευτερεύοντος προϊόντος για το προϊόν Α



(γ) Κατανομή δευτερεύοντος προϊόντος για το προϊόν Β

Σχήμα 2.6: Παράδειγμα κατανομής δευτερεύοντος προϊόντος με βάση το σχετικό βάρος. Το διάγραμμα ροής (α) παρουσιάζει τη συνολική διεργασία παραγωγής των προϊόντων Α και Β, ενώ τα (β) και (γ) παρουσιάζουν τις κανονικοποιημένες εισόδους και εξόδους για κάθε δευτερεύον προϊόν.

Το διάγραμμα ροής του συνολικού συστήματος είναι σημαντικό στην δημιουργία του υπολογιστικού μοντέλου, διότι καθορίζει αριθμητικά τις σχέσεις των ανεξάρτητων υποσυστημάτων μεταξύ τους στην κατασκευή του τελικού προϊόντος. Αυτές οι αριθμητικές σχέσεις γίνονται η πηγή των "συντελεστών αναλογίας", οι οποίοι είναι ποσοτικές σχέσεις που αντικατοπτρίζουν τις σχετικές συνεισφορές των υποσυστημάτων στο συνολικό σύστημα. Για παράδειγμα, τα δεδομένα για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου συστατικού X του σαπουνιού

παρουσιάζονται για την παραγωγή 1000 τόνων X. Για την παραγωγή 1000 τόνων σαπουνιού, απαιτούνται 250 τόνοι X συνυπολογίζοντας τις απώλειες και τον συντελεστή απόδοσης. Συνεπώς, για να βρεθούν οι συνεισφορές του X στο συνολικό σύστημα, τα δεδομένα για 1000 τόνους X πολλαπλασιάζονται με το 0,25.

Το λογισμικό πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνουν κάποιοι υπολογισμοί πέρα από τη μέτρηση της συνεισφοράς των διαφόρων υποσυστημάτων. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάφραση της τιμής των καυσίμων, και για την παραγωγή ενέργειας, σε μία σταθερή μονάδα ενέργειας, όπως εκατομμύρια Btu ή GJ. Η ενέργεια προ της καύσης ή η ενέργεια για την απόκτηση των πρώτων υλών μπορεί να υπολογιστεί αποδίδοντας έναν σταθερό συντελεστή σε μια μοναδιαία ποσότητα καυσίμου η οποία θα ερμηνεύει την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση και την μεταφορά του καυσίμου. Τα απόβλητα που σχετίζονται με τα καύσιμα θα πρέπει επίσης να υπολογίζονται βασισμένα στα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε όλο το σύστημα. Το μοντέλο θα πρέπει επίσης να ενσωματώνει εκδοχές διαχείρισης των αποβλήτων, όπως ανακύκλωση, κομποστοποίηση και ταφή.

Είναι σημαντικό, κάθε υποσύστημα να ενσωματώνεται στο μοντέλο με τα συστατικά του, τα οποία σχετίζονται με αυτό, και όλα να συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν παραλείψεις και διπλοϋπολογισμοί. Το πρόγραμμα λογιστικού φύλλου μπορεί να οργανωθεί κατά διάφορους τρόπους ώστε να εκπληρώνει αυτόν το στόχο. Μπορεί να περιλαμβάνει την κατανομή συγκεκριμένων περιοχών στο πρόγραμμα του υπολογιστικού φύλλου σε συγκεκριμένους τύπους υπολογισμών, ή τη χρησιμοποίηση ενός τύπου λογισμικού για τη σύνδεση ξεχωριστών υπολογιστικών φύλλων κατά τρόπο ιεραρχικό. Όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα οργάνωσης θα πρέπει να εφαρμόζεται με συνέπεια. Τυχαία οργάνωση των διαμορφώσεων και των υπολογισμών των δεδομένων γενικά οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα της αναλυτικής απογραφής.

Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Κατά τη σύνταξη μιας αναφοράς για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, είναι σημαντικό να περιγράφεται διεξοδικά η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Η αναφορά θα πρέπει να προσδιορίζει τα συστήματα που αναλύθηκαν και τα όρια που τοποθετήθηκαν. Όλες οι υποθέσεις οι οποίες έγιναν κατά την πραγματοποίηση της αναλυτικής απογραφής θα πρέπει να διευκρινίζονται. Θα πρέπει να δίνεται η βάση σύγκρισης μεταξύ των συστημάτων, και οποιοδήποτε λόγοι ισοδύναμης χρήσης που χρησιμοποιήθηκαν θα πρέπει να εξηγούνται. Η χρήση της λίστας απογραφής και του φύλλου εργασίας -όπως παρουσιάζονται στο παράρτημα Α- ενισχύει μια διαυγή διαδικασία για την ανακοίνωση αυτών των πληροφοριών.

Έχοντας υπόψη την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, είναι χρήσιμο να προσδιοριστούν οι διάφορες θεωρήσεις που είναι ενσωματωμένες στις πληροφορίες της αναλυτικής απογραφής του κύκλου ζωής. Αυτές οι θεωρήσεις περιλαμβάνουν τα ακόλουθα χωρίς να είναι ανάγκη να περιορίζονται σε αυτά:

- συνολικό σύστημα παραγωγής
- σχετική συνεισφορά των σταδίων στο συνολικό σύστημα
- σχετική συνεισφορά των συστατικών του προϊόντος στο συνολικό σύστημα
- κατηγορίες δεδομένων εντός και μεταξύ των σταδίων, π.χ., χρήση πρώτων υλών, κατανάλωση ενέργειας, και εκπομπές στο περιβάλλον.
- ομάδες παραμετρικών δεδομένων σε μια κατηγορία, π.χ., τύποι αερίων εκπομπών, υγρών αποβλήτων, και στερεών απορριμμάτων.
- παραμετρικά δεδομένα μίας ομάδας, π.χ., οξείδια του θείου, διοξείδιο του άνθρακα, χλώριο, κλπ
- γεωγραφικός διαχωρισμός, εάν είναι σχετικός με τη μελέτη, π.χ., εθνικός έναντι παγκόσμιου.
- αλλαγές με την πάροδο του χρόνου.

Αυτός που διεξάγει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής πρέπει να κάνει μια επιλογή μεταξύ αυτών των θεωρήσεων και να αναπτύσσει έναν τρόπο παρουσίασης χωρίς να τις υπεραπλουστεύει. Δύο κύριοι τρόποι παρουσίασης των αποτελεσμάτων είναι σε μορφή πίνακα ή γραφήματος.

Συχνά είναι χρήσιμο να αναφέρονται τα αποτελέσματα της συνολικής ενέργειας και παράλληλα να διαχωρίζονται οι συνεισφορές της ενέργειας για τη διεργασία και για την απόκτηση των πρώτων υλών. Τα στερεά απορρίμματα μπορούν να διαχωρίζονται σε στερεά απορρίμματα μετά τον καταναλωτή και βιομηχανικά στερεά απορρίμματα. Οι ατμοσφαιρικές και οι υδάτινες βλαβερές ουσίες θα πρέπει να αναφέρονται χωριστά. Ατμοσφαιρικές εκπομπές, απόβλητα που φέρονται στο νερό, και βιομηχανικά στερεά απορρίμματα μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν σε εκπομπές/ απόβλητα διεργασίας και εκπομπές/ απόβλητα που συνδέονται με τα καύσιμα. Τέτοιου είδους κατηγοριοποιημένες παρουσιάσεις μπορούν να συμβάλλουν στον προσδιορισμό και συνεπώς στον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών στο περιβάλλον.

Τα αποτελέσματα της αναλυτικής απογραφής μπορούν να παρουσιαστούν σε μορφή πίνακα, καθιστώντας τα ιδιαίτερα κατανοητά. Η επιλογή του τρόπου δημιουργίας του πίνακα ποικίλει, εξαρτώμενη από το στόχο και το αντικείμενο της μελέτης. Εάν η αναλυτική απογραφή πραγματοποιήθηκε, για να βοηθήσει στην επιλογή του τύπου συσκευασίας που θα χρησιμοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο προϊόν, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων του συνολικού συστήματος θα είναι ο πιο κατάλληλος τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Από την άλλη, όταν πραγματοποιείται μια ανάλυση για να προσδιορίσει τη δυνατότητα αλλαγής μιας συσκευασίας ώστε να μειωθούν οι εκπομπές της στο περιβάλλον, είναι σημαντικό να παρουσιάζονται όχι μόνο τα συνολικά αποτελέσματα, αλλά και οι συνεισφορές των στοιχείων του συστήματος συσκευασίας.

Η γραφική παρουσίαση των πληροφοριών βοηθάει στην ενίσχυση των πινακοποιημένων δεδομένων και διευκολύνει την ερμηνεία τους. Τόσο τα διαγράμματα “ράβδων” όσο και τα διαγράμματα “πίτας” είναι πολύτιμα στο να βοηθήσουν τον αναγνώστη να σχηματίσει σαφή εικόνα και να αφομοιώσει τις πληροφορίες. Εντούτοις, ο αναλυτής δεν θα πρέπει να αθροίζει ή να ομαδοποιεί ανόμοια δεδομένα όταν δημιουργεί ή απλοποιεί ένα γράφημα.

Για εσωτερική βιομηχανική χρήση από κατασκευαστές προϊόντων, τα διαγράμματα “πίτας”, που παρουσιάζουν ένα διαχωρισμό σε πρώτες ύλες, στη διεργασία και στην τελική χρήση/ διάθεση, έχουν αποδειχθεί χρήσιμα στον προσδιορισμό δυνατοτήτων για περιορισμό των αποβλήτων.

Για εξωτερικές μελέτες, τα δεδομένα πρέπει να παρουσιάζονται κατά έναν τρόπο ο οποίος να πληροί ένα θεμελιώδες κριτήριο: διαύγεια. Η διασφάλιση της διαύγειας απαιτεί, ο αναλυτής να διατυπώνει και να απαντά ερωτήσεις σχετικά με το τι στοιχεία και πληροφορίες θέλει να μεταδώσει με κάθε γράφημα. Μπορεί να είναι απαραίτητο να παρουσιάσει ένα μεγαλύτερο αριθμό γραφημάτων, περιλαμβάνοντας λιγότερα δεδομένα στο καθένα. Μετά από μια απλή θεώρηση των αποτελεσμάτων, κάθε αναγνώστης θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιληφθεί τις πληροφορίες που είχε σαν στόχο να μεταδώσει ο αναλυτής.

2.2.4.4. Εφαρμογές μιας αναλυτικής απογραφής δεδομένων

Μια αναλυτική απογραφή δεδομένων, παρέχει έναν ποσοτικό κατάλογο απαιτήσεων ενέργειας και πρώτων υλών, ατμοσφαιρικών εκπομπών, αποβλήτων στο νερό και στερεών απορριμμάτων για ένα συγκεκριμένο προϊόν, διεργασία, συσκευασία, υλικό ή δραστηριότητα. Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί μια αναλυτική απογραφή στοιχείων και έχει κριθεί όσο το δυνατόν ακριβέστερη, ως προς το ήδη καθορισμένο αντικείμενο και τα όρια του συστήματος, τα αποτελέσματα μπορούν απευθείας να χρησιμοποιηθούν, για να αναγνωρίσουν περιοχές μεγαλύτερης ή μικρότερης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, να υποστηρίξουν μια επικείμενη εκτίμηση επιπτώσεων, και να αποτελέσουν τμήμα μιας προκαταρκτικής εκτίμησης επιπτώσεων. Κατόπιν μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση επιπτώσεων για να ποσοτικοποιήσει τις

συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία και στην υγεία του οικοσυστήματος που συνδέονται με συγκεκριμένες βλαβερές ουσίες που αναγνωρίζονται κατά το στάδιο της απογραφής δεδομένων.

Παρακάτω αναφέρονται οι δυνατές εφαρμογές για απογραφές δεδομένων κύκλου ζωής. Αυτές οργανώνονται ανάλογα με το αν η εφαρμογή υποστηρίζεται μόνο από την καταγραφή στοιχείων ή εάν χρειάζεται επιπρόσθετα κάποιο επίπεδο εκτίμησης επιπτώσεων. Αυτό που κυρίως πρέπει να συγκρατήσουν οι χρήστες είναι ότι εάν η μελέτη της εφαρμογής καταλήγει μόνο σε μια καταγραφή δεδομένων, οι απορρέουσες πληροφορίες δεν πρέπει να ερμηνευθούν περισσότερο απ' όσο πρέπει. Οι αναλύσεις απογραφής δεδομένων μπορούν να εφαρμοστούν εσωτερικά σε έναν οργανισμό ή εξωτερικά για να μεταφέρουν πληροφορίες εκτός του οργανισμού που χρηματοδοτεί την ανάλυση.
Εφαρμόζονται:

Για την υποστήριξη διαφόρων περιβαλλοντικών θεωρήσεων

Τα αποτελέσματα μιας αναλυτικής απογραφής είναι πολύτιμα για την κατανόηση των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ εναλλακτικών διεργασιών ή υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή, διανομή, ή χρήση του ίδιου προϊόντος και για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών θέσεων των εναλλακτικών προϊόντων που προορίζονται για την ίδια χρήση.

Για την δημιουργία μιας βάσης πληροφοριών

Μια βασική εφαρμογή μιας αναλυτικής απογραφής κύκλου ζωής είναι η δημιουργία μιας βάσης πληροφοριών γύρω από ένα ολόκληρο σύστημα με δεδομένες τρέχουσες ή προβλεπόμενες πρακτικές εφαρμογές κατά την κατασκευή, χρήση και διάθεση του προϊόντος ή της κατηγορίας προϊόντων. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να δημιουργηθεί μια βάση για συγκεκριμένες διεργασίες που σχετίζονται με ένα προϊόν ή συσκευασία. Αυτή η βάση μπορεί να περιλαμβάνει τις ανάγκες σε πρώτες ύλες και ενέργεια καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του προϊόντος ή τις διεργασίες του συστήματος που αναλύεται. Αυτή η βάση πληροφοριών είναι πολύτιμη για την έναρξη της εκτίμησης βελτιώσεων μέσω της πραγματοποίησης συγκεκριμένων αλλαγών στο σύστημα πάνω στο οποίο υπάρχει η βάση.

Για την κατάταξη της σχετικής συνεισφοράς των διαφόρων σταδίων ή διεργασιών του συστήματος

Η αναλυτική απογραφή παρέχει λεπτομερή δεδομένα όσον αφορά την ξεχωριστή συνεισφορά κάθε σταδίου του συστήματος που μελετάται στο συνολικό σύστημα. Τα δεδομένα μπορούν να κατευθύνουν τις προσπάθειες για κάποια αλλαγή, εντοπίζοντας τα στάδια που απαιτούν την περισσότερη ενέργεια ή επιπλέον φυσικούς πόρους, ή το στάδιο που παράγει τις περισσότερες βλαβερές ουσίες. Αυτή η εφαρμογή είναι κατάλληλη κυρίως σε εσωτερικές μελέτες για την υποστήριξη αποφάσεων σχετικά με τις δυνατότητες παρεμπόδισης της μόλυνσης ή/ και διατήρησης και ελαχιστοποίησης της χρήσης φυσικών πόρων.

Αυτές οι πρώτες τρεις εφαρμογές ενισχύονται μέσω της κατανόησης ότι τα δεδομένα της αναλυτικής απογραφής δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις πιθανές περιβαλλοντικές συνέπειες της χρήσης των πρώτων υλών ή των εκπομπών. Οποιαδήποτε ερμηνεία πέρα από την προσέγγιση "το λιγότερο είναι καλύτερο" είναι υποκειμενική.

Για την αναγνώριση χασμάτων στα δεδομένα

Η πραγματοποίηση της αναλυτικής απογραφής κύκλου ζωής, για κάποιο συγκεκριμένο σύστημα, αποκαλύπτει περιοχές όπου τα δεδομένα για συγκεκριμένες διεργασίες είναι ελλιπή ή είναι αβέβαιης ή αμφίβολης ποιότητας. Όταν την αναλυτική απογραφή πρόκειται να ακολουθήσει μια εκτίμηση επιπτώσεων, τότε μπορούν επίσης να αναγνωριστούν περιοχές όπου χρειάζεται αύξηση των δεδομένων για τη φάση της εκτίμησης επιπτώσεων.

Για την υποστήριξη πολιτικής

Για την δημιουργία κοινής πολιτικής, οι απογραφές κύκλου ζωής και οι εκτιμήσεις επιπτώσεων μπορούν να βοηθήσουν στη διεύρυνση της έκτασης των περιβαλλοντικών θεμάτων που λαμβάνονται υπόψη κατά την τοποθέτηση ρυθμίσεων ή τον καθορισμό κάποιας πολιτικής.

Για την υποστήριξη της πιστοποίησης κάποιου προϊόντος

Οι πιστοποιήσεις προϊόντος έχουν την τάση να επικεντρώνονται σε σχετικά περιορισμένο αριθμό κριτηρίων. Οι αναλυτικές απογραφές κύκλου ζωής, μόνο όταν ενισχύονται από κατάλληλες εκτιμήσεις επιπτώσεων, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες πάνω στις ανεξάρτητες και παράλληλες επιδράσεις διαφόρων χαρακτηριστικών του προϊόντος.

Για την παροχή γνώσεων πάνω στη χρήση με σκοπό την λήψη αποφάσεων

Οι αναλυτικές απογραφές κύκλου ζωής και οι εκτιμήσεις επιπτώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή γνώσεων στη βιομηχανία, την κυβέρνηση και τους καταναλωτές πάνω στις διαδικασίες χρήσης εναλλακτικών διεργασιών, προϊόντων, υλικών, και/ή συσκευασιών. Τα δεδομένα μπορούν να κατευθύνουν τη βιομηχανία στη λήψη αποφάσεων που αφορούν υλικά και διεργασίες παραγωγής, και να δημιουργήσουν ένα καλύτερα ενημερωμένο κοινό πάνω σε περιβαλλοντικά θέματα.

Αυτές οι τελευταίες τρεις εφαρμογές της αναλυτικής απογραφής δεδομένων στα πλαίσια του κύκλου ζωής είναι οι πιο επιρρεπείς στο να ερμηνευτούν περισσότερο απ' όσο πρέπει. Αυτό, εν μέρει οφείλεται στην πιθανότερη χρήση τους εξωτερικά του οργανισμού που τις πραγματοποιεί, και εν μέρει στον ανεπιφύλακτο προσανατολισμό τους προς τον καθορισμό των περιβαλλοντικών συνεπειών ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας.

2.3. Αποτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής

Η φάση αποτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής (ΑΕΚΖ) μιας ΑΚΖ είναι η αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον που προέρχονται από τους περιβαλλοντικούς πόρους και εκπομπές που προσδιορίζονται κατά τη διάρκεια του ΚΑΚΖ. Η αποτίμηση των επιπτώσεων πρέπει να εξετάζει τις επιδράσεις στο οικοσύστημα και στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί επίσης να εξετάζει τη μείωση των πόρων. Μια ΑΕΚΖ προσπαθεί να δημιουργήσει έναν σύνδεσμο μεταξύ του προϊόντος ή της διεργασίας και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της. Παραδείγματος χάριν, ποιες είναι οι επιπτώσεις εκπομπών 9000 τόνων διοξειδίου του άνθρακα ή 5000 τόνων μεθανίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα; Ποιες είναι χειρότερες; Ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις τους στο φαινόμενο της αιθαλομίχλης ή στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου;

Η βασική ιδέα σε αυτή τη φάση είναι αυτό που αποκαλείται "stressors". "Stressors" είναι ένα σύνολο συνθηκών που μπορεί να οδηγήσουν σε κάποια επίπτωση. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα προϊόν ή μια διεργασία εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου, η αύξηση των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μπορεί να συμβάλει στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου). Οι διεργασίες που οδηγούν στην απελευθέρωση υπερβολικής ποσότητας θρεπτικών συστατικών υδάτινες μάζες μπορεί να οδηγήσουν σε ευτροφισμό. Μια ΑΕΚΖ παρέχει μια συστηματική διαδικασία για ταξινόμηση και χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των τύπων.

Γιατί χρειάζεται η ΑΕΚΖ;

Αν και πολλά μπορεί να γίνουν γνωστά για μια διεργασία εξετάζοντας τα δεδομένα του ΚΑΚΖ, μια ΑΕΚΖ παρέχει μια ακριβέστερη βάση για να γίνουν συγκρίσεις. Παραδείγματος χάριν, αν και είναι γνωστό ότι 9000 τόνοι CO₂ και 5000 τόνοι μεθανίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είναι και οι δύο επιβλαβείς, μια ΑΕΚΖ μπορεί να καθορίσει ποιος από τους δύο τύπους αερίου μπορεί να έχει μεγαλύτερες πιθανές επιπτώσεις. Χρησιμοποιώντας τους επιστημονικά βασισμένους συντελεστές χαρακτηρισμού, μια ΑΕΚΖ μπορεί να υπολογίσει τις επιπτώσεις που

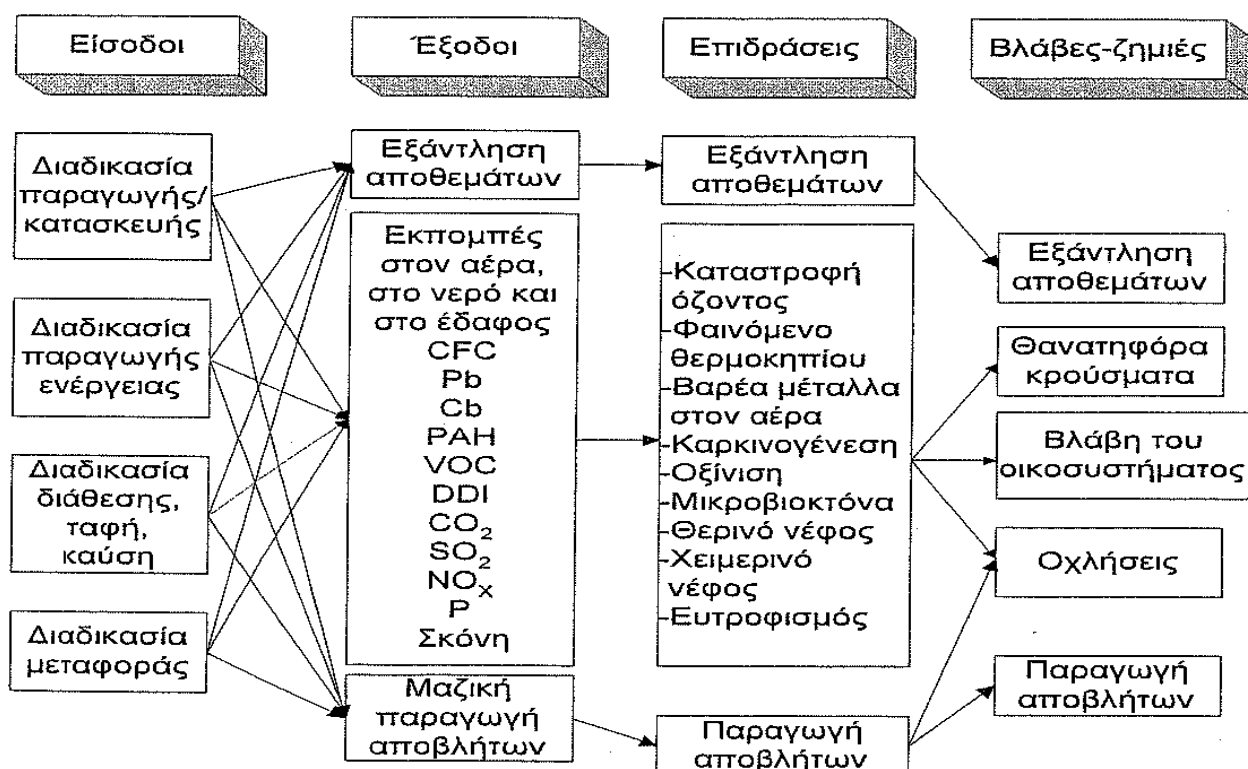
έχει κάθε περιβαλλοντική εκπομπή σε διάφορα φαινόμενα όπως η αιθαλομίχλη ή η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μια ΑΕΚΖ μπορεί επίσης να ενσωματώσει γνώμες βαρύτητας. Σε μια ζώνη όπου η ποιότητα αέρα δεν είναι υψηλή, παραδείγματος χάριν, οι εκπομπές αερίων θα μπορούσαν να είναι σχετικά μεγαλύτερης ανησυχίας από ανάλογες εκπομπές ίδιου επιπέδου σε μια περιοχή όμως με καλύτερη ατμοσφαιρική ποιότητα.

Τι αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ;

Τα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ παρέχουν μια λίστα ελέγχου που παρουσιάζει τις σχετικές διαφορές στις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις για κάθε επιλογή. Παραδείγματος χάριν, μια ΑΕΚΖ θα μπορούσε να καθορίσει ποιο προϊόν / διεργασία προκαλεί περισσότερα αέρια θερμοκηπίου ή θα μπορούσε να προκαλέσει περισσότερη ζημιά στα ψάρια.

Η εκτίμηση επιπτώσεων στην ΑΚΖ είναι μια ποσοτική ή/ και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται, για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προσδιορίζονται κατά τη φάση της απογραφής δεδομένων. Σ' αυτό το στάδιο εξετάζονται οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στην υγεία του οικοσυστήματος, οι επιπτώσεις από την εξάντληση των φυσικών πόρων, και οι πιθανές επιπτώσεις στον τομέα της κοινωνικής πρόνοιας. Άλλες επιπτώσεις όπως η μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος, η αύξηση της θερμοκρασίας και η ηχορύπανση, οι οποίες δεν υπόκεινται εύκολα στην ποσοτικοποίηση που απαιτείται κατά το στάδιο της αναλυτικής απογραφής, επίσης αποτελούν μέρος της εκτίμησης επιπτώσεων.

Σχηματική απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων



Σχήμα 2.7: Σχηματική απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [14]

Η περιβαλλοντική επίπτωση ενός προϊόντος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους, αλλά γενικά καταλήγει στον υπολογισμό της επίπτωσης του προϊόντος εξετάζοντας

στις εξόδους, τις επιδράσεις ή καταστροφές που προκαλούνται σε μια ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7.

Κάνοντας μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προϊόντος, οι σχεδιαστές ή οι κατασκευαστές μπορούν να δουν ποια φάση του προϊόντος έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση. Έχοντας αυτή την πληροφορία είναι δυνατόν να εντοπιστούν τα πιο σημαντικά προβλήματα και σε πιο στάδιο της ζωής του προϊόντος συμβαίνουν.

Η εκτίμηση επιπτώσεων εξετάζεται κυρίως από τη σκοπιά των δεικτών επιβάρυνσης (stressors). Οι επιβαρυντικοί δείκτες συνδέουν την αναλυτική απογραφή και την εκτίμηση επιπτώσεων, συσχετίζοντας την κατανάλωση πρώτων υλών και των εικτομπών που προκύπτουν και αναφέρονται στην αναλυτική απογραφή με τις πιθανές επιπτώσεις τους που αναφέρονται στην εκτίμηση επιπτώσεων. Συνεπώς ο επιβαρυντικός παράγοντας είναι ένα σύνολο από καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε μια αρνητική επίπτωση. Για παράδειγμα, μια τυπική αναλυτική απογραφή θα ποσοτικοποιήσει το ποσό του SO₂ που απελευθερώνεται ανά μονάδα προϊόντος, το οποίο μπορεί αργότερα να δημιουργήσει όξινη βροχή και το οποίο διαδοχικά μπορεί να προκαλέσει την οξείνιση μιας λίμνης. Η επακόλουθη οξείνιση μπορεί να αλλάξει την σύνθεση των βιολογικών ειδών με αποτέλεσμα την απώλεια της βιοαποικοδομησιμότητας.

Στην ιδανικότερη περίπτωση η εκτίμηση επιπτώσεων θα έπρεπε να κατηγοριοποιεί και να ποσοτικοποιεί όλες τις ενδεχόμενες επιπτώσεις που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή συστήματος. Σύμφωνα με τον Guinee (SETAC- Europe 1991) η εκτίμηση επιπτώσεων “σκοπεύει στην άθροιση των επιπτώσεων, καθορίζοντας την συμβολή τους σε έναν αξιολογικό αριθμό περιβαλλοντικών προβλημάτων που βασίζονται σε επιστημονικές αναλύσεις σχετικών περιβαλλοντικών διαδικασιών”.

Μερικά γενικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση επιπτώσεων είναι:

- Αντικειμενικότητα
- Δυνατότητα επίτευξης μέσα στα πλαίσια μιας ΑΚΖ
- Διαφάνεια και επαναληψιμότητα

Μεταξύ αυτών των κριτηρίων, η δυνατότητα επίτευξης είναι αυτή που συχνά αγνοείται σε προτεινόμενες μεθόδους. Καλό είναι να επιδιώκεται κάποιος συμβιβασμός μεταξύ της φιλοδοξίας για εξαιρετική επιστημονική ακρίβεια και των πρακτικών ορίων που επιβάλλονται από την πολυπλοκότητα της ΑΚΖ.

Η εκτίμηση επιπτώσεων στα πλαίσια του κύκλου ζωής δεν προσπαθεί απαραίτητα να ποσοτικοποιήσει οποιεσδήποτε πραγματικές επιπτώσεις συνδέονται με ένα προϊόν ή διεργασία. Αντίθετα, επιχειρεί να δημιουργήσει έναν σύνδεσμο μεταξύ του κύκλου ζωής του προϊόντος ή της διεργασίας και τις ενδεχόμενες επιπτώσεις του.

Η εν λόγω διαδικασία είναι υπό ανάπτυξη και δεν υπάρχουν κοινά αποδεκτές μεθοδολογίες. Σ’ αυτό το σημείο παρουσιάζεται μια δομή της εκτίμησης επιπτώσεων, μαζί με την προτεινόμενη ορολογία, και θίγονται κάποια καίρια ζητήματα.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται από τον SETAC [1], η εκτίμηση επιπτώσεων αποτελείται από τα ακόλουθα τρία βήματα: ταξινόμηση, χαρακτηρισμό και αξιολόγηση.

Η σχέση μεταξύ ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων στην εκτίμηση επιπτώσεων.

Η εκτίμηση επιπτώσεων συνήθως περιγράφεται ως μια βήμα προς βήμα ερμηνεία του σταδίου της απογραφής: Απογραφή ⇒ Ταξινόμηση ⇒ Χαρακτηρισμός (⇒ Κανονικοποίηση) ⇒ Αξιολόγηση.

Αυτό υπαγορεύει μια διαδικασία στην οποία η ταξινόμηση (η ποιοτική ομαδοποίηση των επιπτώσεων) προηγείται της ποσοτικής ερμηνείας που περιγράφεται σαν χαρακτηρισμός. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ένας αριθμός είναι ασήμαντος αν δεν ξέρουμε τι δηλώνει (μονάδα ή κατηγορία), και εφόσον μια ταξινόμηση μεταβιβάζει πληροφορίες παραβλέποντας την οποιαδήποτε ποσοτική πληροφορία. Επίσης, οι ποιοτικές πληροφορίες που περιέχονται σε μια

ταξινόμηση μπορεί να είναι μεγαλύτερης σημασίας από ότι οι ποσοτικές πληροφορίες στον χαρακτηρισμό.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα την κατηγορία “επιπτώσεις στην υγεία” (βλ. Πίν.2.1):

- είναι πιο σημαντικό να γνωρίζουμε αν μια ουσία είναι καρκινογόνος ή προκαλεί αλλεργία από το να γνωρίζουμε ποιο είναι το NOEL (No – Observed – Effect Level), δηλαδή το όριο κάτω από το οποίο η ουσία θεωρείται ακίνδυνα,
- το μέσο διάδοσης (π.χ. αέρας ή νερό) είναι πολύ πιο σημαντικό από το βαθμό διάδοσης, ο οποίος εκφράζεται με αριθμητικούς δείκτες (διάρκειες ύπαρξης ιόντος/ σωματίου, οκτανόλης/ νερού-συντελεστές κ.τ.λ.) για τη διάδοση του κάθε μέσου και
- η κατάσταση των προσβεβλημένων ανθρώπων μπορεί επίσης να είναι μεγαλύτερης σημασίας από ότι το μέσο διάδοσης.

Παρόμοια επιχειρήματα μπορούν να δοθούν και για άλλες κατηγορίες που μπορεί να παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε μία ΑΚΖ: επιπτώσεις στο οικοσύστημα, στις πηγές πρώτων υλών και στη κοινωνική πρόνοια (βλ. Παράρτημα Α “ποιοτικά και ποσοτικά θέματα της εκτίμησης επιπτώσεων”).

Τα παραπάνω δίνουν έμφαση στην σημασία ύπαρξης μιας ισορροπίας μεταξύ των ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών. Δεδομένου των περιορισμένων πρώτων υλών, και ειδικά σε συνοπτικές Αναλύσεις Κύκλου Ζωής, είναι σημαντικό να επιμένουμε στην εξασφάλιση της σωστής ποσότητας των πληροφοριών, ώστε να μην είναι ούτε πολύ μικρή ούτε πολύ μεγάλη. Σε μερικές περιπτώσεις, περαιτέρω ποσοτικοποίηση δεν προσθέτει καμία αξία στις πληροφορίες που είναι ήδη διαθέσιμες.

2.3.1. Βήματα – κλειδιά μιας ΑΕΚΖ

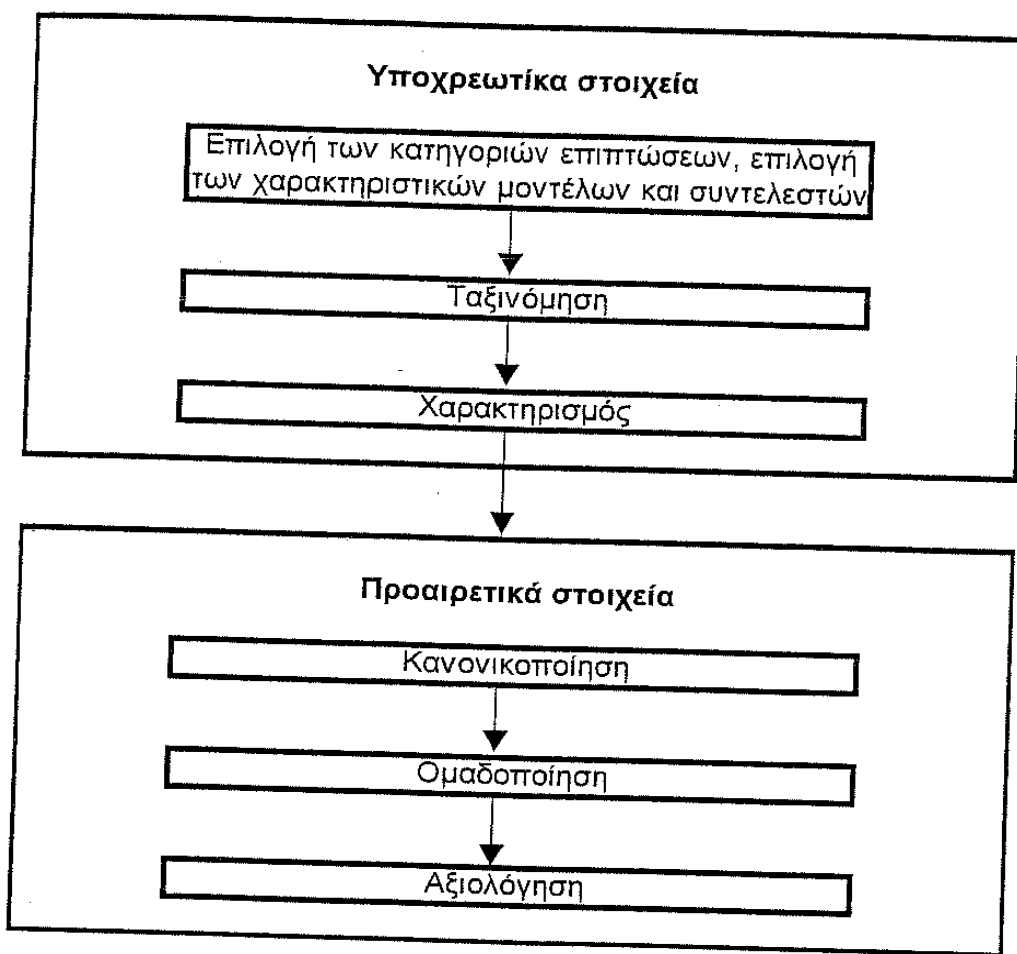
Τα ακόλουθα βήματα περιλαμβάνονται σε μια ΑΕΚΖ.

1. *Επιλογή και καθορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων* – προσδιορισμός των σχετικών κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ., παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, οξίνιση, τοξικότητα).
2. *Ταξινόμηση* – ανάθεση των αποτελεσμάτων του ΚΑΚΖ στις κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ., ταξινόμηση εκπομπών CO₂ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου).
3. *Χαρακτηρισμός* – προσομοίωση επιπτώσεων του ΚΑΚΖ μέσα στις κατηγορίες επιπτώσεων χρησιμοποιώντας επιστημονικά βασισμένους συντελεστές μετατροπής, (π.χ., προσομοίωση των πιθανών επιπτώσεων του CO₂ και του μεθανίου στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου).
4. *Κανονικοποίηση* – μετατροπή των πιθανών επιπτώσεων σε μορφές που να μπορούν να συγκριθούν (π.χ. σύγκριση της επίπτωσης CO₂ και του μεθανίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για τις δύο επιλογές).
5. *Ομαδοποίηση* – ταξινόμηση ή ομαδοποίηση των δεικτών (π.χ. ταξινόμηση των δεικτών κατά τοποθεσία: τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια).
6. *Αξιολόγηση* – προσδιορισμός βαρύτητας κάθε κατηγορίας – δίνεται έμφαση στις σημαντικότερες πιθανές επιπτώσεις.
7. *Αξιολόγηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ* – απόκτηση καλύτερης κατανόησης της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) ανέπτυξε ένα πρότυπο για τη διεξαγωγή μιας ΑΕΚΖ που ονομάζεται ISO 14042, *Life Cycle Impact Assessment (ISO 1998)*, που δηλώνει ότι τα πρώτα τρία βήματα – επιλογή και καθορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων, ταξινόμηση, και χαρακτηρισμός – είναι υποχρεωτικά βήματα για μια ΑΕΚΖ. Εκτός από την αξιολόγηση δεδομένων (βήμα 7), τα άλλα βήματα είναι προαιρετικά ανάλογα με το στόχο και το πεδίο της μελέτης.

Συγκεκριμένα ακολουθούνται τα στάδια που φαίνονται στο Σχήμα 2.8, από τα οποία κάποια είναι υποχρεωτικά και κάποια άλλα προαιρετικά

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ



Σχήμα 2.8. Αποτίμηση Επιπτώσεων ΑΚΖ

2.3.2. Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων

(Επιλογή και ορισμός των κατηγοριών επιπτώσεων)

Το πρώτο βήμα σε μια ΑΕΚΖ είναι η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων που θα εξεταστούν ως τμήμα της συνολικής ΑΚΖ. Αυτό το βήμα πρέπει να ολοκληρωθεί ως τμήμα της αρχικής φάσης καθορισμού στόχων και σκοπών για να καθοδηγήσει τη διαδικασία συλλογής δεδομένων για τον ΚΑΚΖ και απαιτεί επανεξέταση μετά από τη φάση συλλογής δεδομένων. Τα στοιχεία που προσδιορίζονται στον ΑΚΖ έχουν πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Παραδείγματος χάριν, μια περιβαλλοντική εκπομπή που προσδιορίζεται στον ΚΑΚΖ μπορεί να βλάψει την ανθρώπινη υγεία προκαλώντας καρκίνο ή στειρότητα ή να έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια εργασιακών χώρων. Παρόμοια, μια εκπομπή που προσδιορίστηκε στον ΚΑΚΖ θα μπορούσε επίσης να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον προκαλώντας όξινη βροχή, παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου ή θανάτους ψαριών σε μια τοπική λίμνη.

Για μια ΑΕΚΖ, οι επιπτώσεις καθορίζονται ως οι επιπτώσεις / συνέπειες που προκαλούνται από τις ροές εισόδου ή εξόδου ενός συστήματος στην ανθρώπινη υγεία, τα φυτά και τα ζώα ή τη μελλοντική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων. Συνήθως οι ΑΕΚΖ εστιάζονται σε τρεις πιθανές κύριες κατηγορίες επιπτώσεων: ανθρώπινη υγεία, υγεία οικοσυστήματος και εξάντληση πόρων. Ο πίνακας 2.3. παρουσιάζει μερικές από τις κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται.

Κατηγορία Επιπτώσεων	Κλίμακα / Επίπεδο	Σχετικά Δεδομένα ΚΑΚΖ (δηλ. Ταξινόμηση)	Κοινός Συντελεστής Κανονικοποίησης	Περιγραφή του Συντελεστή Χαρακτηρισμού
Φαινόμενο Θερμοκηπίου	Παγκόσμιο	Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂), Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂), Μεθάνιο (CH ₄), Χλωροφθοράνθρακες (CFCs), υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), Μεθυλοβρωμίδιο (CH ₃ Br)	Global Warming Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε ισοδύναμα του CO ₂ . Οι επιπτώσεις μπορεί να έχουν βάση αναφοράς 50, 100 ή 500 χρόνια.
Καταστροφή στρατοσφαιρικού όζοντος	Παγκόσμιο	Χλωροφθοράνθρακες (CFCs), υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs), Μεθυλοβρωμίδιο (CH ₃ Br)	Ozone Depleting Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε ισοδύναμα του τριχλωροφθορομεθανίου (CFC - 11)
Φαινόμενο όξινης βροχής	Τοπικό Περιφερειακό	Οξείδια θείου (SO _x), Οξείδια αζώτου (NO _x), Υδροχλωρικό οξύ (HCl), Υδροφθώριο (HF), Αμμωνία (NH ₄)	Acidification Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε ισοδύναμα ιόντα υδρογόνου (H ⁺)
Ευτροφισμός	Τοπικό	Φωσφορική ρίζα (PO ₄), Οξείδιο του αζώτου (NO), Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂), Νιτρικά άλατα, αμμωνία (NH ₄)	Eutrophication Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε ισοδύναμα φωσφορικής ρίζας (PO ₄)
Φωτοχημική ομίχλη	Τοπικό	Μη-μεθανικοί υδρογονάνθρακες (NMHC)	Photochemical Oxidant Creation Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε ισοδύναμα αιθανίου (C ₂ H ₆)
Επίγεια τοξικότητα	Τοπικό	Τοξικά χημικά με αναφορές για θανάσιμες συγκεντρώσεις σε τρωκτικά	LC ₅₀	Μετατρέπει τα δεδομένα LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Υδάτινη τοξικότητα	Τοπικό	Τοξικά χημικά με αναφορές για θανάσιμες συγκεντρώσεις σε ψάρια	LC ₅₀	Μετατρέπει τα δεδομένα LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Ανθρώπινη υγεία	Παγκόσμιο, Τοπικό, Περιφερειακό	Συνολικές εκπομπές στον αέρα, νερό και έδαφος	LC ₅₀	Μετατρέπει τα δεδομένα LC ₅₀ σε ισοδύναμα
Εξάντληση πόρων	Παγκόσμιο, Τοπικό, Περιφερειακό	Ποσότητα ορυκτών και καυσίμων που χρησιμοποιείται	Resource Depletion Potential	Μετατρέπει τα δεδομένα του ΚΑΚΖ σε μια αναλογία (λόγο) χρησιμοποιούμενων πόρων προς την ποσότητα πόρων που έχει μείνει ως απόθεμα
Χρήση γης	Παγκόσμιο, Τοπικό, Περιφερειακό	Ποσότητα που διατίθεται για ταφή (π.χ. σε ΧΥΤΑ)	Solid Waste	Μετατρέπει τη μάζα των στερεών αποβλήτων σε όγκο χρησιμοποιώντας μια εκτίμηση για την πυκνότητα

Οι σχετικές κατηγορίες επιπτώσεων μπορεί να αναγνωρισθούν και να επιλεγθούν σύμφωνα με τον σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης. Μια λίστα από κατηγορίες και υποκατηγορίες επιπτώσεων με μια σύντομη περιγραφή αυτών δίνεται παρακάτω:

-*εξάντληση μη βιοτικών πόρων*: στους φυσικούς πόρους (περιλαμβάνοντας και τους ενεργειακούς πόρους) συμπεριλαμβάνονται το αργό πετρέλαιο, μεταλλεύματα σιδήρου, κ.λ.π.. Η μείωση των φυσικών πόρων είναι μια από τις πιο συχνές κατηγορίες επιπτώσεων που συναντά κανείς σε μια Α.Κ.Ζ. και επομένως υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικές μεθοδολογίες χαρακτηρισμού αυτής της κατηγορίας.

-*εξάντληση των βιοτικών πόρων*: στους βιοτικούς πόρους συμπεριλαμβάνονται οι πόροι που συνδέονται με τη χλωρίδα και την πανίδα όπως για παράδειγμα γεωργικοί πόροι, δάση, ελέφαντες κ.λ.π.

-*επιπτώσεις από τη χρήση γης*: η κατηγορία αυτή καλύπτει μια ποικιλία από τις διάφορες επιπτώσεις που προκύπτουν από τη χρήση του εδάφους από τον άνθρωπο. Είναι σχετικά νέα κατηγορία και συνεχώς αναπτύσσεται. Χωρίζεται στις εξής υποκατηγορίες: α) εξάντληση της γης ως πηγή με την έννοια του να είναι προσωρινά μη διαθέσιμη, β) απώλεια βιοποικιλότητας και ζωτικών λειτουργιών που οφείλονται στις υλικές επεμβάσεις προερχόμενες από συγκεκριμένη χρήση της γης όπως καταστροφή ή τροποποίηση της γης για οικονομικούς λόγους.

-*ξήρανση*: η ξήρανση αναφέρεται σε μια ομάδα περιβαλλοντικών προβλημάτων προερχόμενα από την έλλειψη νερού εξαιτίας της εξαγωγής νερού από το έδαφος για βιομηχανική και πόσιμη παροχή νερού.

-*φαινόμενο του θερμοκηπίου*: το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την καύση όλων των σημερινών καυσίμων όπως ο άνθρακας, οι υγροί και αέριοι υδρογονάνθρακες ή η βιομάζα, είναι το κυριότερο από τα αέρια που συμβάλλουν στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η αλλαγή κλίματος που συμβαίνει έχει επιπτώσεις στην υγεία του οικοσυστήματος, στην υγεία του ανθρώπου και στην υλική ευημερία.

-*μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος*: αυτή η μείωση αναφέρεται στη λέπτυνση της στρατοσφαιρικής στοιβάδας του όζοντος ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών εκπομπών. Η στρατοσφαιρική στοιβάδα όζοντος απορροφά σημαντικό μέρος της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Χωρίς αυτήν τη στοιβάδα, σημαντικό μέρος αυτής της ακτινοβολίας θα έφτανε μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, προκαλώντας μεταξύ των άλλων και σοβαρή αύξηση των περιστατικών καρκίνων του δέρματος.

-*ανθρώπινη "δηλητηρίαση / τοξικότητα"*: αυτή η κατηγορία καλύπτει τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία εξαιτίας των τοξικών χημικών ενώσεων που συναντώνται στο περιβάλλον.

-*οικολογική "δηλητηρίαση / τοξικότητα"*: αυτή η κατηγορία καλύπτει τις επιπτώσεις εξαιτίας των τοξικών ενώσεων στα θαλάσσια, χερσαία κ.λ.π. οικοσυστήματα.

-*δημιουργία φωτοχημικού νέφους*: τα οξείδια του αζώτου σε συνδυασμό με τις μη μεθανικές πτητικές οργανικές ενώσεις, ανθρωπογενούς ή βιογενούς προέλευσης, συμμετέχουν στη χημεία του όζοντος και σε τοπική κλίμακα στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους. Ένα φαινόμενο επιζήμιο για την ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα, και που ακόμη μπορεί να καταστρέψει τις γεωργικές καλλιέργειες.

-*φαινόμενο της όξινης βροχής*: η οξίνιση είναι κύρια υπεύθυνη για τη διάβρωση των κτιρίων και την καταστροφή των δασών στις βιομηχανικές χώρες αλλά και με αρνητικές επιπτώσεις στα νερά λιμνών και ποταμών των χωρών αυτών, λόγω αύξησης της οξύτητας τους.

-*ευτροφισμός*: ο ευτροφισμός καλύπτει όλες τις δυνατές επιπτώσεις από υπερβολικά υψηλά περιβαλλοντικά επίπεδα ουσιών αζώτου και φωσφόρου.

-*θερμική ρύπανση*: κατά τη λειτουργία διάφορων δραστηριοτήτων απορρίπτονται στο περιβάλλον σημαντικά ποσά θερμότητας που μπορεί να αυξήσουν τις θερμοκρασίες σε τοπική

κλίμακα (σε μια πόλη ή λίμνη για παράδειγμα). Δεν μπορούν να συνεισφέρουν σε παγκόσμια αύξηση όπως οι εκπομπές που είναι σχετικές με το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

-*οσμή*: η μυρωδιά γίνεται πρόβλημα όταν μια δεδομένη συγκέντρωση αρωματικών ουσιών χαρακτηριστεί ως δυσάρεστη.

-*ηχητική ρύπανση*: με τον όρο αυτό περιγράφεται η απόρριψη στο περιβάλλον ενέργειας με τη μορφή ηχητικών κυμάτων. Είναι προφανές ότι ο θόρυβος αποτελεί μορφή ρύπανσης, δεδομένου ότι προκαλεί ενόχληση τόσο στους ανθρώπους όσο και στα ζώα, ενόχληση που σε υψηλές στάθμες θορύβου μπορεί να προκαλέσει και βλάβες στο νευρικό σύστημα (μόνιμες ή προσωρινές).

-*επιπτώσεις της ιονισμένης ακτινοβολίας*: αυτή η κατηγορία καλύπτει τις επιπτώσεις που προέρχονται από τις εκπομπές των ραδιενεργών ουσιών καθώς επίσης και από την άμεση έκθεση στην ραδιενέργεια (όπως για παράδειγμα στα υλικά οικοδομών).

-*θήματα*: αναφέρεται στα ανθρώπινα θύματα που προέρχονται από διάφορα δυστυχήματα.

Η επιλογή λοιπόν των κατηγοριών επιπτώσεων βασίζεται στο σκοπό της εκάστοτε μελέτης. Αυτό μπορεί να διευκρινιστεί με ένα παράδειγμα:

Σε μία Ανάλυση Κύκλου Ζωής συγκρίνοντας το φορτηγό και το τραίνο ως μέσο μεταφοράς, τα παρακάτω περιβαλλοντικά θέματα είναι σχετικά:

- Η χρήση γης που χρειάζεται για την κατασκευή δρόμων και σιδηρόδρομων αντίστοιχα
- Μικρά σωματίδια (κάτω από PM10) από μηχανές ντίζελ και από τα ελαστικά
- Θόρυβος
- Κατηγορίες επιπτώσεων οι οποίες συνίστανται από τις επιπτώσεις της χρήσης των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού, των βιομηχανικών κλιβάνων και των μηχανών ντίζελ. Αυτές πρέπει τουλάχιστον να περιλαμβάνουν:

- Αλλαγή κλίματος
- Οξίνιση, ευτροφισμός
- Άλλες τοξικές επιδράσεις στον άνθρωπο και στα οικοσυστήματα, περιλαμβάνοντας τον σχηματισμό του όζοντος κλπ.

- Εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και των ορυκτών (π.χ. ψευδάργυρος, αλουμίνιο κλπ)
Άλλες επιπτώσεις ή κατηγορίες επιπτώσεων μπορεί να συμπεριληφθούν, αλλά φαίνονται λιγότερο απαραίτητες. Για να γίνει μία τέτοια λίστα, ώστε να κατανοηθεί πλήρως ποιες κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει να οριστούν για να καλύψουν όλα αυτά τα θέματα, απαιτείται η κρίση μερικών ειδικών.

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) είναι πολύ ξεκάθαρος όσο αναφορά τα σημαντικότερα θέματα που δεν επιτρέπεται να παραλείπονται. Για παράδειγμα, θέματα όπως η χρήση γης, τα μικρά σωματίδια και ο θόρυβος πρέπει να μην παραλειφθούν για το παραπάνω παράδειγμα. Αυτή η σημαντική απαίτηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό του αριθμού των συγκεκριμένων μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων που δεν περιλαμβάνουν τέτοια θέματα:

- ❖ **CML 92** (δεν περιλαμβάνει τον θόρυβο, τη χρήση γης και έχει αδύναμα μοντέλα για τα μικρά σωματίδια)
- ❖ **Eco-indicator 95** (δεν περιλαμβάνει τη χρήση γης, τον θόρυβο και την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων)
- ❖ **Eco-indicator 99** (δεν περιλαμβάνει τον θόρυβο)
- ❖ **EPS 2000** (τα περιλαμβάνει όλα, αλλά μερικές φορές με τρόπο υπό εξέλιξη)

Αυτό το παράδειγμα υποδεικνύει ότι μέχρι στιγμής μόνο η μέθοδος EPS 2000 περιλαμβάνει τον θόρυβο ως κατηγορία επίπτωσης, αν και ο τρόπος που ο θόρυβος τίθεται σε εφαρμογή είναι μάλλον σε εξέλιξη. Μία πρόσφατη έκδοση (Muller-Wenk 1999) κάνει μία πρόταση για το πώς μπορεί να συμπεριληφθεί αυτή η κατηγορία επίπτωσης στη μέθοδο Eco-indicator 99.

Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατόν να συνδυαστούν κατηγορίες επιπτώσεων από διαφορετικές πηγές. Για παράδειγμα, η μέθοδος CML 1992 μπορεί να εκταθεί προσθέτοντας μία

δημοσιευμένη μέθοδο για το θόρυβο και για τη χρήση γης. Παρ' όλα αυτά, σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθούν οι επικαλύψεις στις κατηγορίες επιπτώσεων. Συνήθως είναι δύσκολο να κανονικοποιηθούν και να αξιολογηθούν τέτοια αποτελέσματα.

Από αυτό το παράδειγμα είναι ξεκάθαρο ότι η περιγραφή της περιβαλλοντικής σχετικότητας των επιλεγμένων κατηγοριών επιπτώσεων είναι απαραίτητη για κάθε Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Δεν μπορεί να επιλεγεί μία δημοσιευμένη μέθοδος χωρίς να υποστηριχθεί αυτή η επιλογή προσεκτικά.

Αναλυτικά οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων περιγράφονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης του αντίκτυπου περιγράφονται αναλυτικά στο τέλος του κεφαλαίου.

Αρχικές γραμμές για τον προσδιορισμό και την επιλογή των κατηγοριών αντίκτυπου γενικά για μια συγκεκριμένη μελέτη Α.Κ.Ζ.:

Γενική αρχική γραμμή για το πλαίσιο των κατηγοριών και το δείκτη s του αντίκτυπου της κατηγορίας:

ένα πλαίσιο θα αναπτυχθεί που είναι ανοικτό στην περαιτέρω επιστημονική πρόοδο και την περαιτέρω απαρίθμηση των πληροφοριών

Γενικές αρχικές γραμμές για το συνολικό αντίκτυπο της κατηγορίας s:

1. οι κατηγορίες θα επιτρέψουν μαζί μια αξιολόγηση καλύπτοντας τα σχετικά αποτελέσματα, όπως καταλαβαίνει αυτή η περίοδος (πληρότητα)
2. οι κατηγορίες πρέπει να έχουν την ελάχιστη κάλυψη και να αποφύγουν το διπλό υπολογισμό εκτός αν έτσι απαιτείται από το στόχο και τον τομέα
3. οι κατηγορίες πρέπει να γίνουν αποδεκτές διεθνώς, δηλαδή να βασιστούν σε μια διεθνή συμφωνία ή να εγκριθούν από ένα αρμόδιο διεθνές σώμα (ISO)
4. ο συνολικός αριθμός αντίκτυπου των κατηγοριών δεν πρέπει να είναι πάρα πολύς υψηλός

Οι αρχικές γραμμές για την επιλογή των κατηγοριών σε μια συγκεκριμένη Α.Κ.Ζ. καθορίζουν το Y:

1. οι επιλεγμένες κατηγορίες αντίκτυπου θα προσαρμόζονται με στο στόχο και τον τομέα της μελέτης της Α.Κ.Ζ. (ISO)
2. οι επιλεγμένες κατηγορίες αντίκτυπου θα διαμορφώσουν ένα περιεκτικό σύνολο του περιβαλλοντικών ερωτήσεων με το στόχο και το πεδίο της μελέτης Α.Κ.Ζ. (ISO)

Επιλογή των κατηγοριών αντίκτυπου

Στη διαμόρφωση που κατευθύνουν την προσέγγιση προβλήματος, ένας κατάλογος προεπιλογής των κατηγοριών πρώτου αντίκτυπου πρέπει να καθοριστεί.

Αυτός ο κατάλογος προεπιλογής αναγνωρίζει τρεις ομάδες της κατηγορίας αντίκτυπου:

Ομάδα Α: οι κατηγορίες αντίκτυπου των βασικών γραμμών περιλαμβάνουν εκείνες τις κατηγορίες που διακρίνονται και που με αναφορά στον Udo de Haes *et Al* (1999): για αυτό μια μέθοδος χαρακτηρισμού 3 των βασικών γραμμών επιλέγεται κατωτέρω.

4.3. Οι κατηγορίες αντίκτυπου Α συμπεριλαμβάνονται σχεδόν σε όλες τις μελέτες Α.Κ.Ζ. Δύο αναθεωρήσεις έχουν εισαχθεί όσον αφορά το Udo de Haes *et Al* (1999): η εξαγωγή των αβιοτικών πόρων είναι τώρα μείωση των αβιοτικών πόρων, ο τελευταίος όρος έχει χωριστεί σε πέντε υποκατηγορίες, τρεις από τις οποίες συμπεριλαμβάνονται στην ομάδα Α: το γλυκό υδροβίο ύδωρ, θαλάσσια οικοτοξικότητα και οικοτοξικότητα εδάφους.

Ομάδα Β: Οι κατηγορίες μελετών συγκεκριμένου αντίκτυπου περιλαμβάνουν τις κατηγορίες που μπορούν να αξίζουν το συνυπολογισμό, ανάλογα με το στόχο και τον τομέα της μελέτης της Α.Κ.Ζ. και εάν τα κατάλληλα στοιχεία είναι διαθέσιμα, προτείνεται σε αυτόν τον οδηγό μια βασική γραμμή ή /και μια εναλλακτική μέθοδος χαρακτηρισμού. Οι περισσότερες από αυτές τις κατηγορίες αναφέρονται από τον Udo de Haes (ed.;1996) ή από τον Udo de Haes *et Al* (1999):, ακόμα κι αν έχει οριστεί πιο πρόσφατα (π.χ. η γλυκιά οικοτοξικότητα ύδατος των υποκατηγοριών των ιζημάτων και θαλάσσια οικοτοξικότητα των ιζημάτων).

Ομάδα Γ: άλλες κατηγορίες αντίκτυπου περιλαμβάνουν τις κατηγορίες που αναφέρονται από Heijungs *et Al* (1992), Udode Haes (ED 1996) and/or Udo de Haes *et Al* (1999) για αυτό καμία μέθοδος χαρακτηρισμού των βασικών γραμμών δεν προτείνονται σε αυτόν τον οδηγό. Αυτές οι κατηγορίες αντίκτυπου απαιτούν την περαιτέρω επεξεργασία προτού να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στις μελέτες A.K.Z., με την έρευνα να είναι ακόμα υπό ανάπτυξη. Η αποξήρανση, παραδείγματος χάριν, είναι ένα ερώτημα που λαμβάνει την ιδιαίτερη προσοχή στις Κάτω Χώρες και την Αυστραλία (κέντρο ανίχνευσης και ελέγχου).

Επιλογή των χαρακτηριστικών μεθόδων: δείκτες για κάθε κατηγορία, χαρακτηριστικά μοντέλα και συντελεστές

Οι διάφορες ροές που καταγράφονται στον πίνακα δεδομένων ποσοτικοποιούνται σε όρους ενός δείκτη για κάθε κατηγορία. Ακολούθως χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά μοντέλα υπολογισμού για κάθε κατηγορία, από τα οποία προέρχονται οι χαρακτηριστικοί συντελεστές για κάθε ρύπο ξεχωριστά και ούτω καθ' εξής.

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές χαρακτηριστικές μέθοδοι. Συνήθως προτείνεται μια βασική χαρακτηριστική μέθοδος η οποία θεωρείται ως η τρέχουσα καλύτερη διαθέσιμη πρακτική για τη συγκεκριμένη κατηγορία επιπτώσεων. Ωστόσο χρησιμοποιούνται και εναλλακτικές μέθοδοι, πρόσθετες μέθοδοι, και διάφορες άλλες που ξεκινούν από εντελώς διαφορετικές αρχές.

Στη βασική μέθοδο πρέπει να υπάρχει γραμμικότητα που σημαίνει ότι ο χαρακτηρισμός βασίζεται στον χαρακτηριστικό συντελεστή ο οποίος είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος της περιβαλλοντικής ροής. Με αυτόν τον τρόπο η γενική δομή της A.K.Z. δεν αλλάζει και είναι η εξής:

“ Επίπτωση/Κατηγορία = Σ (Μάζα Ουσίας * Χαρακτηριστικό Συντελεστή/Κατηγορία και Ουσία) ”

Το στάδιο αυτό κρίνεται πολύ σημαντικό για την διεξαγωγή της A.K.Z. αφού τα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης εξαρτώνται άμεσα από την επιλογή των χαρακτηριστικών μεθόδων και συντελεστών. Οπότε η επιλογή αυτή πρέπει να είναι σύμφωνη με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης.

2.3.3. Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση είναι το βήμα, κατά το οποίο οι πληροφορίες από την αναλυτική απογραφή δεδομένων (που συχνά αναφέρεται ως πίνακας καταγραφής) συνδέονται με τις διάφορες δυνατές κατηγορίες επιπτώσεων. Για τα στοιχεία του KAKZ που συμβάλλουν μόνο σε μια κατηγορία επίπτωσης, η διαδικασία αποτελεί μια απλή ανάθεση. Παραδείγματος χάριν: οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μπορούν να ταξινομηθούν στη κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Για τα στοιχεία LCI που συμβάλλουν σε δύο ή περισσότερες διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, πρέπει να θεσπιστεί κάποιος κανόνας για την ταξινόμηση. Υπάρχουν δύο τρόποι ταξινόμησης των αποτελεσμάτων του KAKZ σε πολλαπλές κατηγορίες επιπτώσεων (ISO 1998):

- Κατανομή ενός αντιπροσωπευτικού τμήματος των αποτελεσμάτων του KAKZ στις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν. Αυτό τυπικά επιτρέπεται σε περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα εξαρτώνται το ένα από το άλλο.
- Ανάθεση όλων των αποτελεσμάτων του KAKZ σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες συμβάλλουν. Αυτό τυπικά επιτρέπεται όταν τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Παραδείγματος χάριν, δεδομένου ότι ένα μόριο SO₂ μπορεί να μείνει στο επίπεδο του εδάφους ή να ταξιδέψει στην ατμόσφαιρα, μπορεί να έχει επιπτώσεις είτε στην ανθρώπινη υγεία είτε στο φαινόμενο της όξινης βροχής (αλλά όχι και στα δύο συγχρόνως). Επομένως, οι

εκπομπές SO₂ θα διαιρούνταν τυπικά μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών επιπτώσεων (π.χ. 50% διατίθενται στην ανθρώπινη υγεία και 50% διατίθενται στο φαινόμενο της όξινης βροχής). Από την άλλη, δεδομένου ότι το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) μπορεί πιθανώς να έχει επιπτώσεις και στο σχηματισμό όζοντος στο επίπεδο του εδάφους και στο φαινόμενο της όξινης βροχής (συγχρόνως), ολόκληρη η ποσότητα του NO₂ θα κατανεμηθεί και στις δύο κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ., 100% στο σχηματισμό όζοντος στο επίπεδο του εδάφους και 100% στο φαινόμενο της όξινης βροχής). Η διαδικασία κατανομής πρέπει να τεκμηριωθεί με σαφήνεια.

Κατά την ταξινόμηση, οι επιπτώσεις θα συμπεριληφθούν στα γενικά πεδία προστασίας, δηλαδή της εξάντλησης των φυσικών πόρων, της ανθρώπινης υγείας, και της υγείας του οικοσυστήματος. Προσδιορίζοντας τις ειδικές κατηγορίες επιπτώσεων, θα πρέπει να επικεντρωθεί η προσοχή στις περιβαλλοντικές διεργασίες που συνδέονται μ' αυτές, ώστε η εκτίμηση των επιπτώσεων να βασίζεται όσο το δυνατόν σε επιστημονική γνώση γύρω από αυτές τις διεργασίες.

Εξετάζοντας τις επιπτώσεις από την εξάντληση των φυσικών πόρων, οι φυσικοί πόροι αναλύονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- “Αποθέματα φυσικών πόρων” που δεν είναι ανανεώσιμα, δηλαδή μόνο ένα περιορισμένο απόθεμα είναι διαθέσιμο.
- “Ροές φυσικών πόρων” που είναι ανανεώσιμες, όπως το νερό, ο αέρας, κλπ
- “Βιοτικοί φυσικοί πόροι” που συνδέονται με την χλωρίδα και την πανίδα, όπως η γεωργία, τα δάση και οι ζωντανοί οργανισμοί.

Εξετάζοντας τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία τίγονται θέματα ασφάλειας (π.χ. ατυχήματα, εκρήξεις και πυρκαγιές) υπό τον όρο “οξείες επιπτώσεις”, και ασθενειών (π.χ. καρκίνος) υπό τον όρο “μακροπρόθεσμες επιπτώσεις”.

Στα πλαίσια της υγείας του οικοσυστήματος, εξετάζονται οι επιπτώσεις στις υποκατηγορίες: δομή, λειτουργία, και βιοδιασπαστική ικανότητα, με την εξής ανάλυση:

Δομή:

- πληθυσμός, κοινότητα, και οικοσύστημα
- επίπεδα διατροφής
- φυσικό περιβάλλον

Λειτουργία:

- παραγωγικότητα
- διεργασία (π.χ. κύκλοι άνθρακα, θείου, αζώτου)

Βιοδιασπαστική ικανότητα:

- καταστροφή φυσικού περιβάλλοντος
- είδη σπάνια και υπό εξαφάνιση

Επιδιώκοντας μια λεπτομερέστερη ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων θα ήταν αναγκαίο να εξεταστούν οι επιπτώσεις και στον τομέα της κοινωνικής πρόνοιας, οι οποίες ουσιαστικά είναι οι παραπάνω επιπτώσεις (ανθρώπινη υγεία, υγεία του οικοσυστήματος, και εξάντληση των φυσικών πόρων) που συνδέονται με δραστηριότητες κοινωνικής πρόνοιας:

- ποιότητα/ ποσότητα του αέρα, του νερού και του εδάφους (π.χ. μείωση κατανάλωσης)
- γεωργική παραγωγικότητα (π.χ. παραγωγή τροφίμων και ινών)
- παραγωγικότητα φυσικών πόρων (π.χ. ψάρια και ξυλεία)
- αναψυχή
- καταστροφή υλικών (π.χ. κτίρια και πολιτιστική κληρονομιά)
- οχλήσεις (π.χ. ορατότητα, θόρυβος και οσμές)

Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης μπορούν να δοθούν σε μορφή πίνακα, όπως στον Πίνακα 2.4 στον οποίο φαίνεται η σχέση των ειδικών κατηγοριών επιπτώσεων (μόνο σαν παράδειγμα) με τα γενικά πεδία προστασίας. Να σημειωθεί ότι, για μια ειδική κατηγορία επιπτώσεων, μπορεί να υπάρχουν άμεσες και έμμεσες συνέπειες.

Ο πίνακας 2.4 στηρίζεται στα αποτελέσματα της μελέτης Leiden, Netherlands (SETAC 1992) και της μελέτης Sandestin, Florida (SETAC 1993). Οι επιπτώσεις που περιέχονται στον

πίνακα ποικίλουν από τόπο σε τόπο. Η ταξινόμηση αυτή δεν είναι καθοριστική και τα προβλήματα μεθοδολογίας που συναντώνται κατά την αντιμετώπιση των διαφόρων τύπων επιπτώσεων συχνά δεν επιλύονται με κανένα τρόπο. Εκτός από τις παραπάνω επιπτώσεις μπορούν να συμπεριληφθούν και άλλες, ιδιαίτερης σημασίας για το υπό μελέτη σύστημα.

Πίνακας 2.4: Η σχέση ανάμεσα στα γενικά πεδία προστασίας και των ειδικών κατηγοριών επιπτώσεων

<u>Ειδικές κατηγορίες επιπτώσεων</u> (παραδείγματα)	<u>Γενικά πεδία προστασίας</u>		
	Φυσικοί πόροι	Ανθρώπινη υγεία	Υγεία οικос.
<u>Εξάντληση φυσικών πόρων</u>		(+)	(+)
-εξάντληση αβιοτικών πόρων	+	+	+
-εξάντληση βιοτικών πόρων	+	(+)	+
<u>Μόλυνση</u>		(+)	
-Αύξηση μέσης θερμότη. της ατμόσφ.		+	+
-Καταστροφή του όζοντος		(+)	
-Ανθρώπινη “δηλητηρίαση”		+	
-“Δηλητηρίαση” οικοσυστήματος		+	
-Δημιουργία φωτοχημικού νέφους		+	
-Οξείνιση			
-Ευτροφισμός			
<u>Υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και του τοπίου</u>			
-Χρήση του εδάφους			

+ άμεση επίπτωση

(+) έμμεση επίπτωση

Σύμφωνα με το στάδιο ταξινόμησης, όπως περιγράφεται στον ISO 14042 (2000E), υπάρχουν ορισμένα θέματα προς διευκρίνιση:

Με βάση τα βήματα ταξινόμησης η ISO 14042 (2000E) δηλώνει: "Όταν τα αποτελέσματα LCI ορίζονται στις κατηγορίες αντίκτυπου, μπορούν να αναδειχθούν τα ζητήματα που συνδέονται με τα αποτελέσματα LCI. Η ανάθεση των αποτελεσμάτων LCI στις

προσκρουσμένες κατηγορίες πρέπει να εξετάσει τα εξής, εκτός αν απαιτούνται από το στόχο και το πεδίο:

- ανάθεση των αποτελεσμάτων LCI που αφορούν αποκλειστικά μια και μόνο κατηγορία αντίκτυπου

- προσδιορισμός των αποτελεσμάτων LCI που αφορούν περισσότερες από μια κατηγορίες αντίκτυπου

- διάκριση μεταξύ των παράλληλων μηχανισμών, π.χ. SO₂, διατίθεται μεταξύ των κατηγοριών αντίκτυπου ανθρώπινης υγείας και οξίνισης

- η κατανομή μεταξύ των τμηματικών μηχανισμών, π.χ. NO_x μπορεί να οριστεί στο κατώτερο επίπεδο σχηματισμού και οξίνισμού του όζοντος.

Εάν τα αποτελέσματα LCI είναι μη διαθέσιμα ή στοιχεία ανεπαρκούς ποιότητας για το LCIA για να επιτύχουν το στόχο και το πεδίο της μελέτης είτε απαιτείται μια επαναληπτική συλλογή δεδομένων ή μια ρύθμιση του στόχου και του πεδίου."

Οι Guinée (1995), Lindfors *et al.* (1995c), Udo de Haes *ed.* (1996) and Wenzel *et al.* (1997) επίσης συζητούν το θέμα των πολλαπλάσιων επιδράσεων των χημικών απελευθερώσεων και διακρίνουν τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες εκπομπών:

- Εκπομπές με παράλληλες επιδράσεις, δηλ. εκπομπές των ουσιών που μπορεί θεωρητικά να συμβάλουν σε περισσότερες από μια κατηγορίες αντίκτυπου αλλά στην πράξη μόνο σε μία, π.χ. μια εκπομπή του SO₂ που μπορεί να έχει είτε τοξικές επιπτώσεις είτε επιπτώσεις οξίνισης .

- Οι εκπομπές με τις τμηματικές επιδράσεις, δηλ. εκπομπές των ουσιών που μπορούν στην πράξη να ασκήσουν διαδοχικές επιδράσεις, π.χ. εκπομπές των βαρέων μετάλλων που μπορούν πρώτα να ασκήσουν οικολογικές τοξικολογικές επιδράσεις και στη συνέχεια, μέσω τροφικών αλυσίδων, να έχουν αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία.

- Εκπομπές με έμμεσες επιδράσεις, δηλ. εκπομπές ουσιών που ασκούν μια αρχική επίδραση που οδηγεί στη συνέχεια σε μια ή περισσότερες δευτεροβάθμιες επιδράσεις, π.χ. τοξικότητα αλουμινίου που προκαλείται από την οξίνιση, ή μεθάνιο που συμβάλλει στο σχηματισμό φωτοοξειδωτικού νέφους, με το παραχθέν όζον που συμβάλλει στη συνέχεια στην αλλαγή κλίματος, η οποία μπορεί εν τέλει να συμβάλει στη στρατοσφαιρική μείωση όζοντος.

- Εκπομπές με συνδυασμένες επιδράσεις, δηλ. εκπομπές των ουσιών που έχουν μια αμοιβαία επιρροή ο ένας στις επιδράσεις του άλλου, π.χ. συνεργατικές ή ανταγωνιστικές επιδράσεις των μιγμάτων τοξικών ουσιών, ή NO_x και των VOC, τα οποία απαιτούνται για το σχηματισμό φωτοοξειδωτικού νέφους

Όταν τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων αντιστοιχούνται σε κατηγορίες επιπτώσεων, πρέπει να τονίζονται θέματα σχετιζόμενα με τα αποτελέσματα αυτά. Η αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες ιδέες:

- αντιστοίχιση αποτελεσμάτων απογραφής δεδομένων που αφορούν αποκλειστικά μία κατηγορία επίπτωσης,

- ανίχνευση των αποτελεσμάτων απογραφής δεδομένων που συνδέονται με περισσότερες από μία κατηγορίες επιπτώσεων,

- διαχωρισμός μεταξύ παράλληλων μηχανισμών, όπως π.χ. του SO₂, που τοποθετείται στις κατηγορίες της ανθρώπινης υγείας και οξύτητας.

Αν τα αποτελέσματα της απογραφής δεδομένων είναι μη διαθέσιμα ή προκύπτουν από ανεπαρκή αποτελέσματα ώστε η εκτίμηση επιπτώσεων να πετύχει το σκοπό της μελέτης τότε απαιτείται είτε συγκέντρωση πρόσθετων δεδομένων ή προσαρμογή του σκοπού της μελέτης.

Εξάλλου οι Guinée (1995), Lindfors *et al.* (1995c), Udo de Haes *ed.* (1996) and Wenzel *et al.* (1997) πραγματεύονται το ζήτημα των πολλαπλών επιπτώσεων των χημικών εκπομπών και διαφοροποιούν τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες εκπομπών:

- 1) Εκπομπές με παράλληλες επιδράσεις, όπως π.χ. εκπομπές ουσιών που εισφέρουν θεωρητικά σε περισσότερες από μία κατηγορίες επιπτώσεων αλλά στην πράξη μόνο σε μία. Παράδειγμα αυτού είναι οι εκπομπές SO₂ που μπορεί να έχουν επιδράσεις τοξικές ή όξυνσης.
- 2) Εκπομπές με σημαντικές επιπτώσεις, όπως π.χ. εκπομπές ουσιών που στην πράξη προκαλούν εξακολουθητικές επιπτώσεις. Παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι εκπομπές βαρέων μετάλλων που αρχικά μπορεί να προκαλέσουν οικοτοξικές επιπτώσεις και ακολούθως, μέσω των διατροφικών αλυσίδων, επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.
- 3) Εκπομπές με έμμεσες επιπτώσεις, όπως π.χ. εκπομπές ουσιών που έχουν μία κύρια επίδραση που τελικά οδηγούν σε μία ή περισσότερες δευτερεύουσες επιπτώσεις. Ένα παράδειγμα στην κατηγορία αυτή είναι η τοξικότητα του αλουμινίου που προκύπτει από τη δημιουργία φωτο-οξειδωσης, με το παραγόμενο όζον να συμμετέχει στην αλλαγή του κλίματος, το οποίο μπορεί τελικά να οδηγήσει εισφέρει στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος.
- 4) Εκπομπές με συνδυασμένες επιπτώσεις, όπως π.χ. εκπομπές ουσιών που έχουν μία αμοιβαία επίδραση στις επιπτώσεις μεταξύ τους. Εδώ μπορεί να αναφερθούν οι συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές επιπτώσεις μιγμάτων τοξικών ουσιών, ή των NO_x και VOC.

2.3.4. Χαρακτηρισμός

(Βήμα 3: Χαρακτηρισμός)

Ο χαρακτηρισμός είναι το βήμα κατά το οποίο πραγματοποιείται η ποσοτικοποίηση, και όπου είναι δυνατόν, το άθροισμα των επιπτώσεων που ανήκουν στις κατηγορίες επιπτώσεων που ορίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Το βήμα αυτό θα πρέπει να στηρίζεται σε επιστημονικά δεδομένα των περιβαλλοντικών διεργασιών.

Ο χαρακτηρισμός των επιπτώσεων χρησιμοποιεί συντελεστές μετατροπής βασισμένους σε επιστημονικά δεδομένα, που αποκαλούνται συντελεστές χαρακτηρισμού, για να μετατρέψει και να συνδυάσει τα αποτελέσματα του ΚΑΚΖ σε αντιπροσωπευτικούς δείκτες των επιπτώσεων στην ανθρώπινη και οικολογική υγεία. Οι συντελεστές του χαρακτηρισμού επίσης αναφέρονται συνήθως και ως ισοδύναμοι συντελεστές. Ο χαρακτηρισμός παρέχει έναν τρόπο άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων του ΚΑΚΖ μέσα σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων. Με άλλα λόγια, οι συντελεστές χαρακτηρισμού μεταφράζουν τις διαφορετικές εισροές του ΚΑΚΖ σε άμεσα συγκρίσιμους δείκτες επιπτώσεων. Παραδείγματος χάριν, ο χαρακτηρισμός θα παρείχε μια εκτίμηση της σχετικής επίγειας τοξικότητας μεταξύ του μολύβδου, του χρωμίου και του ψευδάργυρου

Κατηγορίες επιπτώσεων

Τα ακόλουθα αποτελούν μια λίστα από διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων και σημεία που προσδιορίζουν τις επιπτώσεις:

• Επιπτώσεις παγκόσμιας κλίμακας

Φαινόμενο θερμοκηπίου – λιώσιμο πάγων, απώλεια υγρασίας εδάφους, μεγαλύτερες εποχές, αλλαγή / καταστροφή δασών και αλλαγές στη μορφή των ανέμων και του ωκεανού.

Καταστροφή όζοντος – αυξημένη υπεριώδης ακτινοβολία.

Εξάντληση πόρων – μειωμένοι πόροι για τις μελλοντικές γενεές.

• Επιπτώσεις περιφερειακής κλίμακας

Φωτοχημική ομίχλη – ομίχλη, μειωμένη ορατότητα, ερεθισμός στα μάτια, ερεθισμός αναπνευστικού συστήματος και πνευμόνων και ζημιές στη βλάστηση.

Οξίνιση / Φαινόμενο όξινης βροχής – διάβρωση κτιρίων, οξίνιση υδάτινων μαζών, επιπτώσεις στην βλάστηση και στο έδαφος.

• Επιπτώσεις τοπικής κλίμακας

Ανθρώπινη υγεία – αυξημένη ανάπτυξη νόσων και θνησιμότητα.

Επίγεια τοξικότητα – μειωμένη παραγωγή και βιοποικιλία και μείωση ζωικού βασιλείου είτε ως κινήγι είτε ως θέαμα.

Υδάτινη τοξικότητα – μειωμένη παραγωγή υδρόβιων φυτών και εντόμων, βιοποικιλία και εμπορικό ή ψυχαγωγικό ψάρεμα.

Χρήση γης – απώλεια καταφυγίων εδάφους για τα ζώα και τα πουλιά και μειωμένος χώρος για ΧΥΤΑ.

Οι δείκτες των επιπτώσεων χαρακτηρίζονται από την ακόλουθη εξίσωση:

Δεδομένα ΚΑΚΖ x Συντελεστής Χαρακτηρισμού = Δείκτες Επιπτώσεων

Για παράδειγμα, όλα τα αέρια του θερμοκηπίου μπορούν να εκφραστούν σαν ισοδύναμα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με πολλαπλασιασμό των σχετικών αποτελεσμάτων του ΚΑΚΖ με έναν συντελεστή χαρακτηρισμού του CO₂ και έπειτα συνδυάζοντας τους δείκτες επιπτώσεων που προκύπτουν δημιουργείται ένας συνολικός δείκτης για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Χαρακτηρισμός του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Τιμή συντελεστή GWP για το χλωροφόρμιο* = 9	Ποσότητα = 20 kg
Τιμή συντελεστή GWP για το μεθάνιο* = 21	Ποσότητα = 10 kg
Επίπτωση GWP για το χλωροφόρμιο = 20 kg x 9 = 180	
Επίπτωση GWP για το μεθάνιο = 10 kg x 21 = 210	
GWP = Global Warming Potential	
* Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Model	

Ο χαρακτηρισμός μπορεί να μετατρέψει αυτές τις διαφορετικές ποσότητες χημικών ουσιών σε μια ίση κλίμακα για να καθορίσει το ποσό της επίπτωσης που έχει η καθεμιά στην αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι 10 κιλά μεθανίου έχουν μεγαλύτερη επίπτωση στην αύξηση της θερμοκρασίας απ' ό τι 20 κιλά χλωροφορμίου.

Το κλειδί για το χαρακτηρισμό των επιπτώσεων είναι η χρησιμοποίηση του κατάλληλου συντελεστή χαρακτηρισμού. Για μερικές κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η το φαινόμενο θερμοκηπίου και η καταστροφή του όζοντος, υπάρχει ομοφωνία σε αποδεκτούς συντελεστές χαρακτηρισμού. Για άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η μείωση των πόρων μια τέτοια συμφωνία είναι υπό ανάπτυξη. Ο πίνακας 4-1 περιγράφει τους πιθανούς συντελεστές χαρακτηρισμού για μερικές από τις κατηγορίες επιπτώσεων του κύκλου ζωής που χρησιμοποιούνται συνήθως.

Μια σωστή ΑΕΚΖ θα τεκμηριώνει την πηγή(ες) κάθε συντελεστή χαρακτηρισμού για να εξασφαλίζει ότι είναι σχετικοί με το στόχο και το πεδίο της μελέτης. Παραδείγματος χάριν, πολλοί συντελεστές χαρακτηρισμού είναι βασισμένοι σε μελέτες που πραγματοποιούνται στην Ευρώπη. Επομένως, η σχετικότητα των ευρωπαϊκών συντελεστών χαρακτηρισμού πρέπει να ερευνηθεί προτού να μπορέσουν να εφαρμοστούν σε αμερικανικά δεδομένα.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις του χαρακτηρισμού. Μια μέθοδος είναι να συσχετιστούν οι πληροφορίες από τον πίνακα της αναλυτικής απογραφής δεδομένων κατά ένα γενικό τρόπο, για παράδειγμα, με τις NOECs ή με περιβαλλοντικά κριτήρια. Από την άλλη, υπάρχουν προσεγγίσεις που προσπαθούν να μοντελοποιήσουν (σε γενικές γραμμές) την έκθεση και τις επιδράσεις. Πρόσφατα δόθηκε πολλή προσοχή στην ανάπτυξη και χρήση ισοδύναμων όρων για τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως την ενδεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (Global Warming Potential -GWP) και την ενδεχόμενη καταστροφή του όζοντος (Ozone Depletion Potential- ODP). Σ' αυτές τις προσεγγίσεις δεν γίνεται καμία απευθείας μέτρηση του φαινομένου.

Ο πιο πλήρης καθορισμός των διαδικασιών ποσοτικοποίησης έχει παρουσιαστεί από μια ομάδα ερευνητών στην Ολλανδία. Η βασική προσέγγιση συνίσταται στον υπολογισμό ισοδύναμων συντελεστών για τα διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα. Το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η ενδεχόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Σε αυτή την περίπτωση, οι εκπομπές των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου ανάγονται στο ισοδύναμο ποσό του CO₂, με τη χρήση διεθνώς συμφωνημένων διαδικασιών. Οι τιμές που

προκύπτουν μπορούν εύκολα να προστεθούν αθροίζοντας τις μεμονωμένες συνεισφορές των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος. Το αποτέλεσμα είναι το ισοδύναμο ποσό του διοξειδίου του άνθρακα, συνδεδεμένο με όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της υπηρεσίας, ανά λειτουργική μονάδα. Μια παρόμοια διαδικασία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ενδεχόμενης καταστροφής του όζοντος, της οξείνισης, του ευτροφισμού, και της δημιουργίας φωτοχημικού νέφους.

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου στην ανάλυση της ανθρώπινης “δηλητηρίασης” και της “δηλητηρίασης” του οικοσυστήματος φαίνεται να είναι λιγότερο αποτελεσματική. Η εισαγωγή μοντέλων υπολογισμού τύπου-Mackay, για να δώσει εκτιμήσεις έκθεσης για τα στοιχεία, καθιστά αναγκαία την εισαγωγή πολυάριθμων υποθέσεων περιπλέκοντας έτσι περισσότερο την εκτίμηση επιπτώσεων. Αν ωστόσο, μελλοντικά, είναι διαθέσιμη μια τυποποιημένη μέθοδος υπολογισμού της κατανομής βλαβερών στοιχείων, αυτή η μέθοδος θα μπορούσε να συμβάλει στην βελτίωση της ανάλυσης που αφορά τη “δηλητηρίαση” του οικοσυστήματος στα πλαίσια της εκτίμησης επιπτώσεων της ΑΚΖ.

Μια πρόταση από τους Klopffer και Renner (1994) για την ποσοτικοποίηση της ανθρώπινης “δηλητηρίασης” και της “δηλητηρίασης” του οικοσυστήματος, ήταν να χρησιμοποιείται η προσέγγιση σταθμικής επιβάρυνσης. Το πρόβλημα, βέβαια, σ' αυτή την περίπτωση είναι η κατάλληλη επιλογή των συντελεστών βαρύτητας.

Για την ανάλυση όσον αφορά την ανθρώπινη “δηλητηρίαση”, οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις επικίνδυνων ουσιών (ΜΕΣ) στο χώρο εργασίας (γερμανικός όρος: MAK) μπορούν να θεωρηθούν ως συντελεστές βαρύτητας. Αυτές οι τιμές είναι κοντά στο NOEL για έκθεση ενηλίκων 8 ώρες την ημέρα. Οι τιμές αυτές, ωστόσο, διαφέρουν από χώρα σε χώρα, γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται διεθνείς μέσες τιμές από ότι εθνικές. Εναλλακτικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι χαμηλότερες μέγιστες συγκεντρώσεις εκπομπών (ΜΣΕ) (γερμανικός όρος: ΜΙΚ), που όμως δυστυχώς είναι διαθέσιμες για λιγότερα επικίνδυνα στοιχεία σε σύγκριση με τα όρια έκθεσης στο χώρο εργασίας.

Για τη “δηλητηρίαση” του οικοσυστήματος, πρέπει να καθοριστούν οι συντελεστές βαρύτητας για το νερό και τα απόβλητα. Σε αυτή τη περίπτωση, ως συντελεστές βαρύτητας προτείνονται τα No Observed-Effect Levels (NOEL) για ευπαθείς οργανισμούς. Καμιά καινούρια ανάπτυξη δεν πρέπει να επιχειρείται ειδικά για την ΑΚΖ, αλλά αντιθέτως πρέπει να υιοθετούνται διεθνώς συμφωνημένες διαδικασίες για τον καθορισμό των NOEL's. Δυστυχώς, μόνο ο τομέας που αφορά το νερό έχει μελετηθεί από την Ε.Ε. και το ECETOC (European Chemical Industry Ecology & Toxicology Center 1992). Ένα ακόμα άλυτο πρόβλημα είναι η αποτίμηση των καρκινογόνων ή μεταλλαγμένων στοιχείων κατά έναν τυποποιημένο τρόπο. Μια μέση λύση είναι μια περιγραφή των επιπτώσεων ή η χρησιμοποίηση ποιοτικών δεικτών, έως ότου υπάρξουν ικανοποιητικές διαδικασίες ποσοτικοποίησης.

Καινούριες διαδικασίες χαρακτηρισμού έχουν προταθεί για τις κατηγορίες “εξάντληση φυσικών πόρων” και “χρήση του εδάφους” (Klopffer και Renner, 1994). Η κατηγορία “απόβλητα” (στερεά απορρίμματα) έχει ήδη ποσοτικοποιηθεί στο στάδιο της αναλυτικής απογραφής. Το ίδιο ισχύει και για την “χρήση της ενέργειας” του συστήματος, που πρέπει επίσης να συμπεριληφθεί στο οικολογικό προφίλ του προϊόντος, μαζί με τα αποτελέσματα της εκτίμησης επιπτώσεων. Το οικολογικό προφίλ μπορεί εύκολα να παρουσιαστεί με τη μορφή ενός ραβδωτού διαγράμματος, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε συγκρίσιμες ΑΚΖ, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση της αξιολόγησης.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το στάδιο του χαρακτηρισμού μπορούν να αναφέρονται ως το “προφίλ επιπτώσεων”, αποτελούμενο από ένα πλήθος από μετρήσεις και περιγραφές επιπτώσεων. Συχνά μπορεί να χρειάζονται πληροφορίες για τύπους επιπτώσεων που δεν είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθούν. Οποιαδήποτε προσέγγιση χρησιμοποιείται γι' αυτό το μέρος της ΑΚΖ, είναι απαραίτητο να αναλύεται πλήρως μέσα στην αναφορά της μελέτης και να δηλώνεται ξεκάθαρα η βάση στην οποία στηρίχθηκαν τα συμπεράσματα της εκτίμησης επιπτώσεων.

Μεθοδολογίες Χαρακτηρισμού

Οι επιπτώσεις που μελετώνται στο στάδιο της εκτίμησής των, περιλαμβάνουν την εξάντληση φυσικών πόρων, τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές επιπτώσεις. Για κάθε επιμέρους κατηγορία επιπτώσεων που περιλαμβάνεται στις παραπάνω τρεις γενικές κατηγορίες (βλ. πιν.2.4), έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες χαρακτηρισμού με σκοπό την ποσοτικοποίησή τους. Η εξάντληση των φυσικών πόρων μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω κατηγορίες επιπτώσεων:

- Ενέργεια και υλικά
- Νερό
- Έδαφος (συμπεριλαμβανομένου του εδάφους με μεγάλη υγρασία)

Η μέθοδος χαρακτηρισμού αποτελείται βασικά από δύο μέρη:

- α) Καθορισμό του περιβαλλοντικού προβλήματος
- β) Μέθοδο ποσοτικοποίησης

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές μεθοδολογίες χαρακτηρισμού για την επιμέρους κατηγορία επίπτωσης “εξάντληση ενέργειας και υλικών”.

1) Αθροισμα ενέργειας και υλικών χωρίς υπολογισμό της βαρύτητάς τους

Προτείνεται η ενέργεια να χρησιμοποιείται σαν μια κατηγορία επιπτώσεων, είτε ως ο μοναδικός δείκτης της εξάντλησης φυσικών πόρων (Habersatter, 1991) είτε σε συνδυασμό με ένα σύνολο πρώτων υλών χωρίς να έχει υπολογιστεί η βαρύτητά τους με βάση κάποια μονάδα μάζας (Hunt et al., 1974, Christiansen, 1991, Baumann et al., 1992). Για την ενέργεια και την ύλη, μπορεί να γίνει διάκριση ανάμεσα στις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές. Για ανόργανες ύλες, μπορεί να ληφθεί υπόψη, είτε το επεξεργασμένο προϊόν, π.χ. ένα μέταλλο, είτε όλο το μέταλλευμα, δίνοντας διαφορετικά αποτελέσματα.

2) Μεθοδολογίες βασισμένες σε λόγους διαθέσιμων αποθεμάτων και αποθεμάτων προς χρήση (reserves-to-use ratios)

Προτού γίνει ανάλυση αυτών των μεθόδων πρέπει να καθοριστούν κάποιοι όροι. Στην τεχνική ορολογία χρησιμοποιούνται συνήθως οι παρακάτω ορισμοί:

Η *βάση των διαθέσιμων αποθεμάτων* είναι αυτό το τμήμα μιας προσδιορισμένης πηγής που παρουσιάζει τα ελάχιστα υλικά και χημικά κριτήρια σε σχέση με σύγχρονες τεχνικές μετάλλευσης και παραγωγής.

Πραγματικά *διαθέσιμα αποθέματα* είναι το μέρος της βάσης των διαθέσιμων αποθεμάτων που θα μπορούσαν να εξαχθούν οικονομικά, τεχνητά και νόμιμα στον χρόνο καθορισμού.

Οι ορισμοί δείχνουν ότι οι όροι είναι δυναμικοί και αναφέρονται στην τρέχουσα κατάσταση. Γενικά, αν κάτι λαμβάνεται από ένα διαθέσιμο απόθεμα, περιμένουμε ότι αυτό θα μειωθεί. Παρόλα αυτά, τα διαθέσιμα αποθέματα έχουν αυξηθεί από το 1940 για κάποια από τα βασικά μέταλλα.

Η χρήση των διαθέσιμων αποθεμάτων, η βάση των διαθέσιμων αποθεμάτων καθώς και άλλες μετρήσεις των πηγών πρώτων υλών έχουν εξεταστεί (Fava et al., 1993, Guinea et al., 1993, Heijungs et al., 1992) και ορίστηκαν οι παρακάτω τρεις εξισώσεις:

$$W = \frac{1}{R} \dots \dots \dots (1)$$

$$W = \frac{U}{R} \dots \dots \dots (2)$$

$$W = \frac{1}{R} * \frac{U}{R} \dots \dots \dots (3)$$

όπου W είναι ο συντελεστής βαρύτητας, R είναι τα διαθέσιμα αποθέματα ή η βάση των διαθέσιμων αποθεμάτων ή μια άλλη μέτρηση της ποσότητας μιας πηγής πρώτων υλών και U είναι η ετήσια χρήση της πηγής.

Ο “λόγος των αποθεμάτων προς χρήση” (R/U) που χρησιμοποιείται στις σχέσεις (2) και (3), θα διαφοροποιείται τυπικά μόνο ως προς μια τάξη μεγέθους μεταξύ διαφορετικών πηγών. Αυτό γίνεται γιατί οι εταιρίες παραγωγής συνήθως στοχεύουν στη διατήρηση των λόγων των αποθεμάτων προς χρήση σχετικά σταθερούς για περίπου 20-30 χρόνια. Για το λόγο αυτό οι συντελεστές βαρύτητας που υπολογίζονται με την σχέση (2) χρησιμοποιώντας τα “διαθέσιμα αποθέματα”, δε διαφοροποιούνται πολύ μεταξύ διαφορετικών πηγών. Οι συντελεστές βαρύτητας που υπολογίζονται με την σχέση (3), επηρεάζονται συνήθως από τον πρώτο όρο, που σχετίζεται με τα “διαθέσιμα αποθέματα”, ο οποίος μπορεί να διαφέρει μερικές τάξεις μεγέθους.

3) Η “EPS προσέγγιση” (Environmental Priority Agency)

Το EPS- σύστημα είναι μια μέθοδος αξιολόγησης. Παρόλα αυτά κάποια μέρη του μπορούν να θεωρηθούν σαν μέθοδος χαρακτηρισμού. Σε αυτήν την προσέγγιση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και υλικών αξιολογούνται σύμφωνα με τρέχουσες τιμές ελεύθερης αγοράς. Η αρχή για τις μη ανανεώσιμες πηγές είναι ότι θα πρέπει να αξιολογούνται ως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με μια βιώσιμη διεργασία, η οποία υποκαθιστά τη σημερινή διεργασία. Το πετρέλαιο έχει υποτεθεί ότι υποκαθίσταται από φυτικούς οργανισμούς και το κάρβουνο από ξύλο. Η βιώσιμη διεργασία για τα μέταλλα θεωρείται ότι είναι η εξόρυξη από πετρώματα πυριτικού οξέως έχοντας περιεκτικότητα (για τα περισσότερα μέταλλα) 10 φορές από τη μέση περιεκτικότητα του εξωτερικού φλοιού. Σε αυτή τη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνεται μόνο η αξία της πηγής ενέργειας για αυτή τη διεργασία (Steen and Ryding, 1992)

4) Η “θερμοδυναμική προσέγγιση”

Πρόσφατα προτάθηκε μια προσέγγιση βασισμένη στην αρχή της εξέργειας (Finnveden, 1994). Σε αυτή την προσέγγιση, η εξάντληση των φυσικών πόρων περιγράφεται είτε ως η κατανάλωση της εξέργειας είτε ως η παραγωγή της εντροπίας. Εξέργεια, γενικά, είναι το ποσό της ενέργειας που μπορεί να μετατραπεί σε κάθε άλλη μορφή ενέργειας. Η εξέργεια είναι το ποσό του έργου που μπορεί να παραχθεί όταν ένα υλικό έρχεται αντιστρεπτά σε ισορροπία με το περιβάλλον. Η εντροπία ορίζεται από το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα. Σε αντίθεση με την ενέργεια η οποία σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα διατηρείται, η εξέργεια σε όλες τις πραγματικές διεργασίες καταναλώνεται με την παραγωγή εντροπίας. Η απώλεια εξέργειας, δB , σχετίζεται με την παραγόμενη εντροπία, ΔS , ως εξής:

$$\delta B = T_0 \Delta S$$

όπου T_0 είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Γιατί μπορεί να είναι η απώλεια σε εξέργεια ένα κατάλληλο κριτήριο για την εξάντληση των πηγών ενέργειας και υλών; Επιχειρήματα που διαφέρουν ελαφρώς μεταξύ τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να οδηγήσουν τελικά στο ίδιο συμπέρασμα.

Το βασικό επιχείρημα εκφράζει ότι η ωφέλιμη ενέργεια (εξέργεια) είναι η απώτατη περιοριστική πηγή και είναι συνεπώς μοναδική. Επειδή κάθε πηγή ύλης έχει κάποιο ενεργειακό κόστος, έτσι κάθε ενδεχόμενη περιοριστική πηγή είναι εν μέρει περιοριστική γιατί το ενεργειακό κόστος της είναι πολύ υψηλό (Hall et al., 1986). Με δεδομένη αρκετή ποσότητα, μια κοινωνία μπορεί να κατευθύνει την εξέργεια, μέσα στα πλαίσια των υπαρχόντων τεχνικών δυνατοτήτων, για την εκμετάλλευση, ουσιαστικά οποιουδήποτε υλικού που βρίσκεται σε μικρό απόθεμα.

Μια άλλη σειρά επιχειρημάτων βασίζονται στο εξής ερώτημα: όταν γίνεται λόγος για εξάντληση ή κατανάλωση φυσικών πόρων, τι εξαντλείται ή τι καταναλώνεται; Δεν είναι ούτε η ενέργεια, εφόσον η ενέργεια δεν μπορεί να καταναλωθεί σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα, ούτε η ύλη, εφόσον η ύλη μπορεί μόνο να μετατραπεί, και όχι να καταστραφεί (μη συμπεριλαμβανομένων των πυρηνικών αντιδράσεων). Μια λογική απάντηση μπορεί να είναι ότι καταναλώνεται ύλη-ενέργεια “προς χρήση” (και μπορεί να εξαντληθεί). Ένας τρόπος μέτρησης της ωφέλιμης ενέργειας είναι η εξέργεια όπως συζητήθηκε παραπάνω. Ένα υλικό για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει κανονικά να είναι συγκεντρωμένο, δομημένο και έχοντας μια συγκεκριμένη διάταξη σε σχέση με το περιβάλλον του.

Ένα μέγεθος που συνήθως μεταφράζεται ως το μέτρο αταξίας ενός συστήματος είναι η εντροπία. Ένα υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, πρέπει να έχει χαμηλότερη εντροπία από το περιβάλλον. Κοινωνίες και τεχνικά συστήματα (συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ΑΚΖ) μπορούν να περιγραφούν ως τροφοδοτούμενα από ύλη-ενέργεια χαμηλής εντροπίας μετατρέποντάς την σε ύλη-ενέργεια υψηλής εντροπίας. Επομένως η παραγωγή εντροπίας μπορεί να είναι ένας χρήσιμος δείκτης της κατανάλωσης φυσικών πόρων μέσα στα πλαίσια μιας ΑΚΖ. Όπως σημειώθηκε ήδη, η εντροπία και η εξέργεια είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους.

Για τις περισσότερες παραδοσιακές πρώτες ύλες, που αποτελούν καύσιμες ύλες (πετρέλαιο κ.λ.π.), η εξέργεια πλησιάζει το ενεργειακό περιεχόμενο, και μπορεί να θεωρηθεί σε προσεγγιστικούς υπολογισμούς ίση με αυτό, ή να υπολογιστεί ξανά χρησιμοποιώντας ενδεικτικές τιμές.

Για να υπολογιστεί η εξέργεια πρώτων υλών που δεν είναι καύσιμες ύλες, πρέπει να είναι γνωστή η ποιοτική και ποσοτική τους σύνθεση. Για παράδειγμα η σύσταση ενός μεταλλεύματος σιδήρου φαίνεται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.5: Σύσταση μεταλλεύματος σιδήρου.

Ανόργανη ύλη	Μαγνη-τίτης	Χαλαζίας λίθος	Μικρό-κλινο	Ορυκτό Hornblende	Πυρο-ξένιο	Βιοτή-της	Apatite	Σιδηρο-πυρίτης
Βάρος-%	65	10	8	5	3	5	4	0.1

Με βάση τη σύσταση του μεταλλεύματος, τα θερμοδυναμικά δεδομένα των μεταλλευμάτων και την κατάσταση αναφοράς, που προτάθηκαν από τον Stargut et al., (1988), μπορεί να υπολογιστεί η εξέργεια ενός μεταλλεύματος. Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται μερικά προκαταρκτικά αποτελέσματα βασισμένα σε πιθανές συστάσεις πρώτων υλών. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για δύο μεταλλεύματα χαλκού, δίνοντας διαφορετικά αποτελέσματα. Στον πίνακα αυτό, παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με το περιεχόμενο εξέργειας του μεταλλεύματος (ανά κιλό μεταλλεύματος) και το περιεχόμενο εξέργειας του μεταλλεύματος που χρειάζεται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος. Για να γίνει μια σύγκριση, έχουν συμπεριληφθεί μερικά ενδεικτικά δεδομένα για την χρήση του καυσίμου που απαιτείται για την παραγωγή ενός κιλού προϊόντος. Πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός του Cu, η εξέργεια των καυσίμων που χρησιμοποιούνται είναι μεγαλύτερη της εξέργειας των πρώτων υλών.

2.3.5. Κανονικοποίηση

(Βήμα 4: Κανονικοποίηση)

Η κανονικοποίηση είναι ένα εργαλείο της ΑΕΚΖ που χρησιμοποιείται για να εκφράσει τα δεδομένα των δεικτών των επιπτώσεων με έναν τρόπο που μπορούν να συγκριθούν μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων. Αυτή η διαδικασία κανονικοποιεί τα αποτελέσματα των δεικτών διαιρώντας τους με μια βάση (κατάσταση) αναφοράς. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι επιλογής βάσης αναφοράς που περιλαμβάνουν:

- Συνολικές εκπομπές ή χρήση πόρων για μια δεδομένη περιοχή που μπορεί να είναι παγκόσμιας, περιφερειακής ή τοπικής κλίμακας.
- Συνολικές εκπομπές ή χρήση των πόρων για μια δεδομένη περιοχή σε μια βάση ανά κάτοικο.
- Αναλογία (λόγος) μιας εναλλακτικής λύσης προς μια άλλη (δηλ., βασική γραμμή).
- Υψηλότερη τιμή μεταξύ όλων των επιλογών.

Πίνακας 2.6: Δεδομένα σχετικά με το περιεχόμενο εξέργειας του μεταλλεύματος

Προϊόν	Εξέργεια μεταλλεύματος [MJ/Kg μεταλλεύματος]	Εξέργεια μεταλλεύματος [MJ/Kg προϊόντος]	Χρήση καυσίμων [MJ/Kg προϊόντος]
Cu (τύπου I)	0,6	200	100
Cu (τύπου II)	8	800	100
PO ₄	0,3	5	
Al	1	4	300
Cr	0,5	1	100
Fe	0,4	1	30
Ασβέστιο	0,03		

Ο στόχος και το πεδίο της ΑΚΖ μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μιας κατάλληλης τιμής αναφοράς. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα κανονικοποιημένα στοιχεία μπορούν να συγκριθούν μόνο μέσα σε μια κατηγορία επιπτώσεων. Παραδείγματος χάριν, οι επιπτώσεις της οξίνισης δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με εκείνες της υδρόβιας τοξικότητας επειδή οι συντελεστές χαρακτηρισμού υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικές επιστημονικές μεθόδους

Κατά την κανονικοποίηση, διαιρούνται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού, κάθε κατηγορίας επιπτώσεων, με τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της κατηγορίας, σε συγκεκριμένη περιοχή και για συγκεκριμένο χρόνο (περιοχή αναφοράς και χρόνος αναφοράς, Guinee et al. 1993). Με αυτό τον τρόπο προκύπτει η σχετική συνεισφορά στις κατηγορίες επιπτώσεων. Η κανονικοποίηση είναι μια προεπιλεγμένη διαδικασία σε μία ΑΚΖ. Διεξάγεται για να διευκολύνει την κατανόηση του μεγέθους της περιβαλλοντικής επίπτωσης που προκαλείται από το σύστημα που εξετάζεται. Είναι ευκολότερο να αντιληφθεί κανείς εάν μία περιβαλλοντική επίπτωση είναι μεγάλη ή όχι, εάν τα αποτελέσματα δίνονται υπό μορφή "Χ% της ετήσιας οξίνισης που προκαλείται σε μια χώρα", παρά εάν δινόταν σε μορφή "ισοδύναμες ποσότητες Y kg SO₂".

Πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τρόπος διεξαγωγής της κανονικοποίησης και ειδικότερα της τιμής αναφοράς. Το χρονικό διάστημα που λαμβάνεται συνήθως ως χρόνος αναφοράς είναι ένα έτος, ενώ ως περιοχή αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί μια χώρα, μια ήπειρος ή ολόκληρη η γη.

Κανονικοποίηση σε ένα επίπεδο

Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία επιπτώσεων κανονικοποιούνται σύμφωνα με δεδομένα αναφοράς από την ίδια περιοχή αναφοράς, είτε αθροιστικά (μέθοδος 1) ή κατά κεφαλή (μέθοδος 2).

Η πιο κατάλληλη περιοχή αναφοράς θα μπορούσε να θεωρηθεί "ο κόσμος ή το παγκόσμιο", αφού γενικά οι Αναλύσεις Κύκλου Ζωής δεν είναι γενικά εξαρτώμενες από το χώρο ή περιοχή εφαρμογής τους.

Οι δύο μέθοδοι διαφέρουν μόνο κατά ένα σταθερό συντελεστή (1/παγκόσμιο πληθυσμό) και τελικά ποια από αυτές θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το σκοπό της μελέτης.

Το πλεονέκτημα της χρήσης της αθροιστικής μεθόδου είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης με πραγματικά δεδομένα των διαφόρων κατηγοριών επιπτώσεων σε ποσοστά, ενώ σύγκριση αποτελεσμάτων των κατηγοριών επιπτώσεων στο επίπεδο του "μέσου πολίτη παγκοσμίως" μετακυλά το επίκεντρο των περιβαλλοντικών θεμάτων προς τον άνθρωπο ως μονάδα και μπορεί να αξιοποιηθεί καλύτερα επικοινωνιακά.

Κανονικοποίηση σε διαφορετικά κλιμακωτά επίπεδα

Αν σε μία συγκεκριμένη μελέτη ΑΚΖ, η ανάλυση απογραφής δεδομένων και η εκτίμηση επιπτώσεων διενεργούνται για κατηγορίες παγκόσμιων επιπτώσεων σε παγκόσμια κλίμακα ενώ για κατηγορίες επιπτώσεων τοπικού ενδιαφέροντος γίνεται ανάλυση σε τοπική κλίμακα τότε υπάρχουν δύο επιλογές για κανονικοποίηση:

- τα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία επιπτώσεων κανονικοποιούνται χρησιμοποιώντας δεδομένα αναφοράς από την ίδια περιοχή αναφοράς ή,
- η κανονικοποίηση διενεργείται σε δύο κλιμακωτά επίπεδα με τα αποτελέσματα για τις κατηγορίες παγκοσμίου ενδιαφέροντος να κανονικοποιούνται χρησιμοποιώντας παγκόσμιες τιμές αναφοράς και τα αποτελέσματα για τις τοπικές κατηγορίες χρησιμοποιώντας τοπικές τιμές αναφοράς.

2.3.6. Ομαδοποίηση

(Βήμα 5: Ομαδοποίηση)

Η ομαδοποίηση αναθέτει τις κατηγορίες επιπτώσεων σε μια ή περισσότερες ομάδες για να διευκολύνει καλύτερα την ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε συγκεκριμένους τομείς ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα βαθμονοποιούνται με βάση το μέγεθος του αποτελέσματος (το 5 είναι μεγαλύτερο από το 3). Για αυτόν τον τρόπο βαθμονόμησης οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί στην πολυκριτηριακή ανάλυση μπορεί να αποβούν πολύ χρήσιμοι. Μια τυπική ομαδοποίηση περιλαμβάνει ταξινόμηση ή κατάταξη των δεικτών. Δύο πιθανοί τρόποι ομαδοποίησης των δεδομένων της ΑΕΚΖ (ISO 1998) φαίνονται πιο κάτω:

- Ταξινόμηση των δεικτών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά, όπως οι εκπομπές (π.χ. εκπομπές στον αέρα και στα ύδατα) ή τη τοποθεσία (π.χ. τοπικής, περιφερειακής ή παγκόσμιας κλίμακας).
- Ταξινόμηση των δεικτών με βάση ένα σύστημα ταξινόμησης, όπως υψηλή, χαμηλή ή μέση προτεραιότητα. Η ταξινόμηση είναι βασισμένη σε επιλογές σε σχέση με τις τιμές.

2.3.7. Αξιολόγηση

(Βήμα 6: Προσδιορισμός της βαρύτητας της κάθε κατηγορίας)

Το βήμα του προσδιορισμού της βαρύτητας της κάθε κατηγορίας (επίσης καλείται αξιολόγηση) μιας ΑΕΚΖ καθορίζει συντελεστές βαρύτητας ή σχετικές τιμές στις διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων με βάση την σημασία ή τη σχετικότητά τους. Η αξιολόγηση είναι σημαντική επειδή οι κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει επίσης να αντανακλούν τους στόχους της μελέτης. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, οι επιβλαβείς εκπομπές αερίων θα μπορούσαν να είναι σχετικά υψηλότερης ανησυχίας σε μια ζώνη όπου η ποιότητα του αέρα δεν είναι καλή, σε σχέση με εκπομπές ίδιου επιπέδο σε μια περιοχή όμως με καλύτερη ατμοσφαιρική ποιότητα. Επειδή η αξιολόγηση δεν είναι μια επιστημονική διαδικασία, είναι σημαντικό η μεθοδολογία αξιολόγησης να εξηγείται με σαφήνεια και να τεκμηριώνεται.

Αν και η αξιολόγηση χρησιμοποιείται ευρέως σε ΑΚΖ, το στάδιο αξιολόγησης είναι το λιγότερο αναπτυγμένο από τα βήματα της ΑΕΚΖ και είναι επίσης αυτό που πιθανώς θα

αμφισβητηθεί για την ακεραιότητα του. Γενικά, η αξιολόγηση περιλαμβάνει τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Προσδιορισμός των βασικών τιμών των συμμετεχόντων.
- Καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας που θα χρησιμοποιηθούν για τις επιπτώσεις.
- Εφαρμογή των συντελεστών βαρύτητας στους δείκτες επιπτώσεων.

Τα αξιολογημένα δεδομένα θα μπορούσαν ενδεχομένως να συνδυαστούν στις κατηγορίες επιπτώσεων, αλλά η διαδικασία αξιολόγησης θα πρέπει να τεκμηριωθεί. Τα μη αξιολογημένα δεδομένα πρέπει να παρουσιαστούν μαζί με τα αξιολογημένα αποτελέσματα για να εξασφαλιστεί ότι οι συντελεστές βαρύτητας που έχουν ανατεθεί έγιναν κατανοητοί.

Αξιοσημείωτο είναι ότι σε μερικές περιπτώσεις, μόνο η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ παρέχει συχνά ικανοποιητικές πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερα όταν τα αποτελέσματα είναι απλά ή προφανή. Παραδείγματος χάριν, όταν η πιο λειτουργική εναλλακτική λύση είναι σημαντικά καλύτερη από τις άλλες τουλάχιστον σε μια κατηγορία και ίση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις στις υπόλοιπες κατηγορίες επιπτώσεων, τότε αυτή η εναλλακτική λύση είναι σαφώς η καλύτερη. Επομένως, οποιαδήποτε σχετική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ δεν θα άλλαζε την θέση της ως πρώτη προτίμηση. Η απόφαση μπορεί να ληφθεί χωρίς το βήμα της αξιολόγησης.

Υπάρχουν διάφορα ζητήματα που καθιστούν την αξιολόγηση μια πρόκληση. Το πρώτο ζήτημα είναι η υποκειμενικότητα. Σύμφωνα με τον ISO 14042, οποιαδήποτε γνώμη προτίμησης αποτελεί μια υποκειμενική κρίση όσον αφορά την σχετική σημασία μιας κατηγορίας επιπτώσεων σε σχέση με κάποια άλλη. Επιπλέον, αυτές οι κρίσεις μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με την τοποθεσία ή το χρόνο. Παραδείγματος χάριν, κάποιος που βρίσκεται στο Los Angeles, CA, μπορεί να δώσει περισσότερη σημασία στις τιμές της φωτοχημικής αιθαλομίχλης από ότι θα έδινε κάποιος που βρίσκεται στο Cheyenne, WY. Το δεύτερο ζήτημα προέρχεται από το πρώτο: με ποιο τρόπο θα πρέπει οι χρήστες αμερόληπτα και με συνέπεια να καταστήσουν τις αποφάσεις βασισμένες στη περιβαλλοντική προτίμηση, λαμβάνοντας υπόψη την υποκειμενική φύση της αξιολόγησης; Η ανάπτυξη ενός πραγματικά αντικειμενικού (ή παγκοσμίως αποδεκτού) συνόλου συντελεστών βαρύτητας ή αξιολόγησης των μεθόδων, δεν είναι εφικτή. Εντούτοις, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις αξιολόγησης και χρησιμοποιούνται επιτυχώς για τη λήψη αποφάσεων, όπως: Analytic Hierarchy Process (AHP), Modified Delphi Technique και Decision Analysis Using Multi-Attribute Theory (MAUT).

Αξιολόγηση είναι το στάδιο κατά το οποίο οι συνεισφορές των διαφόρων ειδικών κατηγοριών των επιπτώσεων επιβαρύνονται με έναν συντελεστή ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Ο σκοπός που επιδιώκεται σ' αυτή την φάση είναι να φτάσουμε σε μια περαιτέρω ερμηνεία και πρόσθεση των δεδομένων της εκτίμησης επιπτώσεων.

Αν, για παράδειγμα, συγκρίνονται δύο ή περισσότερα εναλλακτικά συστήματα, οι διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αξιολογηθούν. Δεν μπορεί να εντοπιστεί ποιο σύστημα έχει τις λιγότερο βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον εάν ένα σύστημα συνεισφέρει λιγότερο στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ κάποιο άλλο θέτει σε μικρότερο κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία από τοξικές εκπομπές (είτε στον χώρο εργασίας είτε έξω στο ύπαιθρο), εκτός εάν μπορεί να υποτεθεί η σχετική σημαντικότητα των κατηγοριών επιπτώσεων.

Ένα πλήθος από εργαλεία, που συχνά αναφέρονται ως θεωρητικές τεχνικές λήψης αποφάσεων, έχουν την δυνατότητα να καταστήσουν την αξιολόγηση μια πιο σαφή και ορθολογιστική διεργασία. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούν κρίσεις ειδικών αλλά και πληροφορίες από ενδιαφερόμενες ομάδες ή και άτομα που έχουν εκτεθεί σε τοξικές εκπομπές. Μπορεί να γίνει εδώ ένας διαχωρισμός μεταξύ ποσοτικών και ποιοτικών διεργασιών. Σε μια ποσοτική διεργασία (π.χ. πολυκριτηριακή ανάλυση), συγκεκριμένοι συντελεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αθροίσουν τις επιπτώσεις. Σε μια ποιοτική διαδικασία, οι συντελεστές παραμένουν υποθετικοί. Στην περίπτωση αυτή τα επιχειρήματα που οδηγούν στην λήψη μιας απόφασης για κάποια περιβαλλοντική αντιμετώπιση θα πρέπει κατόπιν να δηλωθούν.

Αν και έχει αναγνωριστεί ότι καμία εφαρμογή της ΑΚΖ δεν απαιτεί τη χρήση των θεωρητικών τεχνικών λήψης αποφάσεων, τα εργαλεία δείχνουν να υπόσχονται πολλά κατά την εφαρμογή τους σ' αυτό το πεδίο. Απαιτείται βέβαια περαιτέρω έρευνα.

(Βήμα 7: Αξιολόγηση και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ)

Αφού υπολογίστηκαν οι πιθανές επιπτώσεις για κάθε επιλεγμένη κατηγορία, πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια πρέπει να είναι επαρκής για να υποστηρίξει τους σκοπούς της ΑΚΖ όπως αυτοί καθορίστηκαν στην αντίστοιχη φάση. Κατά την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της ΑΕΚΖ, περιγράφεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση και καθορίζονται τα συστήματα που αναλύονται και τα όρια που τέθηκαν καθώς επίσης και όλες οι υποθέσεις που έγιναν στην δημιουργία του ΚΑΚΖ.

Η ΑΕΚΖ, όπως όλα τα άλλα εργαλεία αξιολόγησης, έχει και έμφυτους περιορισμούς. Αν και η μεθοδολογία της ΑΕΚΖ ακολουθεί μια συστηματική διαδικασία, γίνονται πολλές βασικές υποθέσεις και απλοποιήσεις όπως επίσης και υποκειμενικές επιλογές τιμών.

Στους περιορισμούς αυτούς περιλαμβάνονται:

- Έλλειψη χωρικών αναλύσεων – π.χ. μια εκπομπή αμμωνίας 4000 γαλονιών προκαλεί χειρότερες επιπτώσεις σε ένα μικρό ρεύμα απ' ότι σε έναν μεγάλο ποταμό.
- Έλλειψη χρονικών αναλύσεων – π.χ. μια εκπομπή 5 τόνων στερεών σωματιδίων κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ενός μηνός είναι χειρότερη από την ίδια εκπομπή που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους.
- Πουικιλία ή γενικότητα καταλόγων – π.χ. η ευρείες και γενικές κατηγορίες σε κάποιο κατάλογο, όπως "VOC" ή "μέταλλα" δεν παρέχουν αρκετές πληροφορίες για να αξιολογηθούν με ακρίβεια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Όρια και αναλογίες επιπτώσεων – π.χ. δέκα τόνοι ρύπων δεν είναι απαραίτητως δέκα φορές χειρότεροι από έναν τόνο ρύπων.

Η επιλογή πιο πολύπλοκων ή πιο συγκεκριμένων (σε σχέση με την περιοχή) μοντέλων επιπτώσεων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των περιορισμών της ακρίβειας της ΑΕΚΖ. Είναι σημαντικό να τεκμηριωθούν αυτοί οι περιορισμοί και να περιληφθεί μια περιεκτική περιγραφή της μεθοδολογίας της ΑΕΚΖ, καθώς επίσης και μια συζήτηση των βασικών υποθέσεων, των επιλογών των τιμών και των γνωστών αβεβαιοτήτων στα μοντέλα επιπτώσεων με τα αριθμητικά αποτελέσματα της ΑΕΚΖ που θα χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ.

2.3.8. Μέθοδοι αποτίμησης επιπτώσεων

2.3.8.1. CML 1992

Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης βασίζεται στη μέθοδο που δημοσιεύθηκε από το CML, πανεπιστήμιο του Leiden τον Οκτώβριο του 1992.

Χαρακτηρισμός

Διάφορες ουσίες ή συνοπτικές παράμετροι έχουν οριστεί σε ένα πλήθος κατηγοριών. Αυτό έχει γίνει διότι οι εκπομπές δεν καθορίζονται πάντα χωριστά όσο αναφορά τις πηγές δεδομένων για κάθε διαδικασία. Οι εκπομπές συχνά καθορίζονται με μία ονομασία, για παράδειγμα αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Και αφού οι διαφορετικές ουσίες μέσα σε μία τέτοια ομάδα μπορούν να έχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις, το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να μην είναι εντελώς αξιόπιστο.

Οι κύριες κατηγορίες είναι:

1. Εξάντληση ακατέργαστων υλικών και ενέργειας

Μη βιοτικοί πόροι

Αυτό ο όρος αναφέρεται στους ενεργειακούς πόρους και σε ένα πλήθος σπάνιων μετάλλων. Στην μέθοδο CML 92, όλοι οι ενεργειακοί πόροι έχουν κατηγοριοποιηθεί σε μία ξεχωριστή κατηγορία με το όνομα *ενέργεια*.

Βιοτικοί πόροι

Αυτή η κατηγορία προορίζεται για σπάνια ζώα και φυτά. Τα αποτελέσματα αυτής της κατηγορίας είναι σε πολύ υποτυπώδη μορφή και επομένως δεν χρησιμοποιούνται ακόμη.

2. Ρύπανση

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (GWP, Global Warming Potential) είναι η ενδεχόμενη συνεισφορά μίας ουσίας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτή η τιμή έχει υπολογιστεί για ένα πλήθος ουσιών για περιόδους 20, 100 και 500 ετών επειδή είναι φανερό ότι ορισμένες ουσίες σταδιακά αποσυντίθενται και μακροπροθέσμως γίνονται αδρανείς. Για τη μέθοδο CML 92, επιλέχθηκε η τιμή GWP για την περίοδο των 100 ετών διότι αυτή είναι η πιο συνήθης επιλογή.

Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος

Οι τιμές για την ενδεχόμενη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος (ODP, Ozone Depletion Potential) έχουν καθοριστεί κυρίως από το περιεχόμενο των υδρογονανθράκων σε βρόμιο, φθόριο και χλώριο ή CFCs. Εδώ επίσης μία από τις ουσίες (CFC-11) έχει υιοθετηθεί ως αναφορά.

Ανθρώπινη "δηλητηρίαση / τοξικότητα"

Η κριτική της χρήσης των τιμών MAC (Maximum acceptable concentration in the workplace, established by the labour inspectorate) της μεθόδου CML 1990 οδήγησε στην ανάπτυξη μίας αρκετά μεγάλης λίστας ουσιών που είναι δηλητηριώδεις στον άνθρωπο. Ένα αξιόλογο χαρακτηριστικό είναι ότι η ανθρώπινη δηλητηρίαση συνδυάζει ένα αποτέλεσμα για τις εκπομπές στον αέρα, στο νερό και στο υπέδαφος. Οι ακόλουθες τιμές έχουν καθοριστεί για τις περισσότερες ουσίες:

- Τιμές για τον αέρα (HCA, Human-toxicological classification value for air)
- Τιμές για το νερό (HCW, Human-toxicological classification value for water)
- Τιμές για το έδαφος (HCS, Human-toxicological classification value for soil)

Δεν έχουν συμπεριληφθεί οι εκπομπές εδάφους επειδή το πρόγραμμα δεν έχει κατηγορία επιπτώσεων για τις ουσίες που εκπέμπονται στο έδαφος. Ο αριθμός των συντελεστών χαρακτηρισμού για το έδαφος είναι πολύ περιορισμένος. Επιπλέον, μπορεί να υποτεθεί ότι οι εκπομπές που αρχικά συμβάλλουν στο υπέδαφος, τελικά θα εμφανιστούν στα έγκατα ύδατα και γι' αυτό το λόγο μπορούν να θεωρηθούν ως εκπομπές στο νερό.

Έχει προστεθεί ένα πλήθος τιμών για κάποιες ομάδες σ' αυτήν την κατηγορία: μεταλλικά ιόντα και διάφορες ομάδες υδρογονανθράκων. Στα μεταλλικά ιόντα έχει δοθεί τιμή ισοδύναμη μ' αυτή του σιδήρου. Ισοδύναμες τιμές έχουν δοθεί και για τους υδρογονάνθρακες.

Οικολογική "δηλητηρίαση / τοξικότητα"

Για τις ουσίες αυτής της κατηγορίας δόθηκαν τιμές λόγω της δηλητηρίασης της χλωρίδας και της πανίδας. Οι κύριες ουσίες είναι τα βαριά μέταλλα, και τιμές έχουν καθοριστεί για τις εκπομπές στο νερό και στο έδαφος:

- Υδρόβια οικολογική δηλητηρίαση (aquatic ecotoxicity ECA)
- Χερσαία οικολογική δηλητηρίαση (terrestrial ecotoxicity ECT)

Μόνο οι τιμές ECA έχουν συμπεριληφθεί στη μέθοδο CML 92 επειδή οι εκπομπές στο έδαφος τελικά εμφανίζονται στα έγκατα ύδατα και επομένως έχουν καλυφθεί.

Σ' αυτήν την κατηγορία έχουν προστεθεί και πολλές τιμές για ομάδες υδρογονανθράκων. Για τις περισσότερες από τις άλλες τιμές που δεν έχουν ορισθεί έχει επιλεγεί μία ισοδύναμη τιμή.

Αιθαλομίχλη

Η ενδεχόμενη δημιουργία φωτοχημικής ρύπανσης (POCP, photochemical ozone creation potential) υποδεικνύει την ενδεχόμενη ικανότητα μιας πτητικής οργανικής ουσίας να παράγει όζον. Έχουν δημοσιευθεί τιμές για ένα ευρύ φάσμα πτητικών οργανικών ενώσεων. Η τιμή για το αιθέριο έχει ορισθεί να είναι η μονάδα. Οι τιμές για τις περισσότερες ουσίες είναι μικρότερες από αυτή. Οι POCP των συνολικών παραμέτρων όπως οι αλκοόλες, οι κετόνες, οι αλδεύδες και

διάφορες ομάδες υδρογονανθράκων είναι οι μέσες τιμές όλων των σχετικών ουσιών της λίστας της μεθόδου CML 92. Τα NOx παραλείπονται σ' αυτήν τη μέθοδο.

Οξίνιση / Φαινόμενο όξινης βροχής

Η ενδεχόμενη οξίνιση (AP, acidification potential) εκφράζεται σχετικά με το όξινο αποτέλεσμα του SO₂. Άλλες γνωστές όξινες ουσίες είναι τα οξείδια του αζώτου και η αμμωνία. Τα SOx έχουν προστεθεί με την ίδια τιμή όπως το SO₂.

Ευτροφισμός

Ο ενδεχόμενος ευτροφισμός (NP, nutrification potential) καθορίζεται στην μονάδα για το PO₄. Τον ευτροφισμό τον επηρεάζουν και άλλες εκπομπές, ιδιαιτέρως τα οξείδια του αζώτου και το αμμώνιο.

Οσμή

Συντελεστές αξιολόγησης για την δυσσομία έχουν αναπτυχθεί, παρ' όλο που η χρήση τους δεν είναι συνηθισμένη στις αναλύσεις κύκλου ζωής. Στην αμμωνία έχει δοθεί η τιμή της μονάδας. Αυτή η κατηγορία δεν περιλαμβάνεται στη μέθοδο CML 92 διότι είναι ένα τοπικά εντοπισμένο περιβαλλοντικό πρόβλημα, και ο βαθμός της δυσσομίας ως ενόχληση εξαρτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό σε τοπικές περιστάσεις.

Στερεά σώματα

Αυτή η κατηγορία δεν συμπεριλαμβάνεται στην γνήσια ταξινόμηση της CML 92. Έχει προστεθεί αυτή η κατηγορία των στερεών σωμάτων διότι οι εκπομπές των στερεών σχηματίζουν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα από μόνα τους. Δεν χρησιμοποιούνται συντελεστές αξιολόγησης.

Κανονικοποίηση

Το πρώτο και πιθανόν το πιο χρησιμοποιημένο σετ κανονικοποίησης δημοσιεύθηκε το 1993 από τον Guinée από τη CML. Αυτό το σετ συντάχθηκε από την εξαγωγή συμπερασμάτων των δεδομένων του 1988 από την καταγραφή ολλανδικών εκπομπών (Dutch Emission Registration). Τα περισσότερα από τα δεδομένα απλά πολλαπλασιάστηκαν με έναν συντελεστή των 100 για να εξαχθούν σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η Ολλανδία συνεισφέρει περίπου 1 % στο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν στον κόσμο. Μία εξαίρεση έχει γίνει για τις εκπομπές του φαινόμενου του θερμοκηπίου και της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος. Αυτές υπολογίστηκαν κατευθείαν από την IPCC. Οι αριθμοί, υποτίθεται, ανταναικλούν τις παγκόσμιες εκπομπές. Για να γίνουν αυτοί οι αριθμοί πιο βολικοί διαιρέθηκαν με τον πληθυσμό, των 6.000.000.000, του κόσμου. Ένα πολύ πρόσφατο σχέδιο από IVAM-ER, NWS (Πανεπιστήμιο της Ουτρέχτης και PRé), κάτω από παραγγελία των VROM και RIZA, στην Ολλανδία, κατέληξε σε τρία καινούρια σετ αριθμών κανονικοποίησης. Ένα μεγάλο μέρος βασίζεται στην καταγραφή εκπομπών (χρόνος αναφοράς 1994), και σε διάφορες άλλες πηγές. Τα αποτελέσματα αυτού του σχεδίου έχουν επιθεωρηθεί ερευνητικά από τον Guinée. Τα επίπεδα κανονικοποίησης είναι:

- Ολλανδικό έδαφος. Καταγράφονται όλες οι εκπομπές που εκπέμπονται στην Ολλανδία και όλα τα ακατέργαστα υλικά που καταναλώνονται από την ολλανδική οικονομία.
- Ολλανδική κατανάλωση. Έχουν προστεθεί τα αποτελέσματα των εισαγωγών, και τα αποτελέσματα των εξαγωγών έχουν αφαιρεθεί. Ο υπολογισμός εκτελείται χρησιμοποιώντας το ολλανδικό μητρώο των εισόδων-εξόδων.
- Ευρωπαϊκό έδαφος (EC, Ελβετία, Αυστρία και Νορβηγία). Τα περισσότερα δεδομένα είναι από γνήσιες ευρωπαϊκές πηγές. Σε μερικές περιπτώσεις τα δεδομένα εξάχθηκαν συμπερασματικά από τα ολλανδικά και ελβετικά δεδομένα. Ως βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων επιλέχθηκε η κατανάλωση ενέργειας μιας περιοχής.

Αξιολόγηση

Παρ' όλο που διάφοροι οργανισμοί έχουν αναπτύξει συντελεστές αξιολόγησης χρησιμοποιώντας Panel-μεθόδους, δεν υπάρχει γενικώς καμία αναγνωρισμένη μέθοδος για να εκτιμήσει τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με την CML μέθοδο.

2.3.8.2. ECO-INDICATOR 95

Χαρακτηρισμός

Η μόνη διαφορά στο στάδιο του χαρακτηρισμού ανάμεσα στη μέθοδο CML και στη μέθοδο Eco-indicator 95 είναι οι ορισμοί στα αποτελέσματα για την ανθρώπινη και την οικολογική τοξικότητα. Και τα δύο αυτά φαινόμενα έχουν αντικατασταθεί από:

- Φωτοχημική αιθαλομίχλη (ήδη διαθέσιμη στη CML μέθοδο)
- Κλασσική αιθαλομίχλη
- Καρκινογόνες ουσίες
- Βαριά μέταλλα στον αέρα και στο νερό
- Παρασιτοκτόνα

Οι χαρακτηριστικές τιμές βασίζονται στα ακόλουθα δεδομένα:

Τιμές αποτελεσμάτων από τις παραμένουσες τοξικές ουσίες στον αέρα και στο νερό

Αυτές οι τιμές σχετίζονται ιδιαίτερα με τα βαριά μέταλλα εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης τους στα χαμηλά επίπεδα, η οποία προκαλεί καθαρά κινδύνους υγείας. Ο κίνδυνος σχετίζεται ιδιαίτερα με το νευρικό σύστημα και με το συκώτι και μπορεί να καταλογιστεί για τη δηλητηρίαση τόσο στους ανθρώπους όσο και στο οικοσύστημα. Οι κατευθυντήριες γραμμές ποιότητας του αέρα (Globe, Air Quality Guidelines) καθορίζουν τις ακόλουθες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στον αέρα για ετήσια έκθεση των ανθρώπων σ' αυτές τις ουσίες όπως φαίνεται στο Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Κατευθυντήριες γραμμές ποιότητας του αέρα για τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις στον αέρα για ετήσια έκθεση των ανθρώπων

	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/m ³)	Συντελεστής αξιολόγησης	Κύριες επιδράσεις στην υγεία
Κάδμιο	0,02	50	Νεφρά
Μόλυβδος	1	1	Βιοσύνθεση του αίματος, νευρικό σύστημα και πίεση
Μαγγάνιο	7	0,14	Πνευμόνια και νευρικό σύστημα
Υδραργυρός	1	1	Εγκέφαλος: αισθητήριες και συντονιστικές λειτουργίες

Το χρώμιο και το νικέλιο θεωρούνται ως καρκινογόνα εξαιτίας του κινδύνου του καρκίνου ο οποίος είναι μεγαλύτερος από τις τοξικές επιδράσεις που προκαλεί. Βασίζοντας σε κάθε συγκέντρωση, μπορεί να καθορισθεί ένας συντελεστής αξιολόγησης ο οποίος είναι ισοδύναμος με την αντίστροφη τιμή της επιτρεπτής συγκέντρωσης. Αυτό είναι σύμφωνο με την προσέγγιση που συνηθίζεται να εφαρμόζεται με την τιμή MAC. Τα αποτελέσματα είναι εκφρασμένα ως ισοδύναμα του μολύβδου.

Οι κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του πόσιμου νερού (WHO, Quality guidelines for drinking water) καθορίζουν ένα πλήθος τιμών για τις παραμένουσες ουσίες, βασίζοντας στο γεγονός της μακροχρόνιας έκθεσης αυτών σε χαμηλό επίπεδο. Αυτά τα κριτήρια έχουν συνταχθεί για να αξιολογήσουν το πόσιμο νερό, βασισμένα σε καθιερωμένες επιδράσεις της υγείας. Μία επιλογή ουσιών οι οποίες είναι λιγότερο ή περισσότερο παραμένουσες και επομένως συσσωρεύονται στο περιβάλλον, δίνεται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.8: Επιμένουσες ουσίες βάση του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) [3]
Μ' αυτά τα αποτελέσματα των επιδράσεων ο συντελεστής αξιολόγησης καθορίζεται έτσι ώστε να είναι δυνατόν να υπολογιστεί σε ισοδύναμο του μολύβδου. Τα αποτελέσματα για τον αέρα και το νερό μπορούν να συγχωνευτούν διότι και τα δύο εκφράζονται ως ισοδύναμα του

Ουσία	Κανόνας (mg/litre)	Συντελεστής αξιολόγησης	Επίδραση
Αντιμόνιο	0,005	2	Περιεχόμενο γλυκόζης και χολυστερόλης στο αίμα
Αρσενικό	0,01	1	Πιθανότητα καρκίνου του δέρματος
Βάριο	0,07	0,14	Πίεση αίματος και πίεση των αγγείων
Βόριο	0,3	0,03	Γονιμότητα
Κάδμιο	0,003	3	Νεφρά
Χρώμιο	0,05	0,2	Κληρονομικότητα (καρκίνος που συμβαίνει μόνο σε περίπτωση εισπνοής)
Χαλκός	2	0,005	Γενικά δεν υπάρχουν προβλήματα, μερικές φορές ανωμαλίες στο συκώτι
Μόλυβδος	0,01	1	Βιοσύνθεση του αίματος, νευρικό σύστημα και πίεση
Μαγγάνιο	0,05	0,02	Νευρικό σύστημα
Υδράργυρος	0,001	10	Νεφρά, νευρικό σύστημα
Μολυβδένιο	0,07	0,14	Όχι καθαρή περιγραφή
Νικέλιο	0,02	0,5	Απώλεια βάρους, μεγάλη αβεβαιότητα

μολύβδου καθώς επίσης και οι στόχοι μείωσης είναι οι ίδιοι και για το νερό και για τον αέρα.

Καρκινογόνες ουσίες

Οι κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του αέρα (Air Quality Guidelines) δεν καθορίζουν επιτρεπτά επίπεδα, αλλά υπολογίζουν την πιθανότητα καρκίνου σε επίπεδο $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στον Πίνακα 2.9 αυτή η πιθανότητα εκφράζεται ως ο αριθμός των ανθρώπων από ένα σύνολο ενός εκατομμυρίου που θα αναπτύξει καρκίνο εάν εκτεθεί στο συγκεκριμένο επίπεδο του $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίνακας 2.9: Αριθμός ατόμων από μια ομάδα ενός εκατομμυρίου που θα αναπτύξουν καρκίνο βάση της δεδομένης έκθεσης [3]

	Πιθανότητα καρκίνου στο $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Συντελεστής αξιολόγησης για ισοδύναμο PAH	Τύπος καρκίνου
Αρσενικό	0,004	0,044	Γενικά, επίσης μεταλλαξιογόνες επιδράσεις
Βενζόλη	0,000001	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Λευχαιμία
Νικέλιο	0,04	0,44	Πνευμόνια και Λάρυγγας
Χρώμιο	0,04	0,44	Πνευμόνια, ανάμεσα σε άλλα, και μεταλλαξιογόνες επιδράσεις
PAHs Βενζοπυρίνη	0,09	1	Καρκίνος στα πνευμόνια αλλά επίσης και άλλοι τύποι καρκίνου

Αξίζει να αναφερθεί αν πρέπει να συμπεριληφθεί ο άσβεστος ή όχι στη λίστα. Η δυσκολία με το γεγονός αυτό είναι ότι οι εκπομπές του άσβεστου δεν μπορούν να εκφραστούν σημαντικά με μία μονάδα βάρους. Ο αριθμός και ο τύπος των ινών είναι ο καθοριστικός συντελεστής.

Δεν είναι εντελώς ξεκάθαρο εάν αυτοί οι αριθμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν ως συντελεστές αξιολόγησης για να υπολογίσουν, για παράδειγμα, ισοδύναμα ΡΑΗ (Πολυκυκλικοί Αρώματικοί Υδρογονάνθρακες). Και αυτό συμβαίνει διότι δεν είναι ακριβώς γνωστό εάν μπορεί να υποτεθεί γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην πιθανότητα και την έκθεση. Προς το παρόν υποτίθεται πως έτσι ισχύει.

Κλασσική αιθαλομίχλη

Συντελεστές υπάρχουν μόνο για τη σκόνη (SPM) και για το SO₂. Και για τις δύο ουσίες καθορίζεται (Air Quality Guidelines) το επίπεδο των 50 μg/m³. Οι συντελεστές επομένως και για τα δύο είναι ίσοι με τη μονάδα.

Παρασιτοκτόνα

Η Παγκόσμια αναφορά περιγράφει τα παρασιτοκτόνα ως πρόβλημα για τους εξής δύο λόγους:

- Τα υπόγεια νερά γίνονται πάρα πολύ τοξικά για κατανάλωση από τον άνθρωπο.
- Ζημιώνεται η βιολογική δραστηριότητα του εδάφους, αποτέλεσμα της οποίας είναι η καταστροφή της βλάστησης.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την οικολογική (έδαφος) καθώς και την ανθρώπινη (νερό) “δηλητηρίαση”. Ο στόχος μείωσης βασίζεται στην ανθρώπινη “δηλητηρίαση”.

Διακρίνονται τα παρακάτω:

- Απολυμαντικά
- Μυκητοκτόνα
- Φυτοκτόνα
- Εντομοκτόνα

Ανάμεσα σ’ αυτές τις κατηγορίες όλα τα είδη ταξινομούνται, με βάση το περιεχόμενό τους σε ενεργά συστατικά.

Κανονικοποίηση

Οι συντελεστές κανονικοποίησης βασίζονται σε μέσα Ευρωπαϊκά (εκτός της πρώην USSR) δεδομένα από διαφορετικές πηγές. Σε πολλές περιπτώσεις γνωστά είναι μόνο τα δεδομένα μίας ή και περισσότερων μεμονωμένων χωρών και επομένως πρέπει βάση αυτών να εξαχθούν συμπεράσματα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Ως βάση εξαγωγής συμπερασμάτων χρησιμοποιείται για την κατηγορία “Ευρώπη g” το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν των χωρών, και για την κατηγορία “Ευρώπη e” η κατανάλωση ενέργειας των χωρών. Για να γίνουν τα μεγέθη πιο βολικά διαιρέθηκαν με τον πληθυσμό της Ευρώπης: 497.000.000.

Αξιολόγηση

Η βασική υπόθεση έγκειται στο γεγονός ότι μία επίπτωση μπορεί να κριθεί και να αξιολογηθεί από τη διαφορά ανάμεσα στο τρέχων επίπεδο και στο επίπεδο του στόχου. Οι στόχοι έχουν τεθεί σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- Στο επίπεδο του στόχου η επίδραση θα προκαλέσει έναν επιπλέον θάνατο ανά εκατομμύριο ανά χρόνο.
- Στο επίπεδο του στόχου η επίδραση θα εξαρθρώσει λιγότερο από το 5 % των οικοσυστημάτων της Ευρώπης.
- Στο επίπεδο του στόχου η εμφάνιση των περιόδων ομίχλης είναι εξαιρετικά απίθανη.

Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Επί του παρόντος, οι θερμοκρασίες αυξάνονται κατά 0,2 % κάθε δέκα χρόνια. Κάτω από αυτή την τακτική αυτή η αναλογία θα αυξηθεί σε 0,3 % κάθε δέκα χρόνια. Αποτέλεσμα θα είναι η μεγάλη αλλαγή της θερμοκρασίας το 2050. Στη Βόρεια και Ανατολική Ευρώπη οι χειμώνες θα είναι θερμότεροι κατά 5°, και στη Νότια Ευρώπη τα καλοκαίρια θα είναι κατά 4° θερμότερα. Συγκεκριμένες περιοχές που δεν έχουν κανένα άλλο σύστημα στη περιφέρεια τους οπου μπορεί να επιβιώσει σε τέτοιες κλιματολογικές συνθήκες, θα αντιμετωπίσουν μεγάλες ζημιές. Αυτό θα επηρεάσει στο περίπου το 20 % της Ευρώπης. Η παγκόσμια αναφορά υποδεικνύει ότι λιγότερο

από το 5 % των οικοσυστημάτων θα εξασθενήσει αν το φαινόμενο μειωθεί με ένα συντελεστή της τάξης του 2.5.

Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ και την τροποποίηση αυτού στο Λονδίνο όλες οι εκπομπές CFC πρέπει να ελαττωθούν στο μηδέν. Για τις λιγότερες παραμένουσες ουσίες στη ατμόσφαιρα HCFCs (Hydro Chlorine-Fluor Carbons) έχει συμφωνηθεί ότι η συνεισφορά στο φαινόμενο το 1989 δεν πρέπει να ξεπερνάει το 2,6 % των συνολικών δυσμενών επιδράσεων λόγω CFCs. Έπειτα από αυτό, η χρήση αυτών των ουσιών πρέπει επίσης να μειωθεί σταδιακά έως το 2015.

Εάν αυτό συμβεί ο συνολικός ετήσιος αριθμός των θανάτων ανά εκατομμύριο κατοίκους στην Ευρώπη πρώτα θα αυξηθεί από 1 σε 2 θανάτους περίπου και μετά θα μειωθεί στον έναν θάνατο ανά χρόνο ανά εκατομμύριο κατοίκους. Δεν φαίνεται ακόμη άμεσα σημαντικό να μειωθούν όλες οι εκπομπές HCFC στο μηδέν διότι η νόρμα (2 ppbv-parts per billion by volume) πρόκειται να επιτευχθεί, ακόμη και εάν αυτό γίνει μετά το 2100. Η μείωση αυτών των αερίων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (ο περιορισμός των CFCs επίσης έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αφού οι CFC ουσίες είναι υπεύθυνες για το 24 % του φαινομένου).

Επομένως, βάση αυτής της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, θεωρείται για τη στιγμή ότι ο στόχος για τη μείωση των HCFCs είναι της τάξης του 60 %. Βάση της πρότασης ότι οι εκπομπές HCFCs προκαλούν τώρα το 2,6 % της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος μπορεί να εκτιμηθεί ότι αυτή η μείωση θα προκαλέσει ελάττωση του φαινομένου κατά 1 % από το τωρινό του επίπεδο. Ο συντελεστής μείωσης επομένως είναι 100. Υπάρχει πολύ μεγάλη αβεβαιότητα γι' αυτόν τον αριθμό.

Οξίνιση

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην Ευρώπη όσον αφορά την ικανότητα των οικοσυστημάτων να ανθίστανται στην οξίνιση. Στη Σκανδιναβία, για παράδειγμα, προβλήματα μπορούν να συμβούν με την εναπόθεση των 100 eq/ha.yr (όπου eq:ισοδύναμα, ha: εκτάριο - μονάδα μέτρησης επιφανειών, yr:έτος), ενώ σε μερικά μέρη στην Ολλανδία και στη Γερμανία, το έδαφος μπορεί να αντέξει με την εναπόθεση περισσότερων από 2000 eq/ha.yr.

Η πραγματική εναπόθεση φαίνεται να φτάνει στο υψηλότερο της επίπεδο στην Κεντρική Ευρώπη, ιδιαίτερα ως αποτέλεσμα της χρήσης του λιγνίτη.

Εάν η εναπόθεση και το φαινόμενο της ικανότητας να ανθίσταται στην οξίνιση, συνδυαστούν μεταξύ τους, φαίνεται να αντιμετωπίζουν κύρια προβλήματα η Αγγλία, η Γερμανία, η Πολωνία, η Σλοβακία.

Μία προσωρινή εκτίμηση βασισμένη στα υπολογιστικά μοντέλα RAINS υποδεικνύει ότι η μείωση πρέπει να είναι της τάξης ενός συντελεστή ανάμεσα στο 10 και στο 20 έτσι ώστε να διατηρηθεί η ζημία στο οικοσύστημα κάτω από 5 %.

Ευτροφισμός

Ο ευτροφισμός αντιμετωπίζεται από την Παγκόσμια αναφορά ιδιαίτερος ως πρόβλημα της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων στην γεωργία με αποτέλεσμα τα νιτρικά άλατα να διηθούνται στα έγκατα ύδατα και να τα δηλητηριάζουν. Το πρόβλημα είναι κυρίαρχο ιδιαίτερα στα κράτη της Μπένελουξ, σε μία περιοχή της Γερμανίας (North-Rhine Westphalia) και σε μια περιοχή της Ιταλίας (Italy's Po valley plain) (περίπου 200 kg/ha).

Στη CML ταξινόμηση ο ευτροφισμός αναφέρεται κυρίως στις εκπομπές στον αέρα και στο νερό. Αυτές σπάνια συνεισφέρουν παραπάνω από το 10 % της ποσότητας λιπάσματος που χρησιμοποιείται από τους αγρότες. Στους μη καλλιεργήσιμους βιότοπους, όπου υπάρχουν λίγα θρεπτικά συστατικά, ο ευτροφισμός μπορεί να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα.

Περιγράφοντας το επίπεδο του ευτροφισμού στα ποτάμια και στις λίμνες, εκτιμάται ότι η κρίσιμη τιμή για τα φωσφορικά άλατα είναι 0,15 mg/l και για τα νιτρικά άλατα 2,2 mg/l. Σ' αυτά τα επίπεδα δεν υπάρχουν προβλήματα με τον ευτροφισμό. Στους ποταμούς Ρήνο, Έλβα Έβρο

και κάποιους άλλους, παρ' όλα αυτά, αυτές οι τιμές έχουν υπερβεί πάνω από πέντε φορές. Αυτό σημαίνει ότι οι εκπομπές πρέπει να μειωθούν με ένα συντελεστή της τάξης του 5.

Φωτοχημική αιθαλομίχλη

Πριν από εκατό χρόνια η συγκέντρωση του όζοντος κατά μέσο όρο όλο το χρόνο είναι 25 ppb (parts per billion) που είναι περίπου το μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο. Πάνω από 30 ppb, για παράδειγμα, μπορεί να συμβεί ζημία στις καλλιέργειες.

Το κύριο όμως πρόβλημα δεν καθορίζεται από τις μέσες τιμές αλλά από την καλοκαιρινή περίοδο αιχμής που μπορεί να φτάσει και τα 300 ppb. Για να μειωθεί αυτή η επικίνδυνη κατάσταση κατά 90 % είναι απαραίτητο να μειωθούν τα VOC (Πτητικές οργανικές ουσίες), και τα NOx κατά 60 με 70 %.

Βαριά μέταλλα

Στη κεντρική Ευρώπη οι συγκεντρώσεις του μολύβδου είναι πολύ υψηλές, ιδιαίτερα στο έδαφος και στο νερό. Οι συγκεντρώσεις στον αέρα είναι επίσης υψηλές στις πόλεις, ιδιαίτερα εξαιτίας της χρήσης της βενζίνης. Για τους ενήλικες καθορίζεται το όριο των 0,5 – 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Air Quality Guidelines). Αυτή η τιμή συχνά υπερβαίνεται πολλές φορές. Αναφέρεται ότι οι μέσες συγκεντρώσεις μολύβδου στη Πολωνία είναι 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Τρώγοντας ντόπια ώριμα λαχανικά θα οδηγούσε σε επίπεδο μολύβδου στο αίμα δέκα φορές υψηλότερο. Έχουν βρεθεί επίπεδα μολύβδου στο αίμα παιδιών γύρω στα 150 με 400 $\mu\text{g}/\text{l}$. Τέτοια περιστατικά συνέβαιναν στη Δύση πριν 30 χρόνια, αλλά όχι άλλα πια. Τα μεγέθη είναι 5 με 10 φορές χαμηλότερα τώρα. Παραπάνω από 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ μπορούν να μετρηθούν καθαρές μειώσεις στην ικανότητα μάθησης των παιδιών.

Παρ' όλο που είναι αληθοφανές ότι η ρύπανση έχει ένα μετρήσιμο αποτέλεσμα στην ανθρώπινη υγεία, δεν είναι εύκολο να υπολογιστεί ένα γενικό ποσοστό μείωσης του μολύβδου. Η καλύτερη εκτίμηση είναι μία μείωση βάση ενός συντελεστή της τάξης του 5 έως 10. Έτσι έχει επιλεγεί το νούμερο 5 για τις εκπομπές βαριών μετάλλων στον αέρα.

Η κυριότερη πηγή της εναπόθεσης καδμίου είναι η γεωργία. Η μέση εναπόθεση κυμαίνεται από 0,6 έως 0,67 g/ha στους βοσκότοπους και από 3,4 έως 6,8 g/ha στις αρόσιμες περιοχές. Η νότια Ολλανδία κατέχει τη πρώτη θέση με εναπόθεση της τάξης των 7,5 έως 8,5 g/ha. Παραπέρα, περίπου το 14 % διασκορπίζεται μέσω του αέρα (βλέπε κλασσική αιθαλομίχλη).

Ένας αναλυτικός υπολογισμός δείχνει την αναγκαιότητα να μειωθούν οι εκπομπές καδμίου γύρω στο 80 με 85 %. Σε μερικά ποτάμια η μόλυνση είναι ουσιαστικά μεγαλύτερη και ο απαιτούμενος στόχος θα πρέπει να είναι ακόμη υψηλότερος. Προς το παρόν όμως χρησιμοποιείται ο συντελεστής 5 για τις εκπομπές των βαριών μετάλλων στο νερό.

Κλασσική αιθαλομίχλη

Οι κυριότερες πηγές αυτού του προβλήματος (που συμβαίνει κυρίως στην Ανατολική Ευρώπη) είναι το SO₂ και τα SPM (μικρά σωματίδια σκόνης ή κάπνας). Τα NOx, οργανικές ουσίες και το CO εμπλέκονται στο φαινόμενο αυτό αλλά σε μικρότερη έκταση. Τα σωματίδια σκόνης μπορεί επίσης να περιέχουν και βαριά μέταλλα.

Αυτή η μορφή νέφους απέκτησε πολύ κακή φήμη το 1952 όταν προκάλεσε 4000 θανάτους στο Λονδίνο. Οι συγκεντρώσεις SO₂ και SPM είχαν φτάσει τιμές των 5000 mg/m^3 . Στη Νότιο Πολωνία και στην Ανατολική Γερμανία μέσες ενδείξεις 200 mg/m^3 ακόμη συμβαίνουν επαναλαμβανόμενα. Η Air Quality Guideline καθορίζει ένα όριο των 50 mg/m^3 για μακροχρόνια έκθεση για τα SPM καθώς και για το SO₂. Βασίζοντας στο γεγονός αυτό, μία μείωση των 75 % θα ήταν απαραίτητη.

Εκτιμάται ότι μία μείωση για τις εκπομπές του SO₂ της τάξης του 80 % και πάνω είναι απαραίτητη για να περιοριστεί συνολικά η εμφάνιση των σποραδικών περιόδων ομίχλης. Κανένας στόχος δεν προτείνεται για τα SPM διότι δεν είναι ακριβώς ορισμένοι οι μετρήσιμοι ρύποι.

Συνεχίζεται να χρησιμοποιείται ο συντελεστής 5.

Καρκινογόνες ουσίες

Οι κυριότερες ουσίες που εμπλέκονται σ' αυτό το φαινόμενο είναι οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), των οποίων η βενζοπυρίνη είναι ένα ιδιαίτερος σημαντικό παράδειγμα. Αυτό συμβαίνει, μεταξύ άλλων μερών, σε κλιβάνους κοκ και σε (diesel) κινητήρες. Στη πραγματικότητα, το πρόβλημα συμβαίνει μόνο στις αστικές περιοχές.

Για τις χώρες και πόλεις της Νότιας Ευρώπης καθορίζεται η τιμή 0,8 έως 5 ng/m³. Η Air Quality Guideline καθορίζει την τιμή του 1 ng/m³ για τις Αμερικανικές πόλεις χωρίς κλιβάνους κοκ στην περιφέρεια τους και στην τιμή του 1 έως 5 ng/m³ για τις πόλεις με κλιβάνους κοκ. Στις Ευρωπαϊκές πόλεις και χώρες τη δεκαετία του εξήντα, όταν ήταν ευρεία η χρήση ανοιχτών χώρων καύσης γαιάνθρακα, οι μέσες συγκεντρώσεις ήταν παραπάνω από 100 ng/m³. Στην Ανατολική Ευρώπη οι τιμές είναι ακόμη υψηλές εξαιτίας της χρήσης συστημάτων θερμότητας καύσεως γαιάνθρακα. Ως σημείο σύγκρισης, ένα δωμάτιο στο οποίο περιέχεται μεγάλο ποσοστό καπνού, μπορεί να περιέχει 20 ng/m³.

Η Air Quality Guideline καθορίζει ένα όριο συγκέντρωσης των 0,01 ng/m³, στο οποίο μία περίπτωση καρκίνου ανά εκατομμύριο κατοίκους ανά χρόνο ακόμη θα συμβαίνει. Αυτό το κριτήριο δεν μπορεί να συγκριθεί ευθέως με το κριτήριο για την μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος επειδή δεν είναι όλες οι περιπτώσεις καρκίνου ακραίες. Επιπροσθέτως, μόνο το 1/3 του πληθυσμού της Ευρώπης κατοικεί σε πόλεις. Εάν υποθέσουμε ότι μία σε κάθε τρεις περιπτώσεις καρκίνου είναι ακραία και αν ληφθεί υπόψη μόνο ο αστικός πληθυσμός, ο κίνδυνος θανάτου είναι 10 φορές μικρότερος. Βασίζοντας σ' αυτό το γεγονός, θα υπήρχε ένας θάνατος ανά εκατομμύριο κατοίκους ανά χρόνο στο επίπεδο συγκέντρωσης των 0,1 ng/m³.

Λόγω του επιπέδου συγκέντρωσης των 1 ng/m³ σε πόλεις χωρίς κλιβάνους κοκ (ιδιαίτερα στις πόλεις της Δυτικής Ευρώπης) μπορεί να εκτιμηθεί μία μείωση χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή της τάξης του 10.

Παρασιτοκτόνα

Η διήθηση των παρασιτοκτόνων απειλεί τις πηγές των εγκάτων υδάτων σε ολόκληρη την EU. Το νερό του εδάφους της EU είναι μολυσμένο κατά 65 % περισσότερο από τη νόρμα της EU (0,5 μg/l). Το όριο υπερβαίνεται δεκαπλάσια στο 25 % του συνόλου της EU. Αυτό συμβαίνει στο 20 % της περιοχής της Ανατολικής Ευρώπης. Μία μείωση χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή της τάξης του 25 είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί ότι το όριο υπερβαίνεται σε λιγότερο από το 10 % του συνόλου της Ευρώπης.

Εξάντληση των ακατέργαστων υλικών και των στερεών αποβλήτων

Δεν έχει οριστεί κάποιο ποσοστό μείωσης για την εξάντληση των ακατέργαστων υλικών. Για το γεγονός αυτό υπάρχουν δύο λόγοι:

Ως αποτέλεσμα της μείωσης των ακατέργαστων υλικών δεν πεθαίνει κανένας άνθρωπος και κανένα οικοσύστημα δεν υφίσταται εξασθένηση. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί κυρίως οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα.

Η εξάντληση είναι δύσκολο να προσδιορισθεί ποσοτικά επειδή υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις για τα περισσότερα υλικά. Για παράδειγμα, ο χαλκός έχει ήδη αντικατασταθεί σε ευρύ κλίμακα από τον υαλοβάμβακα (επικοινωνίες) και το αλουμίνιο (ηλεκτρισμός). Υπάρχουν επίσης καλές προοπτικές για υποκατάστατα υλικά στην παραγωγή ενέργειας εάν βέβαια η αγορά ενέργειας είναι προετοιμασμένη να πληρώσει περισσότερα χρήματα για την ενέργεια. Στη πραγματικότητα το πρόβλημα με την ενέργεια δεν είναι η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων αλλά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καύσης. Με άλλα λόγια δεν χρειάζεται να σκεφτεί κανείς ότι όλα τα αποθέματα πετρελαίου τα οποία είναι μέχρι στιγμής γνωστά έχουν πραγματικά χρησιμοποιηθεί. Αυτό το γεγονός θα ήταν μια περιβαλλοντική καταστροφή.

Επίσης δεν έχει οριστεί κάποιο ποσοστό μείωσης για τα απόβλητα. Μία παρόμοια εξήγηση όπως αυτή για την ενεργεία ισχύει και για τα απόβλητα. Κανένας άνθρωπος δεν πεθαίνει και μόνο πολύ μικρά τμήματα των οικοσυστημάτων απειλούνται από τη χρήση των χώρων για τα απόβλητα (εκτός από τα απορρίμματα). Εκπομπές λόγω αποτέφρωσης, αποσύνθεσης των αποβλήτων και διήθησης αυτών, για παράδειγμα, καθώς και τα βαριά μέταλλα είναι σοβαρά προβλήματα. Αυτές οι εκπομπές καθορίζονται σωστά σε μία καλή Ανάλυση

Κύκλου Ζωής. Τα απόβλητα συμπεριλαμβάνονται με παρόμοιο τρόπο, αλλά εκτιμούνται με όρους των εκπομπών τους.

Σ' αυτήν τη μέθοδο, δεν υπάρχουν τιμές για την οικολογική και ανθρώπινη "δηλητηρίαση", όπως γίνεται συνήθως. Σε αντίθεση υπάρχουν τιμές για τις καρκινογόνες ουσίες, για τα βαριά μέταλλα, για την κλασσική αιθαλομίχλη και για τα παρασιτοκτόνα. Ο λόγος γι' αυτό το γεγονός είναι ότι δεν μπόρεσαν να βρεθούν κάποιοι στόχοι μείωσης για τέτοιες αόριστες έννοιες. Επομένως επιλέγεται ο καθορισμός του όρου "δηλητηρίαση" σε ατομικά προβλήματα.

Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών, αυτή η μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέθοδος για τις εκπομπές, και η εξάντληση των ακατέργαστων υλικών και η χρήση χώρων για τα απόβλητα πρέπει να εκτιμούνται προς το παρών χωριστά. Εκτός αυτού του περιορισμού πιστεύεται ότι αυτή η μέθοδος είναι ένα ισχυρό εργαλείο. Οι εκπομπές θα είναι η κύρια ανησυχία εφόσον ευχή όλων είναι η προστασία της υγείας και των οικοσυστημάτων.

2.3.8.3. ECOPOINTS 97 (CH)

Εισαγωγή

Το Ελβετικό υπουργείο περιβάλλοντος (BUWAL) έχει αναπτύξει το σύστημα Ecopoint, βασισμένο στην πραγματική μόλυνση και σε κριτικούς στόχους οι οποίοι προέρχονται από την ελβετική πολιτική. Είναι ένα από τα πρώτα συστήματα για την εκτίμηση επιπτώσεων που οδηγούν σε ένα και μοναδικό αποτέλεσμα. Όπως και η μέθοδος Eco-indicator 95 που περιγράφηκε προηγουμένως, βασίζεται στην αρχή Distance-to-Target. Αυτή η μέθοδος (Swiss Ecopoint 97) είναι μία επανέκδοση της μεθόδου του 1990.

Υπάρχουν τρεις σπουδαίες διαφορές:

- Το σύστημα Ecopoint δεν χρησιμοποιεί καμία ταξινόμηση. Εκτιμά τις επιπτώσεις μεμονωμένα. Παρ' όλο που χάρη στο γεγονός αυτό επιτρέπεται μια αναλυτική και πολύ συγκεκριμένη (για κάθε ουσία) μέθοδο, έχει το μειονέκτημα ότι μόνο λίγες επιπτώσεις αξιολογούνται.
- Το σύστημα Ecopoint χρησιμοποιεί διαφορετική αρχή κανονικοποίησης. Χρησιμοποιεί τιμές στόχων και όχι τρέχουσες τιμές.
- Το σύστημα Ecopoint βασίζεται σε επίπεδα πολιτικής αντί σε επίπεδα ικανότητας για διατήρηση ή συντήρηση. Τα επίπεδα πολιτικής είναι συνήθως ένας συμβιβασμός μεταξύ πολιτικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων.

Οι Eco-συντελεστές (συντελεστές αξιολόγησης) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την παρακάτω φόρμουλα:

$$f = 1/Fk \times F/Fk \times 1012$$

f: Eco-συντελεστής

F: Πραγματικό ολικό τρέχων φορτίο

Fk: Τιμή στόχου για ολικό φορτίο

1012: Σταθερά

Ο πρώτος όρος (1/Fk) εκφράζει την σχετική συνεισφορά του φορτίου στο να ξεπεράσει την τιμή στόχου. Αυτό είναι το βήμα της κανονικοποίησης. Ο δεύτερος όρος (F/Fk) εκφράζει το βαθμό με τον οποίο η τιμή στόχου έχει ήδη ξεπεραστεί.

Τα παρακάτω δεδομένα είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό ενός αποτελέσματος για ένα δεδομένο προϊόν:

- Ποσοτικοποιημένες επιπτώσεις του προϊόντος
- Ολικό περιβαλλοντικό φορτίο για κάθε τύπο επίπτωσης και για συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή
- Μέγιστο επιτρεπτό περιβαλλοντικό φορτίο για κάθε τύπο επίπτωσης γι' αυτή την συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Υπάρχουν τρεις εκδοχές αυτής της μεθόδου. Η διαφορά επισημαίνεται στην επιλογή των συντελεστών κανονικοποίησης.

1) Κανονικοποίηση βασισμένη σε τιμές στόχων ή σε κριτικές εκπομπές (στόχος = N)

Για τον υπολογισμό των Eco-συντελεστών χρησιμοποιείται η γνήσια φόρμουλα:

$Eco\text{-συντελεστής} = 1/F_k * F/F_k * \text{σταθερά}$

$1/F_k = \text{συντελεστής κανονικοποίησης}$

$F/F_k * \text{σταθερά} = \text{συντελεστής αξιολόγησης}$

2) Κανονικοποίηση βασισμένη σε πραγματικές εκπομπές (N = πραγματικό)

Για τον υπολογισμό των Eco-συντελεστών χρησιμοποιείται η προσαρμοσμένη φόρμουλα έτσι ώστε η κανονικοποίηση που είναι βασισμένη σε πραγματικές εκπομπές να μπορεί να πραγματοποιηθεί.

$Eco\text{-συντελεστής} = 1/F * F/F_k * F/F_k * \text{σταθερά}$

$1/F = \text{συντελεστής κανονικοποίησης}$

$F/F_k * F/F_k * \text{σταθερά} = \text{συντελεστής αξιολόγησης}$

$F = \text{πραγματική ελβετική ετήσια εκπομπή}$

$F_k = \text{κριτική ελβετική εκπομπή ανά έτος}$

3) Ecopoints

Οι συντελεστές δίνονται στο βήμα της αξιολόγησης. Οι συντελεστές κανονικοποίησης ισούνται με τη μονάδα.

Να σημειωθεί ότι δεν περιλαμβάνονται στη μέθοδο αυτή όλες οι παράμετροι όπως τα (βαριά) μέταλλα και άλλα.

2.3.8.4. ECO-INDICATOR 99

Εισαγωγή

Η μέθοδος Eco-indicator 99 είναι η διάδοχος της μεθόδου Eco-indicator 95. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν την προσέγγιση ζημίας. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας του Eco-indicator 99 ξεκίνησε με τον σχεδιασμό της διαδικασίας αξιολόγησης. Κατά παράδοση στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής, οι εκπομπές και οι εξορύξεις των φυσικών πόρων εκφράζονται σε 10 ή και περισσότερες διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η οξίνιση, η μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, η οικολογική “δηλητηρίαση” κ.λ.π. Για μία ομάδα ειδικών ή μη ειδικών είναι πολύ δύσκολο να δώσουν σημαντικούς συντελεστές αξιολόγησης για ένα τόσο μεγάλο και μάλλον αφηρημένο αριθμό κατηγοριών επίπτωσης. Τελικά συμφωνήθηκε ότι δεν πρέπει να κληθεί η ομάδα των ειδικών να αξιολογήσει τις κατηγορίες επίπτωσης αλλά τους διάφορους τύπους ζημίας που προκαλούνται από αυτές τις κατηγορίες επιπτώσεων. Η άλλη βελτίωση ήταν το γεγονός ότι περιορίσαν τον αριθμό των θεμάτων που έπρεπε να εκτιμηθούν. Ως αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας η ομάδα, αποτελούμενη από 365 άτομα από το ελβετικό γκρουπ των ενδιαφερόμενων της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, κλήθηκε να εκτιμήσει την σοβαρότητα των τριών κατηγοριών ζημίας:

- ζημιά στην ανθρώπινη υγεία, εκφρασμένη ως ο αριθμός ετών ζωής χαμένης και ο αριθμός ετών ζώντας ανάικτος. Αυτά συνδυάζονται ως Disability Adjusted Life Years (DALYs), ένας δείκτης ο οποίος χρησιμοποιείται επίσης από τους Worldbank και WHO.
- ζημιά στην ποιότητα του οικοσυστήματος, εκφρασμένη ως απώλεια των διαφόρων ειδών σε μία συγκεκριμένη περιοχή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.
- ζημιά στους πόρους, εκφρασμένη ως το απαιτούμενο πλεόνασμα ενέργειας για μελλοντικές εξορύξεις ορυκτών και ορυκτών καυσίμων.

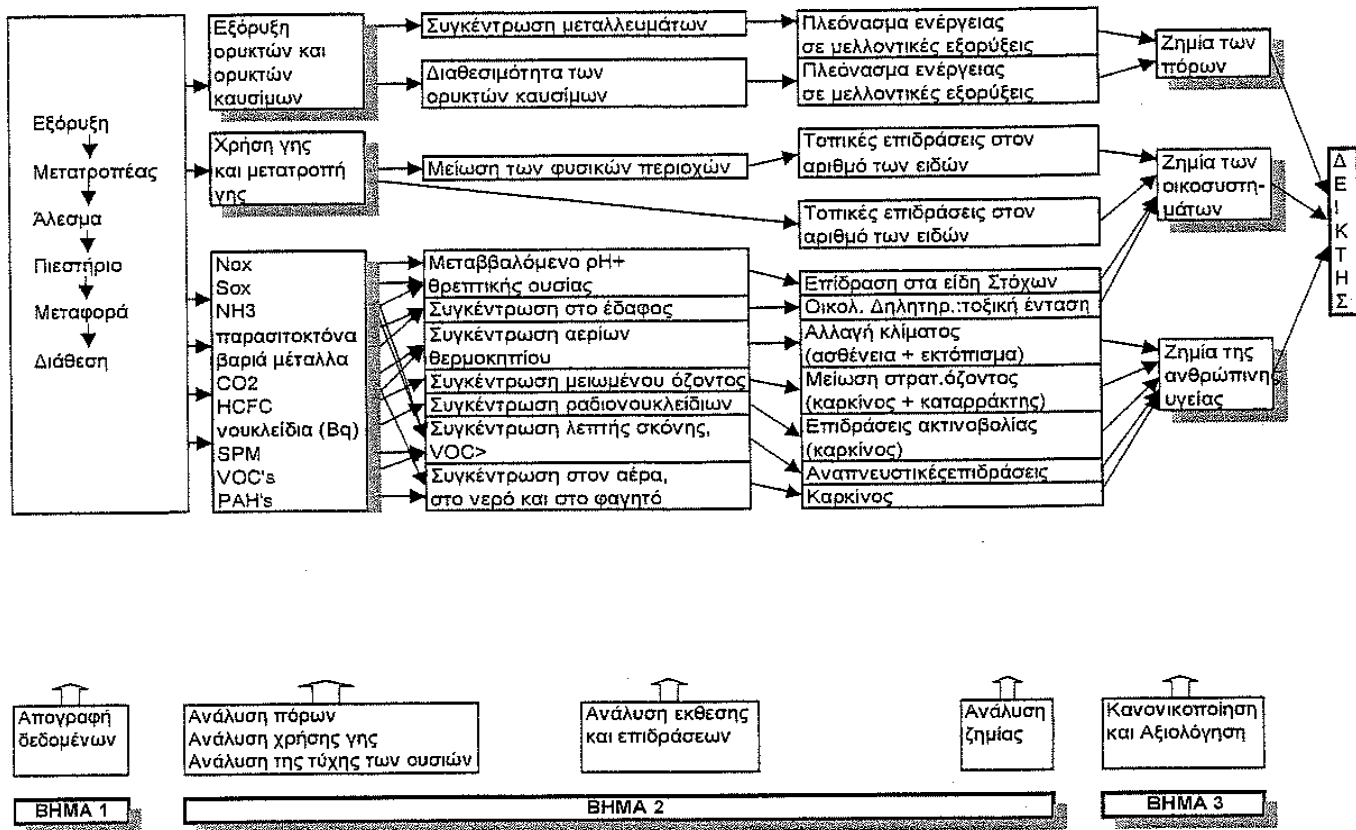
Για να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές αξιολόγησης για τις τρεις κατηγορίες ζημίας πρέπει να αναπτυχθεί μία σειρά από σύνθετα μοντέλα ζημίας. Στο σχήμα 2.8. αυτά τα μοντέλα παρουσιάζονται με γραφικό τρόπο. - -

Χαρακτηρισμός

Εκπομπές

Στον χαρακτηρισμό οι συντελεστές υπολογίζονται στο τελικό επίπεδο (ζημίας). Το μοντέλο ζημίας για τις εκπομπές περιλαμβάνει τυχαία ανάλυση, έκθεση, ανάλυση επιδράσεων και ανάλυση ζημίας. Αυτό το μοντέλο εφαρμόζεται για τις παρακάτω κατηγορίες επιπτώσεων:

- Καρκινογόνες ουσίες



Σχήμα 2.8: Λεπτομερής αναπαράσταση του μοντέλου ζημίας

- Καρκινογόνες επιδράσεις εξαιτίας των εκπομπών καρκινογόνων ουσιών στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος. Η ζημία εκφράζεται σε Disability adjusted Life Years (DALY) / kg εκπομπής.
- Αναπνευστικές επιδράσεις λόγω οργανικών ουσιών
Αναπνευστικές επιδράσεις προερχόμενες από τη φωτοχημική αιθαλομίχλη, εξαιτίας των εκπομπών των οργανικών ουσιών στον αέρα. Η ζημία εκφράζεται σε Disability adjusted Life Years (DALY) / kg εκπομπής.
- Αναπνευστικές επιδράσεις λόγω ανόργανων ουσιών
Αναπνευστικές επιδράσεις προερχόμενες από τη κλασσική αιθαλομίχλη, εξαιτίας των εκπομπών σκόνης και οξειδίων του αζώτου και του θείου στον αέρα. Η ζημία εκφράζεται σε Disability adjusted Life Years (DALY) / kg εκπομπής.
- Αλλαγή κλίματος

Η ζημία, εκφρασμένη σε DALY / kg εκπομπής, προέρχεται από την αύξηση των ασθενειών και των θανάτων που προκαλούνται από την αλλαγή κλίματος.

- Ραδιενέργεια

Η ζημία, εκφρασμένη σε DALY / kg εκπομπής, προέρχεται από τη ραδιενεργή ακτινοβολία.

- Στοιβάδα του όζοντος.

Η ζημία, εκφρασμένη σε DALY / kg εκπομπής, προέρχεται από την αυξημένη ακτινοβολία UV ως αποτέλεσμα των εκπομπών ουσιών μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος στον αέρα.

- Οικολογική “δηλητηρίαση”

Η ζημία στην ποιότητα του οικοσυστήματος, ως αποτέλεσμα των εκπομπών τοξικών ουσιών στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος. Η ζημία εκφράζεται σε Potentially Affected Fraction (PAF) * m^2 * έτος / kg εκπομπής.

- Οξίνιση / Ευτροφισμός

Η ζημία στην ποιότητα του οικοσυστήματος ως αποτέλεσμα των εκπομπών όξινων ουσιών στον αέρα. Η ζημία εκφράζεται σε Potentially Disappeared Fraction (PDF) * m^2 * έτος / kg εκπομπής.

Χρήση γης

Η χρήση γης (σε συστήματα που επεμβαίνει ο άνθρωπος) έχει επίδραση στην ποικιλία των διαφόρων ειδών. Βασισμένη σε παρατηρήσεις περιοχών, αναπτύχθηκε μία κλίμακα εκφράζοντας την ποικιλία των ειδών ανά τύπο χρήσης γης. Η ποικιλία των ειδών εξαρτάται από τον τύπο χρήσης γης και από το μέγεθος της περιοχής. Επιδράσεις τοπικές λαμβάνονται υπόψη στη κατηγορία επίπτωσης:

- Χρήση γης

Η ζημία που προκαλείται λόγω της μετατροπής της γης ή της απασχόλησης αυτής. Εκφράζεται σε Potentially Disappeared Fraction (PDF) * m^2 * έτος / m^2

Μείωση των πόρων

Το ανθρώπινο είδος πάντα πρώτα θα κάνει εξορύξεις των καλύτερων πόρων, αφήνοντας τους πόρους κατώτερης ποιότητας για μελλοντικές εξορύξεις. Η ζημία των πόρων θα αντιμετωπισθεί από τις μελλοντικές γενιές, καθώς θα πρέπει να καταβάλλουν περισσότερη προσπάθεια για να εξορύξουν τους παραμένοντες πόρους. Αυτή η επιπλέον προσπάθεια εκφράζεται ως “πλεόνασμα ενέργειας”.

- Ορυκτά

Πλεόνασμα ενέργειας ανά kg ορυκτού ή μεταλλεύματος, ως αποτέλεσμα των μειωμένων βαθμίδων μεταλλεύματος.

- Ορυκτά καύσιμα

Πλεόνασμα ενέργειας ανά MJ, kg ή m^3 εξόρυξης ορυκτού καυσίμου, ως αποτέλεσμα της κατώτερης ποιότητας των πόρων.

Αβεβαιότητες

Φυσικά είναι πολύ σημαντικό να δοθεί μεγάλη προσοχή στις αβεβαιότητες όσον αφορά τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών.

Διακρίνονται δύο τύποι:

- αβεβαιότητες όσον αφορά την ορθότητα των χρησιμοποιούμενων μοντέλων.
- αβεβαιότητες των δεδομένων.

Οι αβεβαιότητες των δεδομένων καθορίζονται για τους περισσότερους συντελεστές ζημίας ως τετραγωνική γεωμετρική κλασσική απόκλιση από τις γνήσιες αναφορές, αλλά όχι από τη μέθοδο του SimaPro [3]. Δεν είναι χρήσιμο να εκφραστούν οι αβεβαιότητες του μοντέλου ως ένας επιμερισμός. Οι αβεβαιότητες όσον αφορά το μοντέλο συσχετίζονται με υποκειμενικές επιλογές. Έτσι, για να ληφθούν υπόψη αυτές οι επιλογές αναπτύχθηκαν τρεις διαφορετικές εκδοχές της μεθοδολογίας, χρησιμοποιώντας τα αρχέτυπα που καθορίζονται από την Πολιτιστική Θεωρία (Cultural Theory).

Οι τρεις εκδοχές του Eco-Indicator 99 είναι:

- η εκδοχή που αναφέρεται στην ισονομία
- η εκδοχή που αναφέρεται στην ιεραρχία
- η εκδοχή που αναφέρεται στην ατομικότητα

Εκδοχή της ιεραρχίας

Βάση της διάστασης της ιεραρχίας επιλέγεται ο μακροπρόθεσμος χρόνος και οι ουσίες συμπεριλαμβάνονται εάν υπάρχει ομοφωνία όσον αφορά τις επιδράσεις αυτών. Για παράδειγμα όλες οι καρκινογόνες ουσίες IARC (International Agency for Research of Cancer) των κατηγοριών 1, 2a και 2b συμπεριλαμβάνονται, ενώ αυτές της κατηγορίας 3 εσκεμμένα έχουν

αποκλεισθεί. Σ' αυτή την εκδοχή οι ζημίες θεωρούνται να είναι αποφευκτές από καλή διαχείριση. Για παράδειγμα ο κίνδυνος που αντιμετωπίζει ο άνθρωπος να εγκαταλείψει μία περιοχή λόγω των αυξημένων επιπέδων νερού δεν συμπεριλαμβάνεται. Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων γίνεται η υπόθεση ότι τα ορυκτά καύσιμα δεν μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν. Το πετρέλαιο και η βενζίνη είναι για να αντικατασταθούν από τον αργιλικό σχιστόλιθο, ενώ το κάρβουνο αντικαθίσταται από τον λιγνίτη. Στους DALY υπολογισμούς η αξιολόγηση της ηλικίας δεν συμπεριλαμβάνεται.

Εκδοχή της ισονομίας

Βάση της διάστασης της ισονομίας, επιλέγεται ο υπερβολικά μακροπρόθεσμος χρόνος. Οι ουσίες συμπεριλαμβάνονται εάν υπάρχει έστω και μία ένδειξη όσον αφορά τις επιδράσεις αυτών. Για παράδειγμα όλες οι καρκινογόνες ουσίες IARC των κατηγοριών 1, 2a και 2b και 3 συμπεριλαμβάνονται όσο υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες. Σ' αυτή την εκδοχή οι ζημίες δεν μπορούν να αποφευχθούν και μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφικά γεγονότα. Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων γίνεται η υπόθεση ότι τα ορυκτά καύσιμα δεν μπορούν να αντικατασταθούν. Το πετρέλαιο, το κάρβουνο και η βενζίνη είναι για να αντικατασταθούν από ένα μελλοντικό μίγμα λιγνίτη και αργιλικού σχιστόλιθου. Στους DALY υπολογισμούς η αξιολόγηση της ηλικίας δεν συμπεριλαμβάνεται.

Εκδοχή της ατομικότητας

Βάση της διάστασης της ατομικότητας, επιλέγεται ο βραχυπρόθεσμος χρόνος (100 χρόνια ή λιγότερο). Οι ουσίες συμπεριλαμβάνονται εάν υπάρχει ολοκληρωμένη απόδειξη όσον αφορά τις επιδράσεις αυτών. Για παράδειγμα μόνο οι καρκινογόνες ουσίες IARC της κατηγορίας 1 συμπεριλαμβάνονται, ενώ οι κατηγορίες 2a, 2b και 3 εσκεμμένα έχουν αποκλεισθεί. Σ' αυτή την εκδοχή οι ζημίες θεωρούνται να είναι ανακτήσιμες λόγω της τεχνολογικής και οικονομικής ανάπτυξης. Στην περίπτωση των ορυκτών καυσίμων γίνεται η υπόθεση ότι τα ορυκτά καύσιμα στην πραγματικότητα δεν μπορούν να εξαντληθούν. Επομένως αυτά παραλείπονται. Στους DALY υπολογισμούς η αξιολόγηση της ηλικίας δεν συμπεριλαμβάνεται.

Εκτίμηση ζημίας

Οι ζημίες που προκαλούνται από τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων χωρίζονται σε τρεις τύπους όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως:

- ζημία στην ανθρώπινη υγεία
- ζημία στην ποιότητα του οικοσυστήματος
- ζημία στους πόρους

Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση εκτελείται στο στάδιο υπολογισμού της ζημίας. Τα δεδομένα της κανονικοποίησης υπολογίζονται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, κυρίως βασισμένα στο έτος 1993 ως έτος αναφοράς, με μερικές επανεκδόσεις για τις πιο σημαντικές εκπομπές.

Αξιολόγηση

Σ' αυτή τη μέθοδο η αξιολόγηση πραγματοποιείται στο στάδιο ανάλυσης των τύπων ζημίας (τελευταίο στάδιο). Πραγματοποιείται ένας πίνακας αξιολόγησης για τις τρεις κατηγορίες ζημίας. Για κάθε εκδοχή τώρα είναι διαθέσιμο ένα συγκεκριμένο σύνολο αξιολόγησης. Το μέσο αποτέλεσμα της εκτίμησης του πίνακα αξιολόγησης είναι διαθέσιμο ως σελ αξιολόγησης.

Η εκδοχή της ιεραρχίας του Eco-indicator 99 με μέση αξιολόγηση δεν χρησιμοποιείται. Όμως κατά γενική αξία οι επιλογές που γίνονται βάση αυτής της εκδοχής είναι επιστημονικώς και πολιτικώς αποδεκτές

2.3.8.5. CML 2 BASELINE 2000

Η μέθοδος είναι μία επανέκδοση από την μέθοδο του Ολλανδικού οδηγού Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, που δημοσιεύθηκε το 1992 από το κέντρο περιβαλλοντικής επιστήμης (CML, Center of Environmental Science). Αυτή η μέθοδος επίσης αναφέρεται και ως CML 1992, μέθοδος NOH ή Heijungs, 1992.

Χαρακτηρισμός

Ο οδηγός της CML παρέχει μία λίστα κατηγοριών εκτίμησης επιπτώσεων, χωρισμένες σε

A: υποχρεωτικές κατηγορίες επιπτώσεων (κατηγορίες που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες μεθόδους)

B: πρόσθετες κατηγορίες επιπτώσεων (υπάρχουν δείκτες έτοιμοι προς χρήση, αλλά δεν περιλαμβάνονται συχνά στις μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής)

Γ: άλλες κατηγορίες επιπτώσεων (δεν υπάρχουν δείκτες διαθέσιμοι, επομένως είναι αδύνατο να συμπεριληφθούν ποσοτικά σε μία Ανάλυση Κύκλου Ζωής)

Στην περίπτωση που για τις υποχρεωτικές κατηγορίες επιπτώσεων είναι διαθέσιμες διάφορες μέθοδοι, επιλέγεται ένας βασικός δείκτης που βασίζεται στην αρχή της καλύτερης διαθέσιμης πρακτικής. Οι βασικοί δείκτες συνιστάνται για απλοποιημένες μελέτες. Ο οδηγός παρέχει κατευθυντήριες οδηγίες για συνυπολογισμό των άλλων μεθόδων και κατηγοριών επιπτώσεων σε περίπτωση αναλυτικών και λεπτομερών μελετών.

Εξάντληση μη βιοτικών πόρων

Αυτή η κατηγορία αφορά την προστασία της ευημερίας του ανθρώπου, της ανθρώπινης υγείας και της υγείας του οικοσυστήματος. Ο δείκτης αυτής της κατηγορίας επιπτώσεων σχετίζεται με την εξόρυξη ορυκτών και ακατέργαστων καυσίμων εξαιτίας των εισαγωγών στο σύστημα. Ο συγκεκριμένος συντελεστής ADF (Abiotic Depletion factor) καθορίζεται για κάθε εξόρυξη των ορυκτών και των καυσίμων (kg ισοδύναμου αντιμονίου / kg εξόρυξης) βασισμένος σε αποθέματα συγκεντρώσεων και βαθμούς σπατάλης. Ο γεωγραφικός σκοπός αυτού του δείκτη είναι σε παγκόσμια κλίμακα.

Αλλαγή κλίματος

Η αλλαγή κλίματος μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιρροές στην υγεία του οικοσυστήματος, στην ανθρώπινη υγεία και στην υλική ευημερία. Η αλλαγή του κλίματος σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Το χαρακτηριστικό μοντέλο όπως αναπτύχθηκε από το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) επιλέχθηκε για την ανάπτυξη των συντελεστών χαρακτηρισμού. Οι συντελεστές εκφράζονται ως μία ενδεχόμενη παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας για τον χρονικό ορίζοντα των 100 ετών (GWP100), σε kg διοξειδίου του άνθρακα / kg εκπομπής. Ο γεωγραφικός σκοπός αυτού του δείκτη είναι σε παγκόσμια κλίμακα.

Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος

Εξαιτίας της μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος, ένα μεγάλο κλάσμα UV-B ακτινοβολίας φτάνει την επιφάνεια της γης. Αυτό το γεγονός μπορεί να έχει ως επιζήμια αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία, στην υγεία των ζώων, στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα, στους βιοχημικούς κύκλους και στα υλικά. Το χαρακτηριστικό μοντέλο αναπτύχθηκε από τον οργανισμό WMO (World Meteorological Organization) και καθορίζει την ενδεχόμενη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος λόγω διαφορετικών αερίων (kg ισοδύναμου CFC-11 / kg εκπομπής). Ο γεωγραφικός σκοπός αυτού του δείκτη είναι σε παγκόσμια κλίμακα. Η χρονική διάρκεια είναι το άπειρο.

Ανθρώπινη "δηλητηρίαση"

Αυτή η κατηγορία αφορά τις επιδράσεις που προκαλούν οι τοξικές ενώσεις στο περιβάλλον του ανθρώπου. Ρίσκα υγείας λόγω έκθεσης στο εργασιακό περιβάλλον δεν περιλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία. Για κάθε τοξική ένωση οι χαρακτηριστικοί συντελεστές HTP (Human Toxicity Potential) εκφράζονται ως ισοδύναμα 1,4 διχλωροβενζένιου

/ kg εκπομπής. Το γεωγραφικό πεδίο δράσης αυτών των συντελεστών καθορίζεται από το είδος κάθε ουσίας και μπορεί να διαφοροποιείται ανάμεσα σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα.

Υδρόβια “δηλητηρίαση” (fresh water)

Ο δείκτης αυτής της κατηγορίας αναφέρεται στις επιπτώσεις που προκαλούνται στα υδρόβια οικοσυστήματα, ως αποτέλεσμα των εκπομπών τοξικών ενώσεων στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος. Οι χαρακτηριστικοί συντελεστές εκφράζονται ως ισοδύναμα 1,4 διγλωροβενζένιου / kg εκπομπής. Ο χρονικός ορίζοντας είναι το άπειρο. Ο δείκτης εφαρμόζεται σε παγκόσμια / ηπειρωτική / τοπική κλίμακα.

Θαλάσσια “δηλητηρίαση”

Η θαλάσσια τοξικότητα αναφέρεται στις επιπτώσεις των τοξικών ουσιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα (βλέπε περιγραφή της παραπάνω κατηγορίας).

Χερσαία “δηλητηρίαση”

Αυτή η κατηγορία αναφέρεται στις επιδράσεις των τοξικών ουσιών στα χερσαία οικοσυστήματα (βλέπε περιγραφή της παραπάνω κατηγορίας).

Φωτοχημική ρύπανση

Η φωτοχημική ρύπανση είναι ο σχηματισμός ουσιών που επαναντιδρούν (κυρίως όζον), οι οποίες είναι επιζήμιες για την ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα και που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στις καλλιέργειες. Αυτό το πρόβλημα αναφέρεται επίσης και ως φωτοχημική αιθαλομίχλη. Η κλασσική αιθαλομίχλη είναι εκτός του πεδίου αυτής της κατηγορίας.

Η ενδεχόμενη δημιουργία φωτοχημικού όζοντος (POCP: Photochemical Ozone Creation Potential) για τις εκπομπές των ουσιών στον αέρα, υπολογίζεται με το μοντέλο UNECE Trajectory, και εκφράζεται σε ισοδύναμα αιθυλενίου / kg εκπομπής.

Ο χρονικός ορίζοντας είναι πέντε μέρες και η γεωγραφική κλίμακα ποικίλει ανάμεσα σε τοπικό και ηπειρωτικό επίπεδο.

Οξίνιση

Οι όξινες ουσίες προκαλούν ένα ευρύ φάσμα επιπτώσεων στο έδαφος, στα έγκατα ύδατα, στα επιφανειακά ύδατα, στους οργανισμούς, στα οικοσυστήματα και στα υλικά (κτίρια). Η ενδεχόμενη οξίνιση AP (Acidification Potential) εκφράζεται ως ισοδύναμα kg SO₂ / kg εκπομπής. Ο χρονικός ορίζοντας είναι το άπειρο και η γεωγραφική κλίμακα ποικίλει ανάμεσα σε τοπικό και ηπειρωτικό επίπεδο.

Ευτροφισμός

Ο ευτροφισμός περιλαμβάνει όλες τις επιδράσεις εξαιτίας των υπερβολικών επιπέδων μακροθρεπτικών ουσιών στο περιβάλλον που προκαλούνται από τις εκπομπές των θρεπτικών ουσιών στον αέρα, στο έδαφος και στο νερό. Ο ενδεχόμενος ευτροφισμός NP (Nutrification Potential) εκφράζεται ως ισοδύναμα kg PO₄ / kg εκπομπής. Ο χρονικός ορίζοντας είναι το άπειρο και η γεωγραφική κλίμακα ποικίλει ανάμεσα σε τοπικό και ηπειρωτικό επίπεδο.

Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση θεωρείται προαιρετική για μία απλοποιημένη Ανάλυση Κύκλου Ζωής, αλλά υποχρεωτική για μια λεπτομερή Ανάλυση Κύκλου Ζωής.

Ομαδοποίηση και αξιολόγηση

Η ομαδοποίηση και η αξιολόγηση θεωρούνται προαιρετικά βήματα. Επομένως δεν δίνονται προτεινόμενοι κανόνες ή τιμές γι' αυτά τα βήματα.

2.3.8.6. EPS 2000 DEFAULT

Αυτή η μεθοδολογία του EPS 2000 (περιβαλλοντικές στρατηγικές προτεραιότητας στον σχεδιασμό προϊόντων) είναι μία μέθοδος προσανατολισμένη στις ζημίες. Στο σύστημα EPS η προθυμία να πληρωθεί η αποκατάσταση των αλλαγών επιλέγεται ως νομισματικό μέτρο. Η μονάδα μέτρησής είναι το ELU (Environmental Load Unit). Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει το Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων-Χριστοφής Ι. Κορωναίος

στάδιο του χαρακτηρισμού και της αξιολόγησης, αλλά το στάδιο της κανονικοποίησης δεν εφαρμόζεται.

Η ανάπτυξη από το γενικό στο ειδικό του συστήματος EPS έχει οδηγήσει σε μία ειλικρινή ιεραρχία ανάμεσα στις αρχές και τους κανόνες του. Οι γενικές αρχές της ανάπτυξης του είναι:

- Η αρχή από το γενικό στο ειδικό (υψηλότερη προτεραιότητα δίνεται στην χρησιμότητα του συστήματος).
- Η αρχή του δείκτη (έτοιμοι δείκτες αντιπροσωπεύουν σταθμισμένες και συνολικές επιρροές).
- Η αρχή του ορισμού (μία λειτουργική εξ' ορισμού μέθοδος απαιτείται)
- Η αρχή της αβεβαιότητας (η αβεβαιότητα των εισαγόμενων δεδομένων πρέπει να εκτιμηθεί).
- Επιλογή των καθορισμένων δεδομένων και των μοντέλων που τα προσδιορίζουν.

Το σύστημα EPS έχει ως κύριο σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την εσωτερική διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων μιας εταιρίας. Το σύστημα αναπτύχθηκε ώστε να βοηθήσει τους σχεδιαστές και αυτούς που αναπτύσσουν προϊόντα στο να βρουν πια από τις δύο ιδέες προϊόντων έχει τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα μοντέλα και τα δεδομένα στο σύστημα EPS έχουν ως σκοπό να βελτιώσουν την περιβαλλοντική συμπεριφορά των προϊόντων. Η επιλογή και ο σχεδιασμός των μοντέλων και των δεδομένων έχουν γίνει από την πλευρά της προσδοκώμενης χρησιμότητας ενός προϊόντος. Για παράδειγμα αυτά τα μοντέλα δεν σκοπεύουν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για στρατηγικές περιβαλλοντικής προστασίας για μεμονωμένες ουσίες ή ως μία αποκλειστική βάση για περιβαλλοντικές δηλώσεις προϊόντων. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις, επιπρόσθετες συγκεκριμένες πληροφορίες και μοντέλα είναι απαραίτητα.

Η EPS 2000 default μέθοδος είναι μία επανέκδοση της εκδοχής του 1996. Οι κατηγορίες επιπτώσεων χωρίζονται στα εξής θέματα προστασίας: ανθρώπινη υγεία, ικανότητα παραγωγής οικοσυστημάτων, αποθέματα μη βιοτικών πόρων, βιολογική ποικιλότητα και πολιτιστικές και ψυχαγωγικές αξίες.

Ταξινόμηση

Οι εκπομπές και οι πόροι προσδιορίζονται στις κατηγορίες επιπτώσεων όταν πραγματικές επιδράσεις είναι πιθανόν να συμβούν στο περιβάλλον.

Χαρακτηρισμός

Για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών χρησιμοποιούνται εμπειρικά, ισοδύναμα και μηχανιστικά μοντέλα.

Ανθρώπινη υγεία

Σ' αυτό το σύστημα οι συντελεστές αξιολόγησης για την ζημία της ανθρώπινης υγείας συμπεριλαμβάνονται στους παρακάτω δείκτες:

- Προσδοκία ζωής, εκφρασμένη σε χρόνια ζωής που χάνονται
- Σοβαρή νοσηρότητα και πόνος, συμπεριλαμβάνοντας την λιμοκτονία
- Νοσηρότητα, όπως κρύωμα ή γρίπη
- Σοβαρή φασαρία, η οποία κανονικά θα προκαλούσε μια αντίδραση για να αποφευχθεί η φασαρία
- Φασαρία, ενόχληση, αλλά χωρίς να προκαλέσει καμία άμεση ενέργεια

Ικανότητα παραγωγής οικοσυστημάτων

Οι κατηγορίες επιπτώσεων της ικανότητας παραγωγής οικοσυστημάτων είναι :

- Ικανότητα παραγωγής καλλιεργειών, σε kg βάρους συγκομιδής
- Ικανότητα παραγωγής ξύλου, σε kg ξηρού βάρους
- Ικανότητα παραγωγής ψαριών και κρεάτων, σε kg κανονικού βάρους των ζώων
- Ικανότητα οξίνισης, σε H⁺ ισοδύναμα mole (χρησιμοποιούνται μόνο όταν τα μοντέλα που περιλαμβάνουν τους άλλους δείκτες δεν είναι διαθέσιμα)
- Ικανότητα παραγωγής (αρδεύσιμου) νερού, σε kg που είναι αποδεκτά για άρδευση, με σεβασμό στις τοξικές ουσίες

• Ικανότητα παραγωγής (πόσιμου) νερού, σε kg νερού που ικανοποιούν τα κριτήρια του πόσιμου νερού

Αποθέματα μη βιοτικών πόρων

Οι συντελεστές για τα αποθέματα των μη βιοτικών πόρων είναι η εξάντληση των στοιχειωδών ή των αποθεμάτων ορυκτών και η εξάντληση των απολιθωμάτων. Κάποιοι συντελεστές ταξινόμησης ορίζονται μηδέν.

Βιολογική ποικιλότητα

Η κατηγορία επιπτώσεων για την βιολογική ποικιλότητα είναι η εξαφάνιση των ειδών, εκφρασμένη σε κανονικοποιημένα είδη προς εξαφάνιση (NEX: Normalised Extinction of Species).

Πολιτιστικές και ψυχαγωγικές αξίες

Αλλαγές στις πολιτιστικές και ψυχαγωγικές αξίες είναι δύσκολο να περιγραφούν από γενικούς συντελεστές καθώς είναι ιδιαίτερα συγκεκριμένες και ποιοτικές από την φύση τους. Δείκτες πρέπει να ορίζονται μόνο όταν χρειάζεται, και επομένως δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την μεθοδολογία.

Αξιολόγηση

Σ' αυτήν την μέθοδο η αξιολόγηση έγινε βάση της εκτίμησης αξιών. Οι συντελεστές αξιολόγησης αντιπροσωπεύουν την προθυμία να δοθούν χρήματα για να αποφευχθούν αλλαγές. Η περιβαλλοντική αναφορά είναι η παρούσα κατάσταση του περιβάλλοντος. Η μονάδα του δείκτη είναι το ELU (Environmental Load Unit)

2.3.8.7. EDIP/UMIP 96

Η μέθοδος EDIP (Environmental Design of Industrial Products, in Danish UMIP) αναπτύχθηκε το 1996. Επανέκδοση της μεθόδου αυτής αναμένεται το 2002.

Χαρακτηρισμός

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου βασίζεται στην αναφορά IPCC 1994 Status. Χρησιμοποιείται η τιμή GWP 100. Η ενδεχόμενη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος βασίζεται στις αναφορές (1992 / 1995) του Global Ozone Research Project (για χρονική περίοδο το άπειρο). Η ενδεχόμενη δημιουργία φωτοχημικής ρύπανσης (POCP) υπολογίζεται από τις αναφορές του UNECE (1990/1992). Η οξίνιση βασίζεται στον αριθμό ιόντων υδρογόνου (H+) που ελευθερώνονται. Ο ενδεχόμενος ευτροφισμός βασίζεται στο περιεχόμενο N και P στους οργανισμούς. Τα απόβλητα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, στην πλειονότητα της μάζας των απορριμμάτων (όχι επικίνδυνα), στα επικίνδυνα απόβλητα (άσβεστος χημικά τοξικά απόβλητα κλιβάνων και άλλα), στα ραδιενεργά απόβλητα και στις σκωρίες και στάχτες. Όλα τα απόβλητα καταγράφονται με βάση τη μάζα τους.

Η οικολογική “δηλητηρίαση” βασίζεται σε μια εξεταστική μέθοδο χημικού κινδύνου, η οποία εξετάζει την τοξικότητα, την παραμονή στην ατμόσφαιρα και την βιοσυγκέντρωση των ουσιών. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η τύχη ή η κατανομή των ουσιών στα διάφορα συστατικά του περιβάλλοντος. Η ενδεχόμενη οικολογική “δηλητηρίαση” υπολογίζεται για έντονη και χρόνια τοξικότητα για το νερό και χρόνια τοξικότητα για το έδαφος. Καθώς συμπεριλαμβάνεται η τύχη των ουσιών, μία εκπομπή στο νερό μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε χρόνια και έντονη οικολογική “δηλητηρίαση” του νερού, αλλά επίσης και του εδάφους. Παρόμοια μια εκπομπή στον αέρα μπορεί να προκαλέσει οικολογική “δηλητηρίαση” στο νερό και στο έδαφος. Αυτός είναι και ο λόγος που μπορεί να βρεθούν οι εκπομπές διαφόρων ουσιών στα διάφορα συστατικά του περιβάλλοντος για κάθε κατηγορία οικολογικής “δηλητηρίασης”.

Η ανθρώπινη “δηλητηρίαση” βασίζεται σε μια εξεταστική μέθοδο χημικού κινδύνου, η οποία εξετάζει την τοξικότητα, την παραμονή στην ατμόσφαιρα και την βιοσυγκέντρωση των ουσιών. Επίσης, λαμβάνεται υπόψη η τύχη ή η κατανομή των ουσιών στα διάφορα συστατικά

του περιβάλλοντος. Η ενδεχόμενη ανθρώπινη “δηλητηρίαση” υπολογίζεται βάση της έκθεσης του ανθρώπου μέσω του αέρα, του εδάφους και του νερού. Καθώς συμπεριλαμβάνεται η τύχη των ουσιών, μία εκπομπή στο νερό μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε δηλητηρίαση μέσω του νερού, αλλά επίσης μέσω του εδάφους. Παρόμοια μία εκπομπή στον αέρα μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινη δηλητηρίαση μέσω του νερού και του εδάφους. Αυτό είναι και ο λόγος που μπορεί να βρεθούν οι εκπομπές διαφόρων ουσιών στα διάφορα συστατικά του περιβάλλοντος για κάθε κατηγορία ανθρώπινης “δηλητηρίασης”.

Πόροι

Καθώς για τους πόρους χρησιμοποιείται διαφορετική μέθοδος αξιολόγησης, δεν μπορεί να γίνει σύγκριση με τις άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, και γι’ αυτό το λόγο ο συντελεστής αξιολόγησης ορίζεται στην τιμή μηδέν. Οι πόροι πρέπει να μεταχειρίζονται με μεγάλη προσοχή όταν αναλύονται τα αποτελέσματα, και τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού και της κανονικοποίησης δεν μπορούν να συγκριθούν με τις άλλες κατηγορίες επιπτώσεων.

Για να δοθεί στον χρήστη αυτής της μεθόδου κάποια πληροφορία με πιο χρήσιμο τρόπο όλοι οι πόροι έχουν προστεθεί σε μία κατηγορία επίπτωσης. Ως ισοδύναμος συντελεστής έχει χρησιμοποιηθεί το αποτέλεσμα από τις ξεχωριστές τιμές της κανονικοποίησης και της αξιολόγησης, για παράδειγμα η τελική τιμή ανά kg είναι σαν να είχαν υπολογιστεί ξεχωριστά. Για λεπτομερείς πληροφορίες όσον αφορά τους πόρους, συμπεριλαμβάνοντας την κανονικοποίηση και την αξιολόγηση μπορεί να επιλεγεί η μέθοδος “EDIP/UMIP resources only”.

EDIP/UMIP resources only

Στη μέθοδο “EDIP/UMIP resources only” αναφέρονται και καταγράφονται μόνο οι πόροι. Σε αντίθεση με την “default EDIP/UMIP” μέθοδο, οι πηγές δίνονται σε ξεχωριστές κατηγορίες επιπτώσεων, με βάση τη μάζα ενός καθαρού φυσικού πόρου (για παράδειγμα 100 % μέταλλο σε μέταλλευμα αντί για μέταλλευμα). Η κανονικοποίηση βασίζεται στη παγκόσμια παραγωγή ανά πολίτη, προερχόμενη από τους Παγκόσμιους Πόρους 1992. Η αξιολόγηση των μη-ανανεώσιμων πόρων βασίζεται στον ορίζοντα-προμήθειας (World Reserves Life Index), ο οποίος καθορίζει την χρονική περίοδο για την οποία γνωστά αποθέματα θα διαρκέσουν σύμφωνα με τους τρέχοντες ρυθμούς κατανάλωσης. Εάν δεν είναι γνωστά τα δεδομένα κανονικοποίησης για μία ξεχωριστή κατηγορία επίπτωσης, η αξία κανονικοποίησης τίθεται στην μονάδα, και ο υπολογισμός του συντελεστή αξιολόγησης προσαρμόζεται έτσι ώστε το αποτέλεσμα να παραμένει σύμφωνο. Παρ’ όλα αυτά, το γεγονός αυτό μπορεί να δώσει περίεργα διαγράμματα στο βήμα της κανονικοποίησης.

Κανονικοποίηση

Οι αξίες κανονικοποίησης βασίζονται σε ανθρώπινα ισοδύναμα για το 1990. Για τους πόρους, η κανονικοποίηση και η αξιολόγηση έχουν ήδη συμπεριληφθεί στους συντελεστές του χαρακτηρισμού και γι’ αυτό ορίζεται η τιμή μηδέν.

Αξιολόγηση

Οι συντελεστές αξιολόγησης έχουν ορισθεί βάση ενός σετ πολιτικών στόχων εκπομπών ανά άτομο για το έτος 2000, εκτός από τους πόρους οι οποίοι βασίζονται σε αποδεδειγμένα αποθέματα για το 1990. Για τους πόρους, η κανονικοποίηση και η αξιολόγηση έχουν ήδη συμπεριληφθεί στους συντελεστές του χαρακτηρισμού και γι’ αυτό ορίζεται η τιμή μηδέν.

Σημείωση για την αξιολόγηση

Το να παρουσιαστεί η μέθοδος EDIP ως ένα και μοναδικό αποτέλεσμα (προσθετικό) είναι επιτρεπτό, παρ’ όλα αυτά δεν συνίσταται από τους συγγραφείς. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της διαφορετικής μεθόδου αξιολόγησης για τους πόρους (βασιζόμενη στα αποθέματα και όχι σε πολιτικούς στόχους), οι πόροι μπορεί ποτέ να μην συμπεριληφθούν σε ένα και μοναδικό αποτέλεσμα. Αυτό είναι και ο λόγος για τον οποίο ο συντελεστής αξιολόγησης για τους πόρους ορίζεται στην τιμή μηδέν.

Πίνακας 2.10: Βασικές μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων και τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών

ΟΝΟΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΑ ΒΗΜΑΤΑ			
		Χαρακτηρισμός	Εκτίμηση Ζημίας	Κανονικοποίηση	Αξιολόγηση
Eco-indicator 95	Distance to target μέθοδος που βασίζεται σε επιστημονικούς στόχους, και περιλαμβάνει προσέγγιση ζημίας.	X		X	X
Eco-indicator 99	Προσέγγιση ζημίας, χρησιμοποιώντας δείκτες κατηγοριών σε τελικό επίπεδο. Συμπεριλαμβάνονται τρεις εκδοχές χρησιμοποιώντας διαφορετικές υποθέσεις στα περιβαλλοντικά μοντέλα.	X	X	X	X
CML 92	Πολύ διαδεδομένη μέθοδος, σχετικά απλός χαρακτηρισμός, διάφορα σετ κανονικοποίησης.	X		X	
CML 2 baseline 2000	Εκσυγχρονισμένη από το 1992 μέθοδος, περισσότερα προηγμένα μοντέλα, και συνυπολογισμός τυχαίας ανάλυσης.	X		X	
Ecopoints 97	Distance to target μέθοδος που βασίζεται στους Ελβετικής τακτικής στόχους (επίσης αναφέρεται και ως μέθοδος Ecoscarcity).	X			X
EDIP 96	Μέθοδος χαρακτηρισμού και κανονικοποίησης. Έχει κάποιες ομοιότητες με την CML92, αλλά είναι εκσυγχρονισμένη και βελτιωμένη σε πολλά σημεία. Ειδικό σύστημα κανονικοποίησης χρησιμοποιεί διαφορετικές περιοχές	X		X	X
EPS 2000	Προσέγγιση ζημίας, η οποία χρησιμοποιεί νομισματοποίηση (προθυμία για πληρωμή) αντι για αξιολόγηση από έναν πίνακα. Χωρίς κανονικοποίηση.	X	X		X

2.3.8.8. Σύγκριση μεθόδων αποτίμησης επιπτώσεων (που εφαρμόστηκαν στα προϊόντα της FEFCO- European Federation of Corrugated Board Producers)

Λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει η εκτίμηση επιπτώσεων, για την αξιολόγηση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων με στόχο τη βελτίωσή τους και την ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος, παρουσιάζεται μια εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων σε συγκεκριμένο παράδειγμα μελέτης ενός προϊόντος συσκευασίας που διεξάχθηκε από την Ecobilan στα προϊόντα της FEFCO. Σε αυτή τη σύντομη ενότητα δεν αναφέρονται λεπτομέρειες στην μεθοδολογία, εφαρμογές απογραφής, και εκτιμήσεις επιπτώσεων, οι οποίες μπορούν να αναζητηθούν στην ολοκληρωμένη μελέτη της Ecobilan. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ προέκυψαν ύστερα από μια μελέτη, για τη διανομή γαλλικών τοματών στη γερμανική αγορά, στην οποία διεξήχθησαν και συγκρίθηκαν ξεχωριστές αναλυτικές απογραφές για τα συστήματα συσκευασίας από κυματοειδές χαρτόνι (CB), και από αναδιπλούμενο πολυπροπυλένιο (PP) που μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τεχνικές, που φαίνονται στον Πίνακα 2.11). Η μέθοδος CML (Centrum voor Miliekunde Leiden) συγχωνεύει δύο στάδια, την ταξινόμηση και τον χαρακτηρισμό, σε ένα, αυτό της ταξινόμησης χωρίς να πραγματοποιεί την αξιολόγηση στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Οι άλλες τρεις τεχνικές προχωρούν στην αξιολόγηση χωρίς έναν προηγούμενο σαφή χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στηριγμένο σε επιστημονικές βάσεις.

Πίνακας 2.11: Μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων

	CML	EPS	Swiss Ecopoints	Ελβετικοί επικίνδυνοι όγκοι
Ταξινόμηση	X			
Χαρακτηρισμός	χ			
Αξιολόγηση		χ	χ	χ

Σε μια προσπάθεια για το χαρακτηρισμό της εξάντλησης φυσικών πόρων χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι δείκτες συσχέτισης που επινόησε η Ecobilan. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ, προέκυψαν βάση του παρακάτω δείκτη συσχέτισης (αναφερόμενη και ως μέθοδος 2, και η οποία είναι ισοδύναμη της CML):

$$I_2 = \frac{m}{U} = \frac{m}{S} * C$$

όπου:

C: παγκόσμια ετήσια κατανάλωση

S: παγκόσμιο απόθεμα

U: χρόνια που υπολείπονται για χρήση

m: μάζα της ροής που εξετάστηκε κατά την απογραφή

Αυτή η μέθοδος αξιολογεί υλικά, ανάλογα με την σπανιότητά τους, δηλαδή πόσο συχνά μπορεί να τροφοδοτείται από αυτά η αγορά σύμφωνα με τα τρέχοντα δεδομένα,.

Στα Σχήματα 2.8 και 2.9, δίνεται μια γενική εικόνα των συνολικών αθροιστικών αποτελεσμάτων που προέκυψαν ύστερα από τους σχετικούς υπολογισμούς χαρακτηρισμού, για τα πέντε στάδια κύκλου ζωής του υπό εξέταση συστήματος. Το Σχήμα 2.10 δείχνει την κατανομή του βαθμού εξάντλησης των φυσικών πόρων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής. Το Σχήμα 2.11 δείχνει την συμβολή των φυσικών πόρων, που χρησιμοποιούνται για κάθε σύστημα συσκευασίας, σε αυτόν τον βαθμό.

Χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω συντημήσεις:

Κατηγορίες συστημάτων συσκευασίας

CB: κουτιά από κυματοειδές χαρτόνι

PP5: καφάσια πολυπροπυλενίου με 5 χρήσεις

PP12: καφάσια πολυπροπυλενίου με 12,5 χρήσεις

PP22: καφάσια πολυπροπυλενίου με 21,7.χρήσεις

Προσδιορισμός σταδίων κύκλου ζωής

1: Παραγωγή υλικών

2: Παραγωγή κουτιών

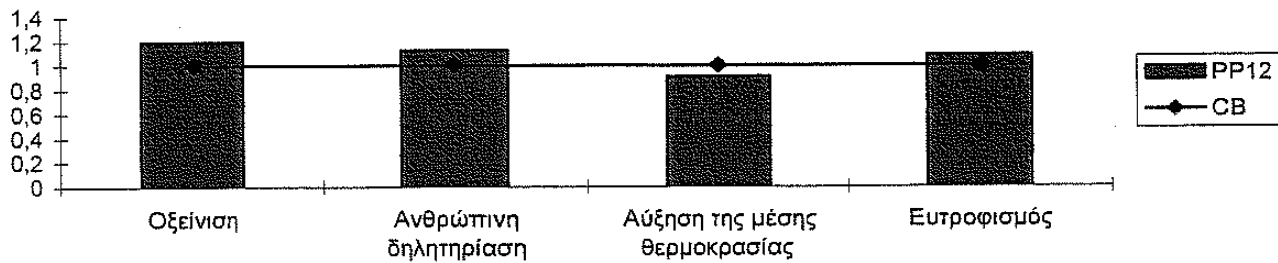
3: Ανύψωση και γέμισμα

4: Διανομή

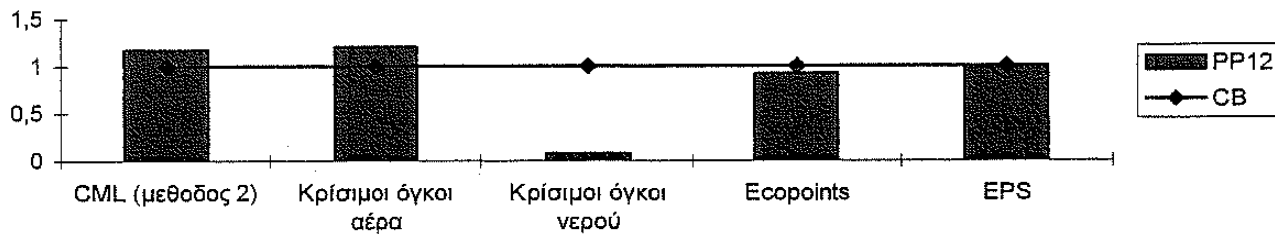
5: Διαχείριση απορριμμάτων

Ο τύπος PP12 δίνει την πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για τις επιπτώσεις ενός καφασιού συσκευασίας PP που μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Επίσης, υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα για 5 και 22 χρήσεις (δηλ. διαδρομές) ανά διάρκεια ζωής καφασιού, προκειμένου να εξεταστεί πόσο ένας υψηλότερος ή χαμηλότερος ρυθμός κλοπών και καταστροφών (ο οποίος καθορίζει τον ρυθμό χρήσης των καφασιών PP) θα επηρέαζε τις κατηγορίες επιπτώσεων στην ταξινόμηση. Αυτό, παρουσιάζεται εδώ, με το διάγραμμα για την εξάντληση φυσικών πόρων (Σχήμα 2.11). Στα Σχήματα 2.8 και 2.9, τα νούμερα έχουν συσχετιστεί με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για

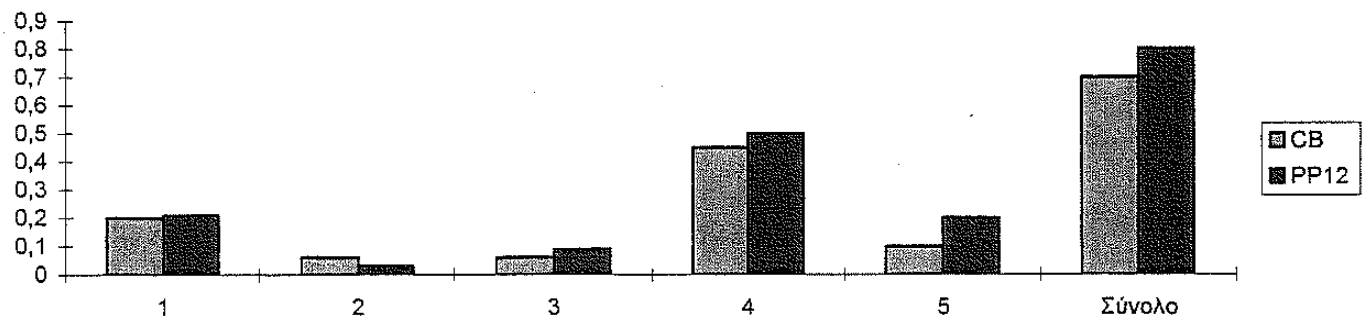
τον τύπο CB. Αυτό έγινε γιατί τα νούμερα που προκύπτουν με διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού (καθώς και αυτά που προκύπτουν με την ίδια μέθοδο ταξινόμησης αλλά για διαφορετικά περιβαλλοντικά προβλήματα) δεν μπορούν να συγκριθούν με βάσει τις απόλυτες τιμές τους.



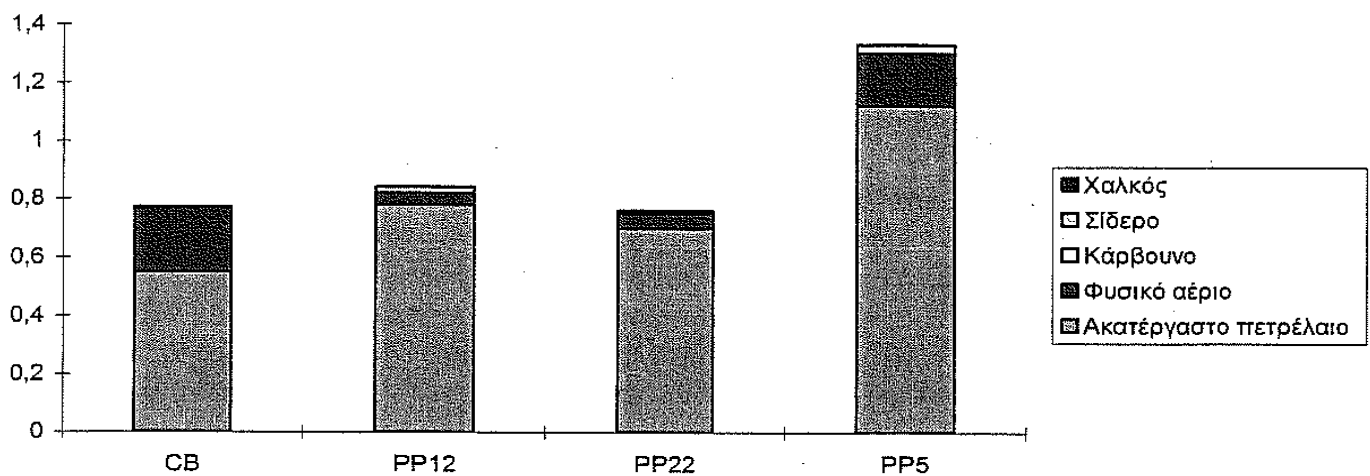
Σχήμα 2.9: Συνολικά αποτελέσματα με τη μέθοδο CML για διαφορετικά περιβαλλοντικά προβλήματα



Σχήμα 2.10: Συνολικά αποτελέσματα των διαφόρων μεθοδολογιών για την εξάντληση φυσικών πόρων



Σχήμα 2.11: Κατανομή του βαθμού εξάντλησης των φυσικών πόρων σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής



Σχήμα 2.12: Συμβολή των φυσικών πόρων που καταναλώνονται για κάθε σύστημα συσκευασίας, στον συνολικό βαθμό εξάντλησής τους.

- Μέθοδος CML (Σχήματα 2.9, 2.10, 2.11, 2.12)

Η μέθοδος CML, όπως προαναφέρθηκε, συγχωνεύει τα στάδια της ταξινόμησης και του χαρακτηρισμού της αναλυτικής απογραφής σε ένα, κάνοντας κατόπιν αξιολόγηση. Αρχικά επιλέγονται από τους ερευνητές κάποιες κατηγορίες επιπτώσεων οι οποίες θεωρούνται σημαντικές, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές τους προτεραιότητες. Κατόπιν, υπολογίζεται η βαρύτητά τους, με τη βοήθεια των δεικτών ταξινόμησης, οι οποίοι βασίζονται σε εκτιμήσεις τιμών της σχετικής σημασίας διαφόρων επιπτώσεων. Αυτοί οι δείκτες εφαρμόζονται στα αποτελέσματα της αναλυτικής απογραφής μέσω ενός ισοδύναμου συντελεστή. Το αποτέλεσμα της αναλυτικής απογραφής δηλώνει έτσι τη συνεισφορά σε μία προσεγγιστική τιμή των αναμενόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται υπό μορφή πίνακα. Αυτές οι επιπτώσεις κανονικοποιούνται μέσω της σύγκρισης του καθενός με ένα επιλεγμένο επίπεδο αναφοράς, το οποίο συνήθως είναι η ετήσια συνολική παγκόσμια συνεισφορά σε μια συγκεκριμένη κατηγορία.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η κατηγορία που εξετάζεται είναι η εξάντληση των φυσικών πόρων. Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα διαγράμματα παρατηρείται ότι γενικά οι περιβαλλοντικές κατανομές είναι περίπου ίδιες για το CB και το PP12. Από τις τέσσερις επιπτώσεις στο Σχήμα 2.9, το CB έχει ελάχιστα χαμηλότερη τιμή για δύο από αυτές (οξείνιση και ανθρώπινη δηλητηρίαση), είναι ισοδύναμο σε μία (ευτροφισμό, για τον οποίο η ελάχιστη διαφορά είναι ευνοϊκή για το CB αλλά δεν θεωρείται σημαντική), και έχει μια ελάχιστα υψηλότερη τιμή σε μία άλλη (αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης). Επίσης το CB δίνει καλύτερα αποτελέσματα στην εξάντληση φυσικών πόρων. Για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης το PP22 έχει ελαφρώς χαμηλότερη τιμή από το CB, για τον ευτροφισμό και την εξάντληση φυσικών πόρων ισοδύναμη, και ωστόσο για την οξείνιση και την ανθρώπινη δηλητηρίαση υψηλότερη. Δεν μπορεί να γίνει μια ξεκάθαρη επιλογή ανάμεσα στα PP12 και CB γι' αυτό και απαιτούνται περαιτέρω υπολογισμοί. Όταν η εξάντληση των φυσικών πόρων εξετάζεται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, το στάδιο της διανομής συμβάλλει περισσότερο στην συνολική εξάντληση, ακολουθούμενο από το στάδιο της παραγωγής. Αυτό ισχύει και για το CB και για το PP, τα οποία έχουν παρόμοια κατανομή, που μπορεί να παρατηρηθεί και για τις άλλες επιπτώσεις. Οι αέριες εκπομπές τόσο για το CB όσο και για το PP στα αποτελέσματα της CML είναι καθοριστικές.

Όπως κάθε τεχνική εκτίμησης επιπτώσεων στα πλαίσια της AKZ, η μέθοδος CML βασίζεται σε ενδεχόμενες επιπτώσεις και όχι σε πραγματικές επιπτώσεις, όπου οι τοπικές συνθήκες είναι καθοριστικές για την περιβαλλοντική επίπτωση μιας εκπομπής. Συνεπώς μπορεί να υποθεθεί ότι υπάρχει ένα σύστημα με μια υψηλή ενδεχόμενη επίπτωση και μια χαμηλή πραγματική επίπτωση, και ένα άλλο σύστημα με μία χαμηλότερη ενδεχόμενη επίπτωση και μια υψηλότερη πραγματική. Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε πρόσφατες επιστημονικές γνώσεις οι οποίες μπορεί να διαφοροποιούνται όσο η γνώση γύρω από τα φυσικά φαινόμενα βρίσκεται σε εξέλιξη. Αυτό σημαίνει επίσης, ότι η μέθοδος προσπαθεί να παραμένει όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα. Είναι βέβαιο πάντως, ότι μια σχετικά μικρή ποσότητα εκπομπών συμμετέχει στην τελική τιμή της επίπτωσης. Εκπομπές NO_x , για παράδειγμα, είναι αυτές που συμβάλλουν κυρίως στην οξείνιση, τον ευτροφισμό και την ανθρώπινη δηλητηρίαση.

Δείκτες της εξάντλησης φυσικών πόρων βασισμένοι σε εκτιμήσεις αποθεμάτων είναι συνδεδεμένοι με αβεβαιότητες για το ποσό των αποθεμάτων. Μπορούν να καταστρωθούν πολλές διαφορετικές συναρτήσεις του αποθέματος και της ετήσιας κατανάλωσης, με αποτέλεσμα οι τελικές τιμές που προκύπτουν, να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την επιλογή του δείκτη συσχέτισης.

- Η μέθοδος EPS (Σχήμα 2.10)

Η μέθοδος EPS (Environmental Priority Strategies in Product design) βασίζεται σε περιβαλλοντικούς δείκτες που αξιολογούν τις επιπτώσεις διαφόρων εκπομπών και της εξάντλησης φυσικών πόρων. Αφορά πέντε περιοχές προστασίας: βιοαποικοδομησιμότητα, παραγωγή, ανθρώπινη υγεία, φυσικοί πόροι, οχλήσεις. Οι περιβαλλοντικοί δείκτες εκφράζονται ως μονάδες περιβαλλοντικού φορτίου (ELU, Environmental Load Unit). Αν σε κάθε μονάδα περιβαλλοντικού φορτίου αντιστοιχίσουμε ένα ECU, τότε μπορούμε με την βοήθεια της μεθόδου EPS, να καταλήξουμε και σε οικονομική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα οι εκπομπές στον αέρα είναι πολύ μεγαλύτερες από τις εκπομπές στο νερό. Η συνολική τιμή που χαρακτηρίζει τις επιπτώσεις, ειδικά στην περίπτωση του PP5, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την εξάντληση των φυσικών πόρων (Σχήμα 2.12). Κατά τη σύγκριση του PP με το CB, η συνολική τιμή είναι σημαντικά μεγαλύτερη για το PP5, ελαφρώς μεγαλύτερη για το PP12, και ελαφρώς χαμηλότερη για το PP22.

Η EPS αποτελεί ένα σύστημα υπό ανάπτυξη. Υπάρχει μια αξιολόγηση για κάθε περιοχή προστασίας που μπορεί όμως να διαφοροποιείται αρκετά (π.χ. η εξάντληση αξιολογείται υψηλότερα από ότι η ανθρώπινη υγεία). Επιπτώσεις που είναι ακόμα υπό εξέταση, θεωρούνται υπαίτιες για κάποιες καταστάσεις, όπως π.χ. η αύξηση της επίδρασης του φαινομένου του θερμοκηπίου προκαλεί αύξηση της στάθμης της θάλασσας ή μείωση της διάρκειας ζωής του ανθρώπου. Επίσης, δεν έχουν ταξινομηθεί όλες οι εκπομπές. Για παράδειγμα, όταν παρατηρείται μια χαμηλή τιμή υγρών αποβλήτων, δεν μπορούμε να ξέρουμε αν αυτό οφείλεται σε περιορισμένα υγρά απόβλητα ή σε μια έλλειψη των δεικτών ταξινόμησης για τα υγρά απόβλητα, οι οποίοι υπάρχουν αλλά δεν έχουν ληφθεί υπόψη.

- Swiss Ecopoints (Σχήμα 2.10)

Τα Ecopoints υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις ποσότητες που αποκτήθηκαν στην απογραφή με τους κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας ή “οικολογικούς συντελεστές”, προσθέτοντας αυτές που ανήκουν στον ίδια τομέα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος (για ένα σύνολο από τέσσερις τομείς: αέριες εκπομπές, εκπομπές στο νερό, ενέργεια και απόβλητα) και αθροίζοντας κάθε αποτέλεσμα σε μια συνολική τελική τιμή. Οι οικολογικοί συντελεστές απορρέουν από δύο τιμές:

- τη συνολική ετήσια ροή εκπομπής ή κατανάλωσης σε μια δεδομένη περιοχή (F),
- τη μέγιστη αποδεκτή ετήσια ροή για την ίδια περιοχή (F_k , κρίσιμη ροή).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι αέριες εκπομπές είναι καθοριστικές τόσο στο CB όσο και στο PP. Οι εκπομπές στο νερό είναι σημαντικές μόνο στο CB, όπου αντιστοιχούν στο 4% του συνολικού αποτελέσματος ενώ για το PP είναι αμελητέες (αυτό μπορεί να προκύπτει από

την έλλειψη αναλυτικών δεδομένων στις βιβλιογραφικές πηγές). Τα απόβλητα του CB είναι σημαντικά, και έτσι εξηγείται το γεγονός ότι το CB έχει υψηλότερα αποτελέσματα από ότι το PP12 και PP22. Μεταξύ των σταδίων του κύκλου ζωής, η διανομή κατέχει το 60% του συνολικού αποτελέσματος για το CB και το 70% για το PP12.

Τα Ecopoints είναι καθορισμένα για την κατάσταση της Ελβετίας (F , ετήσια ροή στην Ελβετία) και για τις κυβερνητικές αποφάσεις της Ελβετίας (F_k , μέγιστη αποδεκτή ετήσια ροή στην Ελβετία). Ισχύουν μόνο για αυτή τη χώρα και μπορούν να αλλάξουν ριζικά αν υπολογιστούν με τις ίδιες παραμέτρους για μια άλλη χώρα. Η F είναι μια υποκειμενική τιμή, εντούτοις είναι δύσκολο να υπολογιστεί, ενώ η F_k εξαρτάται από κανονισμούς και συνεπώς από κρατικές εκτιμήσεις για την επιθυμητή τιμή της ροής που πρέπει να επιτευχθεί. Επομένως, μπορούν να αξιολογηθούν οι διάφοροι τομείς, π.χ. η δήλωση ότι για την ενέργεια ισχύει $F/F_k=1$, εκφράζει ότι η χρήση της ενέργειας δεν θα πρέπει να αυξηθεί. Οι οικολογικοί συντελεστές εκλείπουν για κάποια στοιχεία όπως το CH_4 , το CO ή το HF , είτε γιατί δεν θεωρούνται ότι παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα σε ελβετικό επίπεδο ή γιατί υπάρχει έλλειψη δεδομένων.

- Ελβετικοί κρίσιμοι όγκοι (Σχήμα 2.10)

Οι κρίσιμοι όγκοι αποτελούν μια προσπάθεια για την περιγραφή των τοξικολογικών δεδομένων ενός συστήματος. Υπολογίζονται για δύο ξεχωριστές κατηγορίες εκπομπών: αέριες εκπομπές και εκπομπές στο νερό, διαιρώντας τις περιβαλλοντικές εκπομπές που καταγράφονται στο στάδιο απογραφής με μια οριακή τιμή συγκέντρωσης που δίνεται από τοπικούς κανονισμούς. Στη συνέχεια οι κρίσιμοι όγκοι για κάθε εκπομπή (στα αέρια και στο νερό) συναθροίζονται, παράγοντας δυο τιμές, έναν κρίσιμο όγκο για τον αέρα και έναν για το νερό. Παρ' όλο που αυτοί οι όγκοι έχουν τις ίδιες μονάδες δεν πρέπει να προστεθούν.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, οι κρίσιμοι όγκοι στον αέρα είναι χαμηλότεροι για το CB από ότι για το PP, ενώ οι κρίσιμοι όγκοι στο νερό είναι μεγαλύτεροι για το CB από ότι για το PP. Οι κρίσιμοι όγκοι στον αέρα προέρχονται κυρίως από το στάδιο της διανομής και για το CB και για το PP. Αυτό δεν ισχύει για τους κρίσιμους όγκους στο νερό που στην περίπτωση του CB προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από την παραγωγή πολτού, ενώ στην περίπτωση των PP12 προέρχονται κυρίως από την ανύψωση, και κατόπιν από την διανομή και την παραγωγή.

Οι κρίσιμοι όγκοι καθορίζονται από ένα συγκεκριμένο σύνολο κανονισμών. Τέτοιοι κανονισμοί μπορούν να διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με την δικαστική απόφαση των αρχών ή εντός μιας χώρας, όσο τροποποιούνται τα πολιτικά ζητήματα. Δεν εκφράζουν μεμονωμένους τοξικολογικούς προβληματισμούς. Για παράδειγμα, δύσσομα προϊόντα μπορεί να θεωρηθούν ως επικίνδυνα εξαιτίας της εύκολης ανίχνευσής τους, αν και μπορεί να μην αποτελούν πραγματική απειλή αλλά μόνο ενόχληση. Οι τιμές των κρίσιμων όγκων δεν είναι διαθέσιμες για όλες τις εκπομπές. Επιπλέον οι νομικά ορισμένες τιμές δεν είναι επιστημονικά καθορισμένες, φέρνοντας ρυθμιστικά στοιχεία στην εκτίμηση επιπτώσεων.

2.3.8.9. Συμπεράσματα

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα της εκτίμησης επιπτώσεων και των σχετικών απαιτήσεων, για τη μεθοδολογία απογραφής στα συστήματα συσκευασίας είναι οι ακόλουθες:

-Για την εκτίμηση επιπτώσεων

- Μερικές μέθοδοι, όπως τα Ecopoints και οι κρίσιμοι όγκοι, δεν χαρακτηρίζουν σαφώς τις επιπτώσεις πριν από έναν ακριβή υπολογισμό του αθροίσματος των αποτελεσμάτων. Το σύστημα βαθμολόγησής τους συνδυάζει ελάχιστα επιστημονικά στοιχεία, τρέχοντες περιβαλλοντικούς κανονισμούς, και τιμές βασισόμενες σε εκτιμήσεις.

- Για τις μεθόδους που προσπαθούν να χαρακτηρίσουν τις επιπτώσεις στηριζόμενες σε επιστημονικές γνώσεις, πριν παρουσιαστεί οποιαδήποτε διαδικασία "αξιολόγησης", πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι όσο η εκτίμηση επιπτώσεων είναι ακόμα μια περιοχή υπό έρευνα, τα αποτελέσματα τέτοιων εκτιμήσεων μπορούν γρήγορα να μεταβληθούν.

- Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εκτίμηση επιπτώσεων στα πλαίσια της ΑΚΖ, έχει πρόσφατα ασχοληθεί με τις δυνατές επιπτώσεις, οι οποίες αντιτάσσονται στις πραγματικές, για κάθε κατηγορία στην οποία η περιβαλλοντική επίπτωση εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Παρόλο που δεν είναι δυνατή μια ολοκληρωμένη εκτίμηση επιπτώσεων στα πλαίσια μιας ΑΚΖ, υπάρχουν λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτίωση των μεθοδολογιών που ισχύουν.
 - Τα δεδομένα που είναι πρόσφατα διαθέσιμα για τις περιβαλλοντικές εκπομπές συχνά δεν είναι επαρκώς λεπτομερή για κάποιες τεχνικές χαρακτηρισμού (για παράδειγμα, μερικές μέθοδοι απαιτούν μια λεπτομερή λίστα χημικών, καθώς αντιτάσσονται σε μια παγκόσμια μέτρηση όπως αυτή των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC-Volatile Organic Compounds). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο υπολογισμός του συντελεστή της δηλητηρίασης του υδάτινου οικοσυστήματος της CML μπόρεσε να προσδιοριστεί μετά τα αποτελέσματα της απογραφής. Μόνο τα δεδομένα για ένα μέταλλο το οποίο είχε μετρηθεί ξεχωριστά για κάποιες από τις διεργασίες του κύκλου ζωής των συστημάτων, και για τα αλογονούχα οργανικά συστατικά, που προέκυψαν από παγκόσμιες μετρήσεις και αφορούσαν μόνο το χαρτί μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, ενώ άλλες παγκόσμιες μετρήσεις στις απογραφές των PP και CB (που περιελάμβαναν χημικά στοιχεία που πιθανότατα θα συνέβαλαν σημαντικά στο συντελεστή της δηλητηρίασης του οικοσυστήματος) δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι σημαντικό να αναγνωρίζεται το περιβαλλοντικό πρόβλημα, αλλά το να δοθούν συγκριτικά σχήματα θα ήταν λανθασμένο και παραπλανητικό.
 - Αντιστρόφως, στις απογραφές παρέχονται δεδομένα τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από τις τεχνικές εκτίμησης, είτε γιατί δεν έχουν ακόμα αναπτυχθεί λειτουργικές μέθοδοι για τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεών τους, είτε γιατί υπάρχει έλλειψη περιβαλλοντικών κανονισμών για αυτά τα στοιχεία. Παραδείγματα τέτοιων χασμάτων δόθηκαν παραπάνω (CH₄, CO και HF για τα Ecopoints).
 - Οι δύο προηγούμενες επισημάνσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.12, ο οποίος δείχνει το πλήθος των στοιχείων απογραφής που θεωρητικά λαμβάνονται σε κάθε μέθοδο εκτίμησης, και το πλήθος των στοιχείων απογραφής που χρησιμοποιήθηκαν στην πράξη κατά την εφαρμογή της μεθόδου στις απογραφές των κουτιών CB και των καφασιών PP για την διανομή της τομάτας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι απογραφές μέτρησαν πάνω από 100 στοιχεία εισόδου και εξόδου.
 - Η χρήση της ενέργειας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ένας καλός δείκτης επίπτωσης, επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές πηγές ενέργειας των οποίων το ενεργειακό περιεχόμενο δεν εκφράζει την σπανιότητά τους, και επειδή οι εκπομπές που προέρχονται από την παραγωγή ενέργειας έχουν ήδη υπολογιστεί στις απογραφές και συμβάλλουν στο αποτέλεσμα του Ecopoint. Οι πηγές ενέργειας και οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας είναι η μόνη κατάλληλη βάση για το χαρακτηρισμό των επιπτώσεων της χρήσης ενέργειας. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι η μέθοδος του Ecopoint δεν κάνει διαχωρισμό μεταξύ ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
 - Το γεγονός ότι διαφορετικές μέθοδοι δίνουν παρόμοια αποτελέσματα κατά την σύγκριση δυο συστημάτων δεν σημαίνει απαραίτητα ότι οι μέθοδοι συμπίπτουν.
 - Με δεδομένη την τρέχουσα κατάσταση των τεχνικών εκτίμησης (γρήγορη εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης για τις μεθόδους ταξινόμησης από την μια, και ανεπιφύλακτη εισαγωγή εκτιμήσεων για τις άλλες μεθόδους από την άλλη), η εκτίμηση επιπτώσεων μπορεί να είναι ένας χρήσιμος τρόπος για να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα της απογραφής αλλά από την άλλη πολύ επικίνδυνος εάν χρησιμοποιείται χωρίς μια προσεχτική άμεση ανάλυση. Οπωσδήποτε μια υψηλής ποιότητας απογραφή είναι μια αναγκαία προϋπόθεση για την εξασφάλιση οποιουδήποτε σημαντικού αποτελέσματος από την εκτίμηση επιπτώσεων.
- Προϋποθέσεις για τις αναλυτικές απογραφές των συστημάτων συσκευασίας πριν την εκτίμηση επιπτώσεων.

- Οι αέριες εκπομπές που έχουν σαν ενδεχόμενο την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης θα έπρεπε να καταγράφονται υπό δύο κατηγορίες: σε αυτές που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές, και σε αυτές που προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές. Ομοίως, όταν υπολογίζονται οι δείκτες ενέργειας, θα πρέπει να κατατάσσονται στις ίδιες υποκατηγορίες.

Πίνακας 2.12: Ενδεχόμενο και πραγματικό πλήθος στοιχείων απογραφής για την εκτίμηση επιπτώσεων

Μέθοδος εκτίμησης	Ενδεχόμενο πλήθος στοιχείων που συμβάλλουν στη εκτίμηση	Πλήθος στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εφαρμογή της μεθόδου
CML	300 (περίπου)	25
EPS	38 (από τα οποία 20 πρώτες ύλες και 14 περιβαλλοντικές εκπομπές)	16
Ecopoint		
Ενέργεια	1	1
Αέριες εκπομπές	6	5
Εκπομπές στο νερό	7	7
Απόβλητα	2	2
Σύνολο	16	15
Κρίσιμοι όγκοι		
Αέριες εκπομπές	17	12 για το CB-10 για το PP
Εκπομπές στο νερό	19	10 για το CB-10 για το PP

- Τα στάδια μεταφοράς θα πρέπει να αναλύονται και να μοντελοποιούνται προσεκτικά. Αν λαμβάνουν χώρα και διαδικασίες μεταφοράς μεταξύ της παραγωγής και της συσκευασίας, θα πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά τα αντίστοιχα μέτρα(οποιαδήποτε διαφοροποίηση που συμβαίνει κατά την μεταφορά, π.χ. στο φορτίο, στους ρυθμούς ξεφορτώματος και επιστροφής ή σε απώλειες προϊόντος, πρέπει να συνυπολογίζεται εξολοκλήρου στο σύστημα συσκευασίας).

- Κατά τη μελέτη “ιδεατών” τύπων συσκευασίας με τη χρήση μέσων τιμών (σε αντίθεση με τις τυποποιημένες συσκευασίες τριάδας προϊόντων), πρέπει να δίνεται πολύ προσοχή ώστε να μην προκύψουν λανθασμένα συμπεράσματα. Οι μέσοι όροι μπορεί να κρύβουν μια τεράστια διακύμανση, και τα σχετικά αποτελέσματα που ισχύουν για τους μέσους όρους μπορεί να μην ισχύουν για συγκεκριμένα (και επομένως πραγματικά) συστήματα συσκευασίας. Αυτό ισχύει επίσης στη σύγκριση συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων συσκευασίας. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι δεν μπορεί να υπάρξει μια απόλυτη ιεραρχία, στις λύσεις για τη μείωση των αποβλήτων, εξετάζοντας όλα τα υλικά και όλα τα συστήματα συσκευασίας από την ίδια περιβαλλοντική σκοπιά. Η παρουσίαση της απογραφής πρέπει επομένως να δηλώνει ξεκάθαρα ποια θέση αντιπροσωπεύει, και τους περιορισμούς οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διατύπωση των συμπερασμάτων (π.χ. μετά την εκτίμηση επιπτώσεων).

2.4. Ερμηνεία Κύκλου Ζωής

Η ερμηνεία κύκλου ζωής (EKZ) είναι μια συστηματική τεχνική για τον προσδιορισμό, τη ποσοτικοποίηση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση των πληροφοριών που προέκυψαν από τα αποτελέσματα του KAKZ και AEKZ και την αποτελεσματική τους παρουσίαση. Η EKZ είναι η τελευταία φάση της AKZ.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) έχει καθορίσει τους ακόλουθους δύο στόχους της EKZ:

1. Ανάλυση αποτελεσμάτων, εξαγωγή συμπερασμάτων, εξήγηση περιορισμών και παροχή προτάσεων που να βασίζονται στα συμπεράσματα των προηγούμενων φάσεων της AKZ και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της EKZ με διαφανή τρόπο.
2. Παροχή μιας εύκολα κατανοητής, πλήρους και συνεπούς παρουσίασης των αποτελεσμάτων μιας μελέτης AKZ, σύμφωνα με το στόχο και το πεδίο της μελέτης (ISO 1998b).

Σύγκριση εναλλακτικών λύσεων χρησιμοποιώντας την EKZ

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας AKZ δεν είναι τόσο απλή (όπως π.χ. 2 είναι καλύτερα ή χειρότερα από 3, επομένως η εναλλακτική λύση Α είναι η καλύτερη επιλογή). Όταν διεξάγονται οι φάσεις KAKZ και AEKZ, είναι απαραίτητο να γίνουν υποθέσεις, εκτιμήσεις από μηχανική άποψη και να ληφθούν αποφάσεις βασισμένες στις τιμές αυτών που διεξάγουν την AKZ και στις τιμές των συμβαλλόμενων μερών. Κάθε μια από αυτές τις αποφάσεις πρέπει να περιληφθεί και να παρουσιαστεί μέσα στα τελικά αποτελέσματα για να εξηγήσει με σαφήνεια και λεπτομερώς τα συμπεράσματα που προέρχονται από τα δεδομένα. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να μην είναι δυνατό να αποφασιστεί αν μια εναλλακτική λύση είναι καλύτερη από τις άλλες λόγω της αβεβαιότητας που υπάρχει στα τελικά αποτελέσματα. Αυτό δεν υπονοεί ότι οι προσπάθειες έγιναν μάταια. Η διαδικασία της AKZ θα εξοπλίσει ακόμα αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις με τη δυνατότητα καλύτερης κατανόησης των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην υγεία, του τρόπου με τον οποίο συνδέονται με την κάθε εναλλακτική λύση, πού εμφανίζονται (τοπικά, περιφερειακά ή παγκόσμια) και του σχετικού μεγέθους κάθε τύπου επίπτωσης σε σχέση με την κάθε μια από τις προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις που περιλαμβάνονται στη μελέτη. Αυτές οι πληροφορίες αποκαλύπτουν πλήρως τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε εναλλακτικής λύσης.

Μπορεί να επιλεγεί μια εναλλακτική λύση με βάση μόνο τα αποτελέσματα της AKZ;

Ο σκοπός της διεξαγωγής μιας AKZ είναι η καλύτερη ενημέρωση αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις παρέχοντας τους ένα ιδιαίτερο είδος πληροφοριών (που συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη) με μια προοπτική του κύκλου ζωής όσον αφορά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία που συνδέονται με κάθε προϊόν ή διεργασία. Εντούτοις, η AKZ δεν λαμβάνει υπόψη την

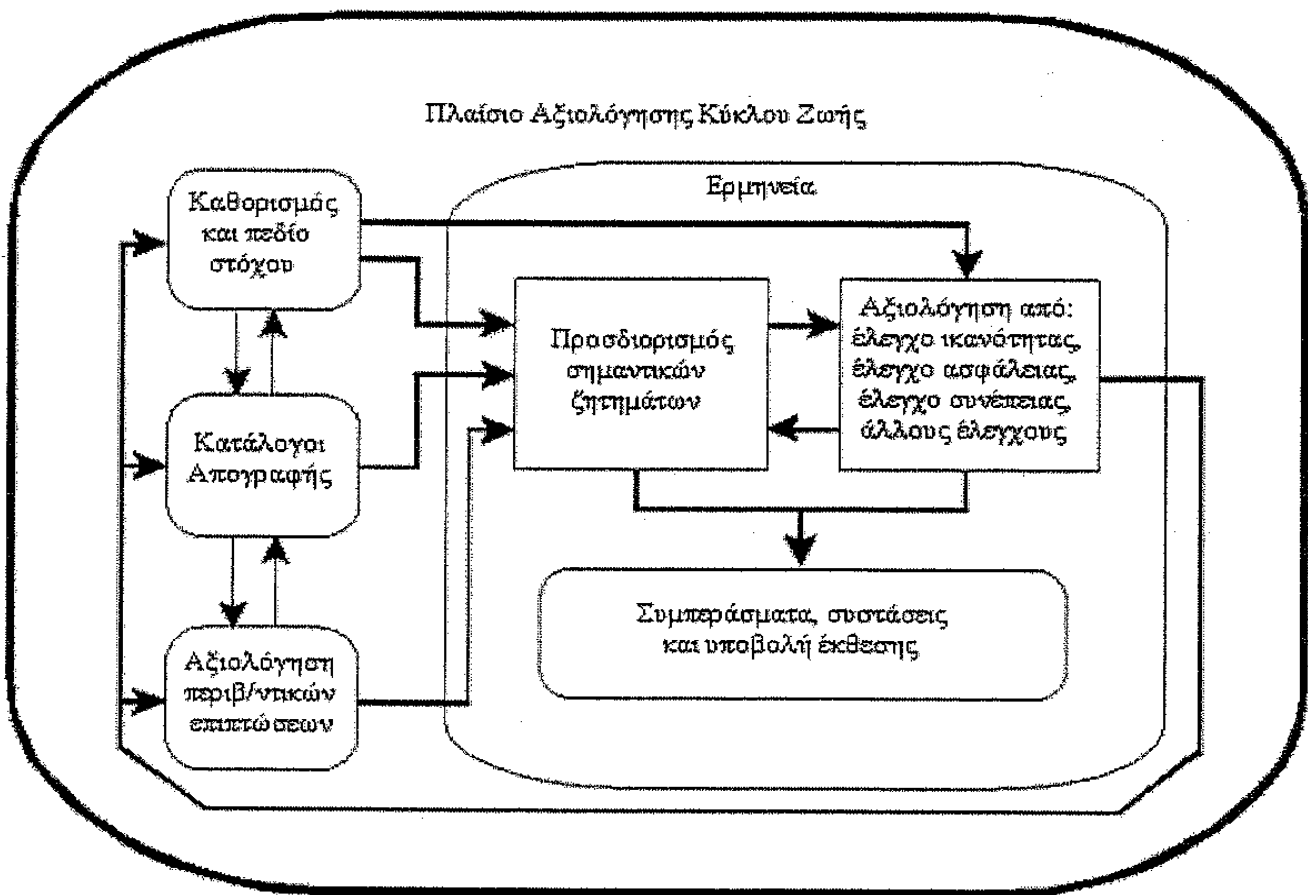
τεχνική απόδοση, το κόστος ή την πολιτική και κοινωνική αποδοχή. Επομένως, συνιστάται, η ΑΚΖ να χρησιμοποιείται μαζί με αυτές τις άλλες παραμέτρους.

Βήματα – κλειδιά για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ

Οι οδηγίες που περιέχονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι μια περίληψη των πληροφοριών που παρέχονται για την ΕΚΖ από το πρότυπο ISO “*Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation*” ISO/DIS 14043 (ISO 1998b). Μέσα στο πρότυπο αυτό του ISO προσδιορίζονται και γίνεται αναφορά στα ακόλουθα βήματα διεξαγωγής μιας ΕΚΖ:

1. Αναγνώριση σημαντικών ζητημάτων
2. Αξιολόγηση της πληρότητας, ευαισθησίας, συνοχής και συνέπειας των δεδομένων
3. Εξαγωγή συμπερασμάτων και εισηγήσεων

Το σχήμα 2.13 παρουσιάζει τα βήματα της διαδικασίας ΕΚΖ σε σχέση με τις άλλες φάσεις της ΑΚΖ.



Σχήμα 2.13: Σχέση μεταξύ των σταδίων ερμηνείας με τα υπόλοιπα στάδια της ΑΚΖ

Βήμα 1: Αναγνώριση σημαντικών ζητημάτων

Το πρώτο βήμα της φάσης ΕΚΖ περιλαμβάνει πληροφορίες αναθεώρησης από τις πρώτες τρεις φάσεις της διαδικασίας ΑΚΖ προκειμένου να προσδιοριστούν τα στοιχεία από τα δεδομένα με την πιο μεγάλη συμβολή στα αποτελέσματα των ΚΑΚΖ και ΑΕΚΖ για κάθε προϊόν, διεργασία ή υπηρεσία. Το βήμα αυτό είναι γνωστό και ως “σημαντικά ζητήματα”.

Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την πληρότητα, την ευαισθησία, τη συνοχή και τη συνέπεια της μελέτης ΑΚΖ (βήμα 2). Ο προσδιορισμός των σημαντικών ζητημάτων καθοδηγεί το βήμα αξιολόγησης. Λόγω του μεγάλου αριθμού

δεδομένων που έχει συλλεχθεί, η αξιολόγηση των στοιχείων από τα δεδομένα που συμβάλουν σημαντικά στα τελικά αποτελέσματα είναι εφικτή μόνο μέσα σε λογικό χρόνο και πόρους.

Πριν να καθοριστεί το ποια μέρη του ΚΑΚΖ και της ΑΕΚΖ έχουν τη μέγιστη επιρροή στα αποτελέσματα για την κάθε εναλλακτική λύση, οι προηγούμενες φάσεις της ΑΚΖ πρέπει να επανεξεταστούν με λεπτομέρεια (π.χ., στόχοι μελέτης, βασικοί κανόνες, συντελεστές βαρύτητας κατηγοριών επιπτώσεων, αποτελέσματα και εξωτερική εμπλοκή, κ.λ.π.).

Απαραίτητη είναι η αναθεώρηση των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί και των παρουσιάσεων των αποτελεσμάτων για να καθοριστεί εάν οι στόχοι και οι σκοποί της ΑΚΖ έχουν επιτευχθεί. Εάν έχουν επιτευχθεί, τότε μπορεί να καθοριστεί η σημασία των αποτελεσμάτων.

Ο καθορισμός των σημαντικών ζητημάτων ενός συστήματος προϊόντων μπορεί να είναι απλός ή πολύπλοκος. Σαν βοήθεια για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών ζητημάτων και τον καθορισμό της σημασίας τους προτείνονται οι ακόλουθες προσεγγίσεις:

- *Ανάλυση συμβολής* – η συμβολή των σταδίων του κύκλου ζωής ή των ομάδων των διεργασιών συγκρίνεται με το συνολικό αποτέλεσμα και εξετάζεται ως προς τη σχετικότητα τους.

- *Ανάλυση κυριότητας* – στατιστικά εργαλεία ή άλλες τεχνικές, όπως η ποσοτική ή ποιοτική ταξινόμηση (π.χ., ανάλυση ABC), χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τις σημαντικές συμβολές και εξετάζονται για τη σχετικότητα τους.

- *Αξιολόγηση ανωμαλίας* – βασισμένη σε προηγούμενες εμπειρίες, ασυνήθιστες ή απρόσμενες αποκλίσεις από τα αναμενόμενα ή τα κανονικά αποτελέσματα παρατηρούνται και εξετάζονται ως προς τη σχετικότητα τους.

Τα σημαντικά ζητήματα μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Παραμέτρους καταλόγων απογραφής, όπως χρήση ενέργειας, εκπομπές, απόβλητα, κ.λ.π.
- Δείκτες κατηγοριών επιπτώσεων, όπως χρήση των πόρων, εκπομπές, απόβλητα, κ.λ.π.
- Βασικές συνεισφορές σταδίων κύκλου ζωής στα αποτελέσματα του ΚΑΚΖ ή ΑΕΚΖ, όπως μεμονωμένες μονάδες διεργασιών ή ομάδες διεργασιών (π.χ., μεταφορά, παραγωγή ενέργειας).

Βήμα 2: Αξιολόγηση της πληρότητας, ευαισθησίας, συνοχής και συνέπειας των δεδομένων

Το βήμα της αξιολόγησης της φάσης ΕΚΖ αποδεικνύει την εμπιστοσύνη και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ. Αυτό επιτυγχάνεται με την ολοκλήρωση των ακόλουθων ελέγχων για να εξασφαλιστεί ότι τα προϊόντα / διεργασίες είναι συγκρίνονται σε ίση βάση:

1. Έλεγχος πληρότητας – εξετάζει την πληρότητα της μελέτης.
2. Έλεγχος ευαισθησίας – αξιολογεί την ευαισθησία των σημαντικών στοιχείων των δεδομένων που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα.
3. Έλεγχος συνέπειας / συνοχής – αξιολογεί τη συνέπεια / συνοχή που χρησιμοποιήθηκε για να τεθούν τα όρια του συστήματος, για τη συλλογή των στοιχείων, για να γίνουν οι υποθέσεις και για την κατανομή των δεδομένων στις κατηγορίες επιπτώσεων για κάθε εναλλακτική λύση.

Κάθε τεχνική συνοψίζεται πιο κάτω.

Έλεγχος πληρότητας – ο έλεγχος πληρότητας εξασφαλίζει ότι όλες οι σχετικές πληροφορίες και τα στοιχεία που απαιτούνται για την ΕΚΖ είναι διαθέσιμες και πλήρεις. Πρέπει να δημιουργηθεί μια λίστα ελέγχου για να καταδείξει κάθε σημαντική περιοχή που αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα. Τα δεδομένα μπορούν να οργανωθούν κατά στάδιο κύκλου ζωής, κατά διαφορετικές διεργασίες ή κατά μονάδες διεργασιών ή κατά τύπο δεδομένων που αντιπροσωπεύεται (πρώτες ύλες, ενέργεια, μεταφορά, περιβαλλοντικές εκπομπές στον αέρα, στο έδαφος ή στα ύδατα). Χρησιμοποιώντας την καθιερωμένη λίστα ελέγχου, είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί ότι τα δεδομένα από τα οποία αποτελείται κάθε περιοχή των αποτελεσμάτων είναι σύμφωνα με τα όρια του συστήματος (π.χ., συμπεριλαμβάνονται όλα τα στάδια κύκλου ζωής) και ότι τα δεδομένα είναι αντιπροσωπευτικά της συγκεκριμένης περιοχής (π.χ., αποτελούν το 90% όλων των πρώτων υλών και των περιβαλλοντικών εκπομπών). Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας θα είναι μια λίστα ελέγχου που δείχνει ότι τα αποτελέσματα για κάθε προϊόν / διεργασία είναι πλήρη και αντικατοπτρίζουν τους στόχους και τους σκοπούς της ΑΚΖ. Εάν σημειώνονται ανεπάρκειες, τότε δεν μπορεί να διεξαχθεί μια δίκαιη και ισότιμη σύγκριση και απαιτούνται πρόσθετες προσπάθειες για να καλύψουν τα κενά. Σε μερικές περιπτώσεις, δεδομένα μπορεί να μην είναι διαθέσιμα για να καλύψουν τα κενά των δεδομένων. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι

απαραίτητο να αναφερθούν οι διαφορές στα δεδομένα μαζί με τα τελικά αποτελέσματα και να υπολογιστεί η επίπτωση τους στη σύγκριση είτε ποσοτικά (% αβεβαιότητα) είτε ποιοτικά (το αναφερόμενο αποτέλεσμα της εναλλακτικής λύσης Α μπορεί να είναι υψηλότερο επειδή το "X" στοιχείο δεν συμπεριλαμβάνεται στην αξιολόγησή του).

Έλεγχος ευαισθησίας – ο στόχος του ελέγχου ευαισθησίας είναι να αξιολογηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων καθορίζοντας εάν η αβεβαιότητα στα σημαντικά ζητήματα που προσδιορίζονται στο βήμα 1 έχει επιπτώσεις στην ικανότητα αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις να εξαγάγουν με βεβαιότητα συγκριτικά συμπεράσματα. Ένας έλεγχος ευαισθησίας μπορεί να εκτελεσθεί στα σημαντικά ζητήματα χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τρεις κοινές τεχνικές για την ανάλυση ποιότητας των δεδομένων:

1. Ανάλυση βαρύτητας – προσδιορίζει τα δεδομένα που έχουν τη μέγιστη συμβολή στα αποτελέσματα των δεικτών των επιπτώσεων.
2. Ανάλυση αβεβαιότητας – περιγράφει τη μεταβλητότητα / διακύμανση των δεδομένων ΑΕΚΖ για να καθορίσει τη σημασία των αποτελεσμάτων των δεικτών των επιπτώσεων.
3. Ανάλυση ευαισθησίας – εκτιμά το βαθμό στον οποίο επηρεάζουν τα αποτελέσματα των δεικτών επιπτώσεων οι αλλαγές στον ΚΑΚΖ και στα μοντέλα του χαρακτηρισμού.

Πρόσθετη καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο που διεξάγονται αναλύσεις βαρύτητας, αβεβαιότητας ή ευαισθησίας μπορεί να βρεθεί στο έγγραφο της ΕΡΑ με τίτλο "Guidelines for Assessing the Quality of Life Cycle Inventory Analysis", April 1995, EPA 530-R-95-010. Αναλύσεις ευαισθησίας, αβεβαιότητας ή / και βαρύτητας μπορεί να διεξαχθούν και ως τμήμα των φάσεων ΚΑΚΖ και ΑΕΚΖ. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έλεγχος ευαισθησίας. Η ποιότητα και η ακρίβεια των δεδομένων καθορίστηκαν ως τμήμα της φάσης καθορισμού στόχων και σκοπών της ΑΚΖ. Με τον έλεγχο ευαισθησίας πρέπει να εξακριβωθεί αν αυτοί οι στόχοι έχουν επιτευχθεί. Εάν υπάρχουν ανεπάρκειες, τότε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μπορεί να μην είναι επαρκής για να υποστηρίξει τις αποφάσεις που λαμβάνονται και απαιτούνται πρόσθετες προσπάθειες για να βελτιώσουν την ακρίβεια των δεδομένων του ΚΑΚΖ ή / και των μοντέλων επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται στη ΑΕΚΖ. Μερικές φορές μπορεί να μην είναι διαθέσιμα καλύτερα δεδομένα ή μοντέλα επιπτώσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να αναφέρονται οι ανεπάρκειες για κάθε σχετικό σημαντικό ζήτημα και να υπολογίζονται οι επιπτώσεις τους στη σύγκριση είτε ποσοτικά (% αβεβαιότητα) είτε ποιοτικά (το αναφερόμενο αποτέλεσμα της εναλλακτικής λύσης Α μπορεί να είναι υψηλότερο ή χαμηλότερο επειδή η αβεβαιότητα για το "X" στοιχείο είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προτείνεται στους στόχους και σκοπούς της μελέτης).

Έλεγχος συνέπειας / συνοχής – ο έλεγχος συνέπειας / συνοχής καθορίζει εάν οι υποθέσεις, οι μέθοδοι και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας της ΑΚΖ είναι σύμφωνα με τους στόχους, τους σκοπούς και το πεδίο της μελέτης και με κάθε προϊόν / διεργασία που αξιολογείται. Η εξακρίβωση και η τεκμηρίωση στα συμπεράσματα ότι η μελέτη ολοκληρώθηκε όπως θα έπρεπε, αυξάνουν την εμπιστοσύνη στα τελικά αποτελέσματα. Πρέπει να αναπτυχθεί μια επίσημη λίστα ελέγχου για να παρουσιάσει τα αποτελέσματα του ελέγχου συνέπειας / συνοχής. Ο πίνακας 2.13 παρουσιάζει παραδείγματα τύπων πληροφοριών που περιλαμβάνονται στη λίστα ελέγχου. Οι στόχοι και το πεδίο της ΑΚΖ καθορίζουν ποιες κατηγορίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

Ανάλογα με τους στόχους και το πεδίο της ΑΚΖ, κάποια ασυνέπεια μπορεί να είναι αποδεκτή. Εάν βρεθεί οποιαδήποτε ασυνέπεια, πρέπει να τεκμηριωθεί ο ρόλος που διαδραμάτισε στη συνολική αξιολόγηση συνέπειας.

Μετά την ολοκλήρωση των βημάτων 1 και 2, έχει καθοριστεί ότι τα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ και των βασικών δεδομένων του ΚΑΚΖ είναι πλήρη, συγκρίσιμα και αποδεκτά για να εξαχθούν συμπεράσματα και να υποβληθούν προτάσεις. Εάν αυτό δεν ισχύει, τα βήματα 1 και 2 πρέπει να επαναληφθούν μέχρι τα αποτελέσματα να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τους αρχικούς στόχους της ΑΚΖ.

Βήμα 3: Εξαγωγή συμπερασμάτων και εισηγήσεων

Ο στόχος αυτού του βήματος είναι να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα της ΑΕΚΖ (όχι του ΚΑΚΖ) για να καθοριστεί ποιο προϊόν / διεργασία έχει τις συνολικά λιγότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον ή / και σε μια ή περισσότερες συγκεκριμένες περιοχές ανησυχίας όπως καθορίζονται από το στόχο και το πεδίο της μελέτης.

Ανάλογα με το πεδίο της ΑΚΖ, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων θα δημιουργήσουν είτε μια λίστα μη-κανονικοποιημένων και μη-αξιολογημένων δεικτών επιπτώσεων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων για τις εναλλακτικές λύσεις ή θα δώσουν ομαδοποιημένα, κανονικοποιημένα και αξιολογημένα αποτελέσματα για κάθε εναλλακτική λύση.

Στην τελευταία περίπτωση, η πρόταση μπορεί απλά να είναι η αποδοχή του προϊόντος / διεργασίας με τη χαμηλότερη τιμή (επιπτώσεων). Εντούτοις, δεν πρέπει να ξεχνιούνται οι βασικές υποθέσεις που έγιναν στην ανάλυση.

Εάν μια ΑΕΚΖ σταματά στο στάδιο του χαρακτηρισμού, η ερμηνεία της ΑΕΚΖ είναι λιγότερο διαφανής. Τα συμπεράσματα και οι προτάσεις στηρίζονται στην εξισορρόπηση των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της μελέτης και τις το τι ενδιαφέρει τα συμβαλλόμενα μέρη.

Πίνακας 2.13: Παραδείγματα κατηγοριών και πιθανών ασυνεπειών της λίστας ελέγχου

Κατηγορία	Παραδείγματα ασυνεπειών
Πηγή δεδομένων	Η εναλλακτική λύση Α βασίζεται στη βιβλιογραφία και η εναλλακτική λύση Β σε δεδομένα από μετρήσεις
Ακρίβεια δεδομένων	Για την εναλλακτική λύση Α χρησιμοποιείται ένα διάγραμμα ροής για την ανάπτυξη των δεδομένων του ΚΑΚΖ. Για την εναλλακτική λύση Β υπήρχαν περιορισμένες διαθέσιμες πληροφορίες και τα δεδομένα του ΚΑΚΖ που αναπτύχθηκαν αφορούσαν μια διεργασία που δεν περιγράφηκε ή αναλύθηκε με λεπτομέρεια.
Ηλικία δεδομένων	Για την εναλλακτική λύση Α χρησιμοποιούνται κατασκευαστικά δεδομένα για πρώτες ύλες της δεκαετίας του 1980. Για την εναλλακτική λύση Β χρησιμοποιείται μια μελέτη που έγινε πριν από ένα χρόνο.
Τεχνολογική αντιπροσώπευση	Η εναλλακτική λύση Α είναι ένα μοντέλο εργαστηρίου μικρής κλίμακας. Η εναλλακτική λύση Β είναι μια λειτουργία εργοστασίου παραγωγής πλήρους κλίμακας.
Χρονική αντιπροσώπευση	Τα δεδομένα για την εναλλακτική λύση Α αφορούσαν μια πρόσφατα αναπτυγμένη τεχνολογία. Η εναλλακτική λύση Β περιγράφει ένα μίγμα τεχνολογιών που περιλαμβάνει πρόσφατα κατασκευασμένα και παλιά εργοστάσια.
Γεωγραφική αντιπροσώπευση	Τα δεδομένα της εναλλακτικής λύσης Α προέρχονται από μια τεχνολογία που υιοθετήθηκε κάτω από Ευρωπαϊκά περιβαλλοντικά πρότυπα. Η εναλλακτική λύση Β χρησιμοποιεί δεδομένα από μια τεχνολογία που υιοθετήθηκε κάτω από Αμερικανικά περιβαλλοντικά όρια.
Όρια συστήματος, υποθέσεις και μοντέλα	Η εναλλακτική λύση Α χρησιμοποιεί ένα μοντέλο Global Warming Potential (αύξηση παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου θερμοκηπίου) βασισμένο σε ένα δυναμικό 500 ετών. Η εναλλακτική λύση Β χρησιμοποιεί ένα μοντέλο Global Warming Potential βασισμένο σε ένα δυναμικό 100 ετών.

Πρέπει να σημειωθούν μερικά αξιοπρόσεκτα σημεία. Είναι σημαντικό να εξαχθούν συμπεράσματα και να γίνουν προτάσεις βασισμένα μόνο σε γεγονότα. Η κατανόηση και η

παρουσίαση των αβεβαιοτήτων και των περιορισμών στα αποτελέσματα είναι εξίσου τόσο σημαντικές όσο οι τελικές προτάσεις. Μερικές φορές μπορεί να μην είναι σαφές ποιο προϊόν ή διεργασία είναι καλύτερα λόγω των βασικών αβεβαιοτήτων και περιορισμών στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να διεξαχθεί μια ΑΚΖ ή λόγω της διαθεσιμότητας καλών δεδομένων, χρόνου ή πόρων. Έστω και κάτω από αυτές τις συνθήκες τα αποτελέσματα της ΑΚΖ ακόμα είναι πολύτιμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην ενημέρωση αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία και τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, στην κατανόηση των σημαντικών επιπτώσεων, που εμφανίζονται (τοπικά, περιφερειακά, παγκόσμια) και το σχετικό μέγεθος κάθε τύπου επιπτώσεων σε σχέση με κάθε μια από τις προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις που περιλαμβάνονται στη μελέτη.

Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Με την ολοκλήρωση της ΑΚΖ, όλο το υλικό πρέπει να συγκεντρωθεί σε μια λεπτομερή έκθεση τεκμηριώνοντας τη μελέτη κατά τρόπο σαφή και οργανωμένο. Αυτό θα βοηθήσει να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αμερόληπτα, ολοκληρωμένα και με ακρίβεια στους ενδιαφερόμενους. Η έκθεση πρέπει παρουσιάζει τα αποτελέσματα, τα δεδομένα, τις μεθόδους, τις υποθέσεις και τους περιορισμούς με ικανοποιητική λεπτομέρεια για να επιτρέψει στον αναγνώστη να κατανοήσει την πολυπλοκότητα και τις ανταλλαγές στη μελέτη ΑΚΖ.

Εάν τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε κάποιον που δεν συμμετείχε στη μελέτη ΑΚΖ, δηλ., κάποιος τρίτος, συμβαλλόμενα μέρη, αυτή η έκθεση θα χρησιμεύσει ως ένα έγγραφο αναφοράς και πρέπει να τους παρασχεθεί για να βοηθήσει στην αποφυγή οποιασδήποτε διαστρέβλωσης και παρερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Το έγγραφο αναφοράς πρέπει να αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία (ISO 1997):

1. Διοικητικού χαρακτήρα πληροφορίες
 - a. Όνομα και διεύθυνση του επαγγελματία της ΑΚΖ (που πραγματοποίησε τη μελέτη ΑΚΖ)
 - b. Ημερομηνία της έκθεσης
 - c. Άλλα στοιχεία επαφής ή πληροφορίες έκδοσης
2. Καθορισμός των στόχων και σκοπών
3. Ανάλυση καταλόγου απογραφής κύκλου ζωής (διαδικασίες συλλογής δεδομένων και υπολογισμού)
4. Αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (μεθοδολογία και αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων που εκτελέστηκε)
5. Ερμηνεία κύκλου ζωής
 - a. Αποτελέσματα
 - b. Υποθέσεις και περιορισμοί
 - c. Ποιοτική αξιολόγηση δεδομένων
6. Κριτική αναθεώρηση (εσωτερική και εξωτερική)
 - a. Όνομα και οργανισμός των κριτικών
 - b. Εκθέσεις κριτικής αναθεώρησης
 - c. Απαντήσεις στις προτάσεις

2.4.1 Εκτίμηση βελτιώσεων

Ο SETAC ορίζει την εκτίμηση βελτιώσεων ως εξής: “Η εκτίμηση βελτιώσεων αποτελεί μια συστηματική αξιολόγηση των αναγκών και δυνατοτήτων για την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ’ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων, διεργασιών και υπηρεσιών. Η ανάλυση αυτή είναι δυνατό να περιέχει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά μέτρα βελτίωσης, όπως αλλαγές στο προϊόν, στη διεργασία και τον σχεδιασμό, στη χρήση των πρώτων υλών, στη χρήση από τον καταναλωτή και στη διαχείριση των απορριμμάτων”.

Η αναλυτική απογραφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να “αποκαλύψει” σημεία που επιδέχονται βελτίωση. Είσοδοι και έξοδοι βελτιωμένης αποδοτικότητας (όπως μικρότερες απαιτήσεις ενέργειας ή αύξηση της παραγωγής) καθώς και έξοδοι που λαμβάνουν υπόψη τους περιβαλλοντικά κριτήρια (όπως περιορισμένη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και λιγότερες εκπομπές) μπορούν να προσφέρουν δυνατότητες που λαμβάνουν υπόψη τους την περιβαλλοντική βελτίωση ανά λειτουργική μονάδα.

Σύμφωνα με την τεχνική επιτροπή του BSI (British Standards Institution) πάνω στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής, η εκτίμηση βελτιώσεων δεν αποτελεί μέρος της μεθοδολογίας που μπορεί να τυποποιηθεί, καθόσον κάθε μία και όλες μαζί οι εφαρμογές της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Με αυτή την υπόθεση, δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες που μπορούν να εφαρμοσθούν εδώ. Κοινό τόπο αποτελεί η αρχή “ό,τι μπορεί να μετρηθεί, μπορεί να διαχειριστεί” αλλά και να βελτιωθεί. Πρέπει, συνεπώς, κάποιος που θα διεξάγει μια μελέτη να είναι πολύ προσεχτικός αλλιώς θα αποπροσανατολιζείται συνεχώς από τον στόχο του, με αυξημένο τον κίνδυνο να καταλήξει σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Σύμφωνα με τον Jeroen B. Guine'e (CML) σ' αυτήν τη διαδικασία διακρίνονται τα εξής επιμέρους στάδια:

Έλεγχος συνοχής

Ο σκοπός εδώ είναι να καθοριστεί εάν οι υποθέσεις, οι μέθοδοι, τα μοντέλα και τα δεδομένα είναι σύμφωνα με τον σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης.

Έλεγχος πληρότητας

Ένας τρόπος για τη διάκριση ημιτελών ή ακόμη και λανθασμένων δεδομένων είναι να υπάρχει ειδική και εμπειρική εξέταση των αποτελεσμάτων μιας Α.Κ.Ζ. και του τρόπου με τον οποίο δημιουργήθηκαν τα αποτελέσματα. Ένας ειδικός στην Α.Κ.Ζ. μπορεί να εξετάσει τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στις διάφορες φάσεις κάποιας ανάλυσης, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της, αλλά όλα αυτά σε σχέση με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης. Εκτός από τους ειδικούς της Α.Κ.Ζ., τεχνικοί ειδικοί μπορούν επίσης να εξετάσουν τις διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα συστήματα και τα ποσοτικοποιημένα δεδομένα.

Ανάλυση συνεισφοράς

Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να αποδείξει τη συνεισφορά όλων των διάφορων αναγνωρισμένων στοιχείων και παραμέτρων στη συνολική Α.Κ.Ζ. Χρησιμοποιείται δηλαδή για την ανάλυση ευαισθησίας των μεταβλητών ροών κ.λ.π. έχοντας σπουδαία επιρροή στα αποτελέσματα της Α.Κ.Ζ. Ροές οι οποίες έχουν υπερεκτιμηθεί ή περιφρονηθεί εντελώς για παράδειγμα, μπορούν αρχικά να φανούν ότι συνεισφέρουν λίγο ή καθόλου στα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης.

Ανάλυση διαταραχής

Σε αυτή την ανάλυση μελετώνται οι επιδράσεις των μικρών αλλαγών των παραμέτρων που περιγράφουν το σύστημα στα συνολικά αποτελέσματα μιας Α.Κ.Ζ. Οι επιδράσεις αυτών των μικρών αλλαγών υπολογίζονται ταυτόχρονα για όλες τις ροές ενός συστήματος (οικονομικές, περιβαλλοντικές κ.λ.π.). Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης είναι κανονικά μια λίστα από διεργασίες και ροές με σχετικούς συντελεστές σε φθίνουσα σειρά σπουδαιότητας για ένα συγκεκριμένο τύπο αποτελέσματος. Αν και οι μαθηματικοί υπολογισμοί μπορεί να είναι σχετικά περίπλοκοι, αυτή η ανάλυση είναι σχετικά εύκολο να εκτελεσθεί εάν χρησιμοποιηθεί ένα κατάλληλο μητρώο μιας υπολογιστικής μεθόδου.

Ανάλυση ευαισθησίας και αβεβαιότητας

Εάν η Α.Κ.Ζ. πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο- λήψης αποφάσεων, η ευρωστία των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι σαφής. Αυτό το στάδιο της εκτίμηση βελτιώσεων υπολογίζει την επιρροή των αποτελεσμάτων από διαφορές στα δεδομένα, στις επιλογές των μοντέλων και σε άλλες μεταβλητές. Στην ανάλυση ευαισθησίας αυτές οι αλλαγές εισάγονται εσκεμμένα ώστε να αποδείξουν την ευρωστία των αποτελεσμάτων σε σχέση με αυτές τις μεταβλητές. Στην ανάλυση αβεβαιότητας χρησιμοποιούνται εμπειρικά δεδομένα σε εκείνα τα δεδομένα όπου υπάρχει αβεβαιότητα ώστε να υπολογίζουν τη συνολική απόκλιση λάθους των

αποτελεσμάτων. Η εκτίμηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων στηρίζεται στην εγκυρότητα και αξιοπιστία αυτών.

Συμπεράσματα και υποδείξεις

Σε αυτό το τελευταίο βήμα της εκτίμησης βελτιώσεων εξάγονται τα συμπεράσματα και γίνονται οι κατάλληλες υποδείξεις σύμφωνα με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν σε προηγούμενες φάσεις της Α.Κ.Ζ. σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα αυτών των φάσεων.

Γενικά τα συμπεράσματα κάθε μελέτης πρέπει να περιλαμβάνουν τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης και μια εκτεταμένη συζήτηση γύρω από την εγκυρότητα και την αξιοπιστία αυτών των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση της Α.Κ.Ζ. πρέπει να περιλαμβάνονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- μια περίληψη των πιο σημαντικών θεμάτων
- μια εκτίμηση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων βάσει του ελέγχου συνοχής, πληρότητας και της ανάλυσης ευαισθησίας και αβεβαιότητας
- τα κύρια συμπεράσματα όπως αυτά προκύπτουν σύμφωνα με το σκοπό και το αντικείμενο της μελέτης, συμπεριλαμβάνοντας την ποιότητα των δεδομένων, τις προκαθορισμένες υποθέσεις και τις απαιτήσεις των επιδιωκόμενων χρηστών της Α.Κ.Ζ.
- μελέτη για αναγνώριση δυνατοτήτων για περιβαλλοντικές βελτιώσεις

2.4.2. Μέθοδος εκτίμησης βελτιώσεων-Το αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5

Μια εκτίμηση βελτιώσεων ενός προϊόντος μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του αριθμητικού μητρώου εκτίμησης 5x5. Η διαδικασία εκτίμησης με τη βοήθεια του μητρώου 5x5, αποτελεί μια “ημιποιοτική” μεθοδολογία της ΑΚΖ, σε αντίθεση με άλλες οι οποίες προσπαθούν να είναι ποσοτικές και ταυτόχρονα επιλεκτικές.

Το μητρώο σχεδιάζεται έτσι ώστε στον οριζόντιο άξονα να περιλαμβάνονται οι πέντε βασικοί τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και στον κατακόρυφο τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής (βλέπε Πίνακα 2.14). Κάθε στοιχείο του πίνακα βαθμολογείται με έναν ακέραιο αριθμό, από το 0 (υψηλότερη επίδραση, πολύ αρνητική αξιολόγηση) μέχρι το 4 (χαμηλότερη επίδραση, πολύ θετική αξιολόγηση), αφού προηγηθεί εξέταση του προϊόντος ως προς το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συσκευασία, τη χρήση και το πιθανό σενάριο τελικής διάθεσής του. Στην ουσία, τοποθετείται ένας βαθμός αξιολόγησης (0-4) σε κάθε στοιχείο, ο οποίος παριστάνει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα στάδια της αναλυτικής απογραφής δεδομένων και της εκτίμησης των επιπτώσεων κατά την ΑΚΖ. Η αξιολόγηση γίνεται εμπειρικά και στηρίζεται σε σχεδιαστικές και κατασκευαστικές μελέτες, ή άλλες πληροφορίες.

Πίνακας 2.14: Το αριθμητικό μητρώο εκτίμησης 5x5

Στάδια κύκλου ζωής	Τομείς περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος				
	Επιλογή υλικών	Χρήση ενέργειας	Στερεά απορρίμματα	Υγρά απόβλητα	Αέριες εκπομπές
Απόκτηση πρώτων υλών/ Προκατασκευή	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
Κατασκευή	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
Μεταφορά/ Συσκευασία	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
Χρήση	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
Ανακύκλωση/ Τελική διάθεση	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

Αφού γίνει η αξιολόγηση (βαθμολόγηση) για κάθε στοιχείο του αριθμητικού μητρώου, ο συνολικός βαθμός περιβαλλοντικής “υπευθυνότητας” του προϊόντος (R_{ERPT}) υπολογίζεται ως το άθροισμα των βαθμών του συνόλου του αριθμητικού μητρώου

Όπου M_{ij} : βαθμός αριθμητικού μητρώου (i,j).

Ο $M_{ij} \in \{0,1,2,3,4\}$ και τα $ij \in \{1,2,3,4,5\}$. Εφόσον υπάρχουν 25 στοιχεία, το περιβαλλοντικώς “ιδανικό” προϊόν έχει βαθμό 100.

Χρήση συντελεστών βαρύτητας

Η απλή τοποθέτηση ενός M_{ij} από το 0 έως το 4 για κάθε (ij) του αριθμητικού μητρώου οδηγεί έμμεσα στο συμπέρασμα ότι όλα τα στοιχεία έχουν την ίδια βαρύτητα. Μία επιλογή, η οποία αυξάνει ελαφρά την πολυπλοκότητα της εκτίμησης (ίσως όμως να αυξάνει και τη χρησιμότητά της), είναι η χρησιμοποίηση λεπτομερών πληροφοριών για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ώστε να τοποθετηθούν συντελεστές βαρύτητας στα στοιχεία του αριθμητικού μητρώου. Για παράδειγμα ένα συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να προκαλεί τις περισσότερες από τις επιδράσεις του κατά το στάδιο της χρήσης του και λίγες κατά την εξόρυξη των πρώτων υλών, οπότε το στάδιο της χρήσης θα ληφθεί υπόψη σε μεγαλύτερο βαθμό (με τοποθέτηση υψηλότερου συντελεστή βαρύτητας) απ’ ότι πριν και το στάδιο της εξόρυξης των πρώτων υλών θα ληφθεί υπόψη, αντίστοιχα, σε μικρότερο βαθμό. Όμοια μία απόφαση ότι το “φαινόμενο του θερμοκηπίου” αποτελεί μεγαλύτερο κίνδυνο από τα υγρά απόβλητα, θα υπαγόρευε μία αυξημένη βαρύτητα της στήλης της χρήσεως ενέργειας και μία αντίστοιχα μειωμένη βαρύτητα της στήλης των υγρών αποβλήτων.

Αξιολόγηση των αριθμητικών στοιχείων του μητρώου

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα δείγμα από ερωτήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφωθούν οι λίστες ελέγχου κάθε ενός στοιχείου του αριθμητικού μητρώου εκτίμησης. Είναι αυτονόητο ότι οι λίστες ελέγχου και αξιολόγησης διαφέρουν από προϊόν σε προϊόν, και η παρακάτω διαμόρφωσή τους αποτελεί απλώς ένα παράδειγμα, καθώς αυτές θα πρέπει να προσαρμόζονται κάθε φορά στα χαρακτηριστικά του υπό εξέταση προϊόντος.

Στοιχείο Αριθμητικού Μητρώου Βελτίωσης Προϊόντος: 1,1

Στάδιο: Εξόρυξη Πρώτων Υλών/ Προκατασκευή

Τομέας Περιβαλλοντικού Ενδιαφέροντος: Επιλογή Υλικών

- Είναι όλα τα υλικά τα λιγότερο τοξικά και τα περιβαλλοντικώς προτιμότερα;
- Είναι το προϊόν σχεδιασμένο, ώστε να ελαχιστοποιεί τη χρήση υλικών που υπάρχουν σε περιορισμένα αποθέματα;
- Είναι το προϊόν σχεδιασμένο, ώστε να χρησιμοποιεί ανακυκλωμένα υλικά όπου αυτό είναι εφικτό;

Στοιχείο Αριθμητικού Μητρώου Βελτίωσης Προϊόντος: 1,2

Στάδιο: Εξόρυξη Πρώτων Υλών/ Προκατασκευή

Τομέας Περιβαλλοντικού Ενδιαφέροντος: Χρήση ενέργειας

- Είναι το προϊόν σχεδιασμένο, ώστε να ελαχιστοποιεί τη χρήση υλικών των οποίων η εξόρυξη είναι ενεργειακά δαπανηρή;
- Αποφεύγει ο σχεδιασμός του προϊόντος τη χρήση υλικών των οποίων η μεταφορά στη μονάδα απαιτεί σημαντική χρήση ενέργειας;
- Αποφεύγει ο σχεδιασμός του προϊόντος την παραγωγή αποβλήτων, των οποίων η ανακύκλωση είναι ενεργειακά δαπανηρή;

Συμπέρασμα

Η προσθήκη της ανάλυσης κύκλου ζωής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων παρέχει μια κατανόηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον που δεν εξετάζονται παραδοσιακά κατά την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας. Αυτές οι πολύτιμες πληροφορίες παρέχουν έναν τρόπο υπολογισμού όλων των επιπτώσεων που έχουν οι αποφάσεις, ειδικά, εκείνες που εμφανίζονται εξωτερικά της περιοχής / τομέα που επηρεάζεται άμεσα από την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας.

Η AKZ αποτελεί ένα εργαλείο που ενημερώνει καλύτερα αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις και πρέπει να χρησιμοποιείται με άλλα κριτήρια αποφάσεων, όπως το κόστος και η απόδοση για να ληφθεί μια ισορροπημένη απόφαση.

2.4.3. AKZ και οικολογικό σήμα

Το 1992 το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων θέσπισε τον κανονισμό ΕΟΚ 880/92 με τον οποίο καθιερώθηκε το κοινοτικό σύστημα απονομής οικολογικού σήματος που είχε σαν σκοπό:

- την προώθηση προϊόντων με μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους και
- την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προϊόντων.

Με βάση τον κανονισμό αυτό, η απονομή οικολογικού σήματος γίνεται σε προϊόντα, τα οποία ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα περιβαλλοντικά κριτήρια που έχουν καθοριστεί για τις αντίστοιχες κατηγορίες προϊόντων. Τα κριτήρια πρέπει να καθορίζονται για κάθε κατηγορία προϊόντων, βάσει μιας διαδικασίας που θεσμοθετήθηκε από τον κανονισμό. Πρέπει να θέτονται αφού διεξαχθεί μια μελέτη “από την κούνια έως τον τάφο”, δηλαδή από την αρχή της δημιουργίας του προϊόντος έως το τέλος της ζωής του, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σχετικά περιβαλλοντικά θέματα που συνδέονται με τα διάφορα στάδια της ζωής του. Όλα τα ανταγωνιστικά προϊόντα τα οποία εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό και έχουν ισότιμη χρήση πρέπει να περιλαμβάνονται στην ίδια κατηγορία.

Αυτή η αντιμετώπιση απαιτεί τη χρήση μιας κατάλληλης μεθοδολογίας ικανής να συγκρίνει, με έναν συστηματικό και επιστημονικά αποδεκτό τρόπο, τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφορετικών προϊόντων τα οποία ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Προϋποθέτει συνεπώς την διεξαγωγή μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής των προϊόντων. Η ΑΚΖ, ενταγμένη μέσα στο πλαίσιο του κοινοτικού συστήματος απονομής οικολογικού σήματος, χρησιμοποιείται ως μεθοδολογικό εργαλείο για την τεχνολογική προεργασία, παρέχοντας μια επιστημονική και ξεκάθαρη βάση για τον καθορισμό των οικολογικών κριτηρίων. Ο ρόλος της υπαγορεύεται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- τη σύγκριση προϊόντων με βάση την λειτουργία τους,
- τη συσχέτιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλα τα στάδια ζωής του προϊόντος με τις αλλαγές που επιβάλλονται από την αγορά και τις τεχνολογικές βελτιώσεις και
- την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων δεδομένων, όταν εξετάζεται μια αίτηση απονομής οικολογικού σήματος, μέσω της θέσπισης οικολογικών κριτηρίων.

Η ΑΚΖ επικεντρώνεται κυρίως σε ποσοτικοποιημένες πληροφορίες. Στην περίπτωση που κάποια περιβαλλοντικά φορτία δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, στην τελική λήψη αποφάσεων πρέπει να ληφθούν υπόψη και ποιοτικά κριτήρια.

Παρόλα αυτά, πρέπει να τονιστεί ότι η ΑΚΖ είναι ένα εργαλείο στήριξης αποφάσεων, το οποίο δεν μπορεί να αντικαταστήσει το ίδιο το σύστημα λήψης αποφάσεων. Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ της διαδικασίας για τη θέσπιση οικολογικών κριτηρίων (η οποία βρίσκεται υπό την αιγίδα της Ε.Ε.), και της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που γίνεται υπό την ευθύνη των αναλυτών. Ο διαχωρισμός αυτός αλλά και η σχέση μεταξύ οικολογικού σήματος και ΑΚΖ διευκρινίζονται μέσα από τις έξι φάσεις, όπως παρουσιάζονται στον πιν. 2.15, βασισμένες στις οδηγίες που διατυπώνονται στο έγγραφο της Ε.Ε. με τον τίτλο “Διαδικαστικές οδηγίες για τον προσδιορισμό κατηγοριών προϊόντων και οικολογικών κριτηρίων”.

2.4.4. ΑΚΖ και οικολογικός σχεδιασμός (Eco-Design/ Ecomaterials)

Οικολογικός σχεδιασμός

Η διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που προκαλούν τα προϊόντα και οι παραγωγικές διαδικασίες, περιλαμβάνει διάφορα στάδια. Μια αποτελεσματική παρέμβαση είναι δυνατόν να γίνει από την αρχική φάση του σχεδιασμού του προϊόντος ή της παραγωγικής διαδικασίας. Για την κατασκευή ενός προϊόντος ή την ανάπτυξη μιας παραγωγικής διαδικασίας

χρησιμοποιούνται ορισμένα τεχνικά δεδομένα. Με βάση τα δεδομένα αυτά είναι δυνατόν να εφαρμοστεί η μέθοδος της ΑΚΖ από την αρχή του σχεδιασμού.

Στη φάση του σχεδιασμού του προϊόντος θα ληφθούν υπόψη κάποιοι περιβαλλοντικοί παράμετροι. Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί αυτό, η μεθοδολογία της ΑΚΖ πρέπει να τροποποιηθεί και να απλοποιηθεί. Μια διαδικασία τροποποίησης παίρνει τη μορφή “επιλεκτικής” ΑΚΖ, με στόχο την αποτελεσματικότερη εφαρμογή της μεθοδολογίας για την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Για το σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί το εργαλείο EuroMat.

Αυτό το εργαλείο οικολογικού σχεδιασμού συγκρίνει και κατατάσσει διάφορα υλικά (μέταλλα, πολυμερή, σύνθετα κλπ) ως προς την επίδραση που έχουν στο περιβάλλον. Το εργαλείο παίζει σημαντικό ρόλο στη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα ενός προϊόντος. Έως τώρα οι περισσότεροι σχεδιαστές νέων προϊόντων λάμβαναν υπόψη μόνο τα κλασικά κριτήρια επιλογής ενός υλικού (όπως αντοχή, πυκνότητα κλπ) χωρίς τον παράγοντα περιβάλλον.

Πίνακας 2.15. Φάσεις κατά τον προσδιορισμό οικολογικών κριτηρίων

Φάσεις για την απονομή Οικολογικού Σήματος		Στάδια της ΑΚΖ κατά την απονομή Οικολογικού Σήματος
1 ^η Φάση	Προκαταρκτική μελέτη (περιλαμβάνεται η επιλογή της ομάδας προϊόντων)	-
2 ^η Φάση	Μελέτη αγοράς	-
3 ^η Φάση	Απογραφή δεδομένων	Προσδιορισμός στόχου και σκοπού για την απονομή σήματος και αναλυτική απογραφή Δεδομένων
4 ^η Φάση	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	Εκτίμηση επιπτώσεων Προτάσεις για τη θέσπιση κριτηρίων
5 ^η Φάση	Καθορισμός κριτηρίων	-
6 ^η Φάση	Παρουσίαση αρχικής πρότασης στην Ε.Ε για τη λήψη απόφασης	-

Ο παράγοντας περιβάλλον εισέρχεται πλέον δυναμικά και στο στάδιο έρευνας, ανάπτυξης και σχεδιασμού ενός προϊόντος ή μιας παραγωγικής διαδικασίας. Το EuroMat σαν σχεδιαστικό εργαλείο περιλαμβάνει 5 κριτήρια επιλογής.

Το εργαλείο οικολογικού σχεδιασμού βασικά εντοπίζει τα φιλικά προς το περιβάλλον και ανακυκλώσιμα υλικά, εξετάζοντας τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις στα αρχικά στάδια σχεδιασμού του προϊόντος. Ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

1. Περιλαμβάνονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί υλικών συμπεριλαμβανομένων και αυτών που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε αντίστοιχες εφαρμογές ή βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης. Όλα αυτά αποτελούν δεδομένα που πρέπει να αξιολογηθούν.
2. Συντάσσεται ένας πίνακας με τα κριτήρια επιλογής υλικών τα οποία είναι:
 - α. τεχνικά αποδεκτά
 - β. περιβαλλοντικά αποδεκτά
 - γ. ανταγωνιστικά
3. Χρησιμοποιείται μια διαδικασία “επαναπροσέγγισης”. Αυτή περιλαμβάνει: ιεράρχηση των υλικών (top-down step by step approach) και επανεξέταση της διαδικασίας επιλογής των ιεραρχημένων υλικών, λαμβάνοντας υπόψη και ποιοτικά κριτήρια. Στα διάφορα στάδια αυτής της διαδικασίας προσέγγισης, εισάγονται διάφοροι δείκτες επιλογής π.χ. κατανάλωση ενέργειας.

Οικολογικά υλικά

Τα τελευταία χρόνια η επιστήμη της τεχνολογίας των υλικών έχει στραφεί στο σχεδιασμό οικολογικών υλικών, τα οποία είναι υλικά με μεγαλύτερη ανακυκλωσιμότητα (δυνατότητα ανακύκλωσης) και χαμηλότερο περιβαλλοντικό φορτίο. Το θέμα των οικολογικών υλικών προέκυψε στις αρχές της δεκαετίας του '90 στην Ιαπωνία μέσα από συζητήσεις πάνω στην ανάπτυξη τέτοιων υλικών, που θα διευκόλυναν τη ζωή των ανθρώπων και τις δραστηριότητές τους και θα είχαν φιλική συμπεριφορά προς το περιβάλλον. Αυτή η θεώρηση προσδιόρισε έτσι τρεις βασικές κατευθύνσεις για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό των οικολογικών υλικών. Οι τρεις αυτές κατευθύνσεις απεικονίζονται στο σχήμα 1.3 και περιγράφονται ως εξής:

1. Επέκταση των ανθρώπινων συνόρων: για την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων της ανθρωπότητας.
2. Συνύπαρξη με το οικοσύστημα: για την ελαχιστοποίηση της βλαβερής επίδρασης στο περιβάλλον.
3. Βελτιστοποίηση της χρησιμότητάς τους: για τη δημιουργία μιας υγιούς ζωής σε αρμονία με τη φύση.

Η ΑΚΖ των υλικών αναπτύχθηκε για να αποτιμήσει τα οικολογικά υλικά χρησιμοποιώντας τις βασικές αρχές και την μεθοδολογία της ΑΚΖ, αλλά παράλληλα λαμβάνοντας υπόψη και τις εξής ακόλουθες διαφορές των υλικών από τα προϊόντα:

1. Ο κύκλος ζωής των υλικών διαφέρει από αυτόν των προϊόντων. Τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές μέσω της επαναχρησιμοποίησής τους λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό κύκλο ζωής τους.
2. Ένα υλικό έχει ευρεία χρήση. Το στάδιο χρήσης του υλικού έχει πολλές διαφοροποιήσεις ενώ του προϊόντος είναι πολύ πιο συγκεκριμένο.
3. Οι ιδιότητες των υλικών εξαρτώνται από τη σύσταση και την μικροδομή τους. Αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να εξετάζονται λεπτομερώς για τον εντοπισμό των δυνατοτήτων βελτίωσης της σχεδίασης των υλικών.

Αντικείμενο – Έκταση της μελέτης οικολογικού σχεδιασμού

Η έκταση καλύπτει τα υλικά και την επεξεργασία τους με έμφαση στους ακόλουθους στόχους:

- Ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων και των εκπομπών
- Διατήρηση των ανόργανων υλικών και των ενεργειακών πηγών
- Εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Αντικατάσταση των επικίνδυνων και τοξικών ουσιών
- Επιβίωση των βιο-ποικιλιών
- Προώθηση της ανθρώπινης υγείας και ποιότητας
- Αξιολόγηση του κύκλου ζωής

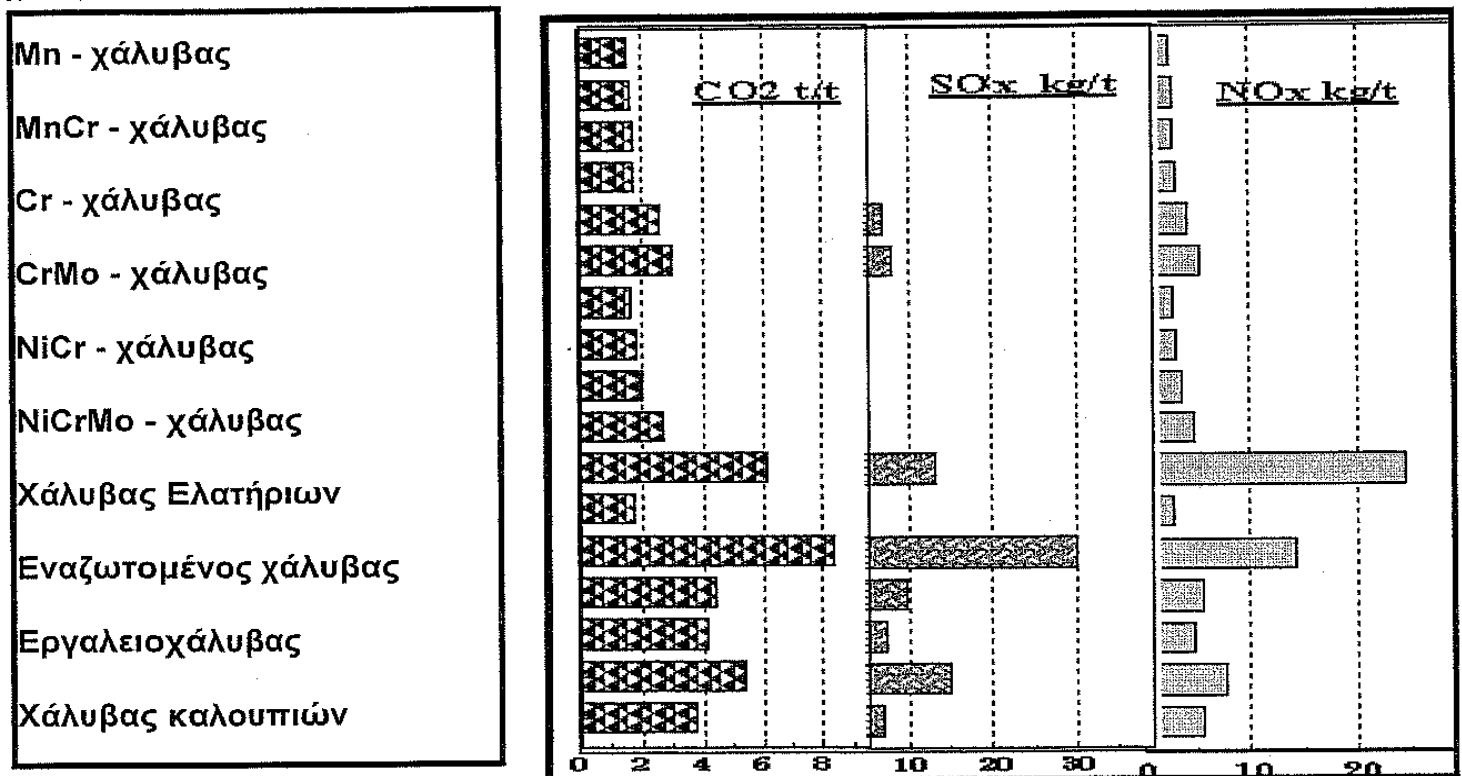
- Σχεδιασμό προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον

Η ιδέα για το οικολογικό ισοζύγιο είναι στενά συνδεδεμένη με τα οικολογικά υλικά, μιας και αυτά τροφοδοτούν το οικολογικό ισοζύγιο, και περιλαμβάνει σημαντικούς παραγωγικούς τομείς όπως:

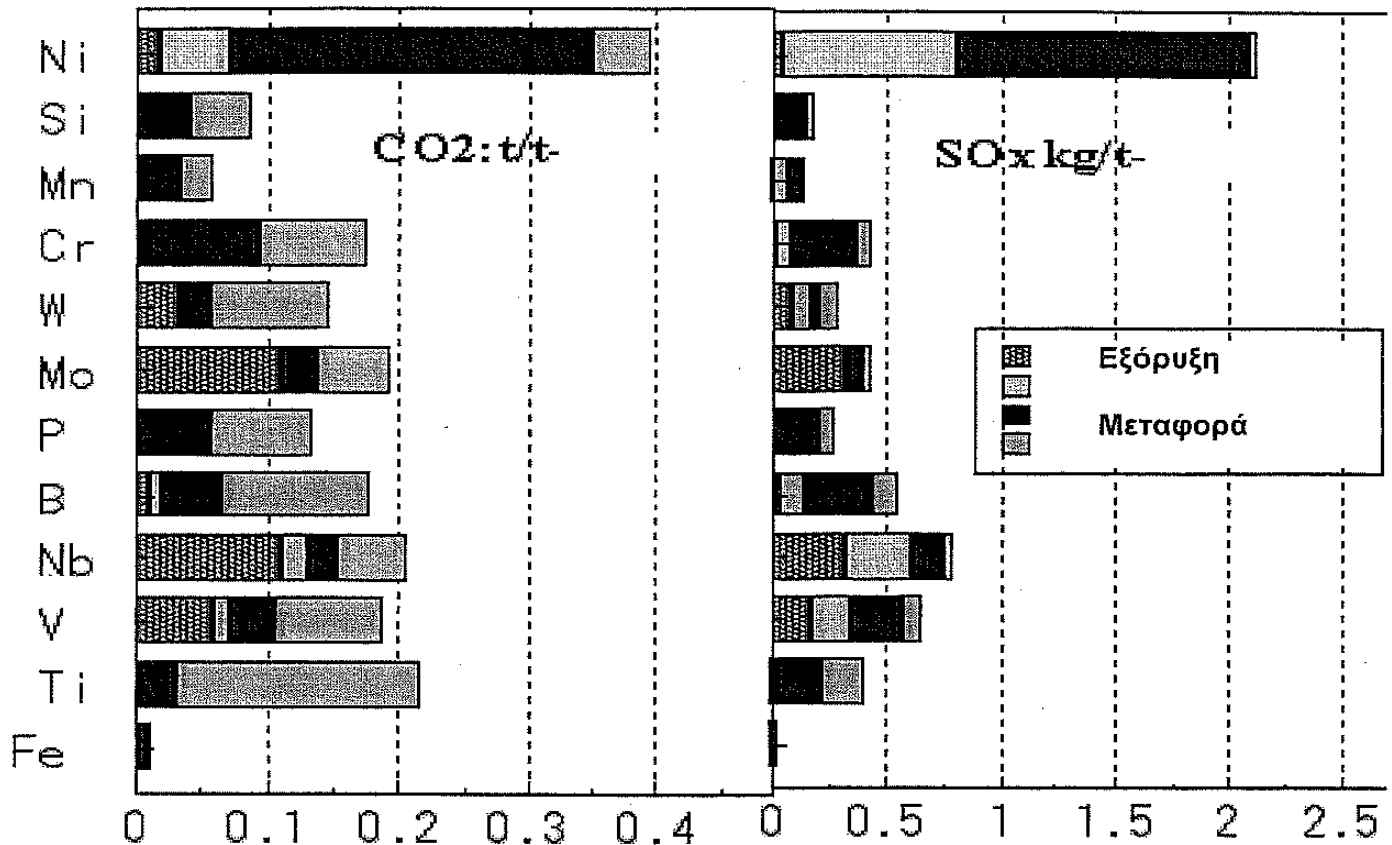
- Εφαρμογή της ΑΚΖ σε προϊόντα: αυτοκίνητα, ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τρόφιμα, γεωργικά προϊόντα κλπ.
- Εφαρμογή της ΑΚΖ σε υλικά: μέταλλα, χημικά, δασικά προϊόντα, κεραμικά κλπ.
- Εφαρμογή της ΑΚΖ σε συστήματα διαχείρισης: ενεργειακά συστήματα, συστήματα μεταφοράς, διαχείριση αποβλήτων κλπ.
- Περιβαλλοντική τυποποίηση προϊόντων.
- Δημιουργία βάσεων δεδομένων και λογισμικών προγραμμάτων.
- Λογισμικά προγράμματα της ΑΚΖ, βάσεις δεδομένων, στοιχεία ποιότητας, διεθνή δίκτυα.
- Ανάπτυξη μεθοδολογιών αξιολόγησης συστημάτων.

Βάσεις δεδομένων για οικολογικά υλικά

Η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου της ολικής αποτίμησης σχετικά με την περιβαλλοντική επιβάρυνση δια μέσου ολόκληρου του κύκλου ζωής των υλικών είναι πολύ σημαντική. Τυπικές βάσεις δεδομένων για την περιβαλλοντική εκτίμηση των χαλύβων και των βασικών κραμάτων παρουσιάζονται στα σχήματα 2.14 και 2.15.



Σχήμα 2.14: Βάση δεδομένων διαφόρων τύπων χαλύβων για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδρασής τους [19]



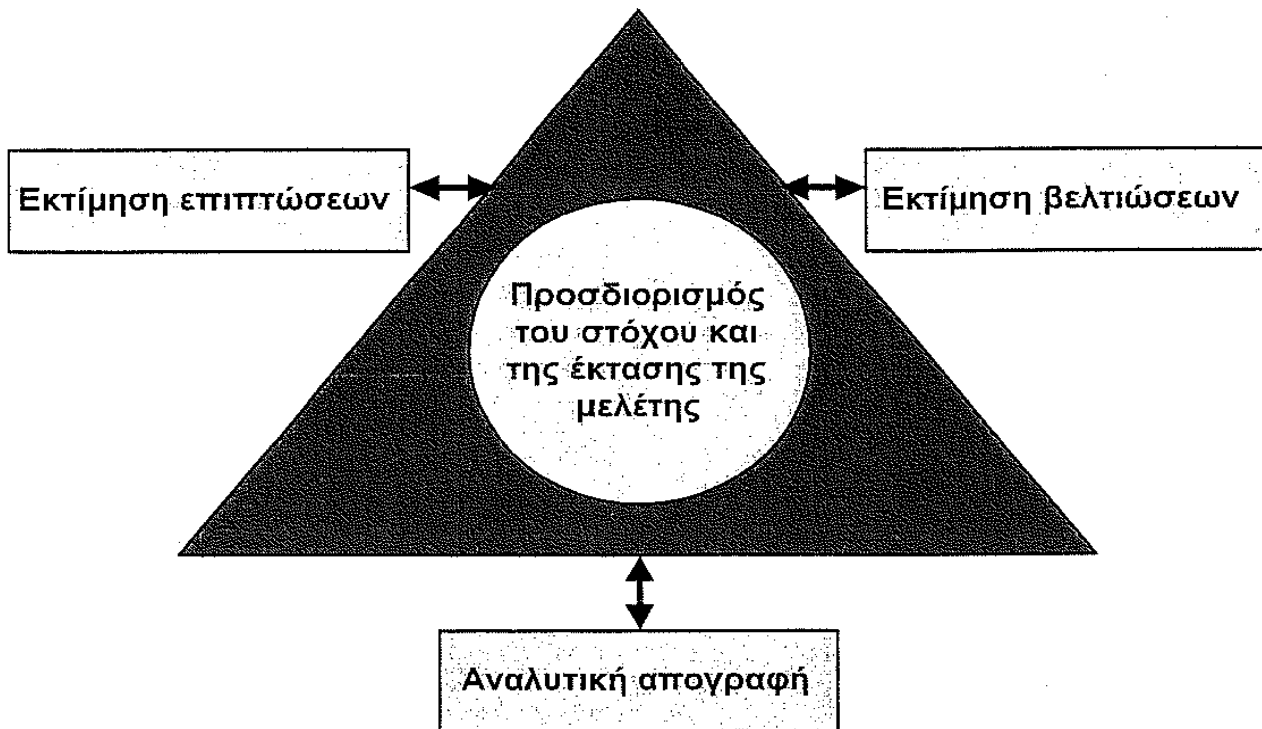
Σχήμα 2.15: Βάση δεδομένων διαφόρων μετάλλων για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επίδρασής τους στα στάδια της επεξεργασίας.[19]

2.5. Η AKZ ως εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης

Εντάσσοντας την Ανάλυση Κύκλου Ζωής μέσα στο γενικότερο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διαχείρισης, η AKZ αποτελεί μια μόνο από τις διάφορες τεχνικές περιβαλλοντικής διαχείρισης. Συμπληρώνει άλλες τεχνικές όπως την ανάλυση περιβαλλοντικής επίδρασης, την αναγνώριση πηγών κινδύνου (hazard identification), την εκτίμηση κινδύνων (risk assessment), την τεχνολογική ανάλυση (technology assessment), τις μεθοδικές και λεπτομερείς εξετάσεις αποβλήτων (waste audits) και τον περιορισμό των αποβλήτων των διεργασιών (waste minimization assessment of processes) με σκοπό τον περιβαλλοντική σχεδιασμό, την υπεύθυνη διαχείριση του προϊόντος, και την δημιουργία μέτρων σύγκρισης συστημάτων διαχείρισης. Όλες αυτές οι τεχνικές και τα εργαλεία διαχείρισης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εκεί όπου, κατά περίπτωση, κρίνονται ως κατάλληλα.

2.6. Βαθμός ανάπτυξης της μεθοδολογίας AKZ

Το πλαίσιο μεθοδολογίας της AKZ που προτείνεται από τον SETAC (1991, 1992, και 1993) αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια: 1) τον προσδιορισμό του στόχου και της έκτασης της μελέτης, 2) την αναλυτική απογραφή δεδομένων, 3) την εκτίμηση επιπτώσεων και 4) την εκτίμηση βελτιώσεων (βλ. σχήμα 2.16).



Σχήμα 2.16: Τα στάδια της μεθοδολογίας της AKZ κατά SETAC [1]

Για περισσότερο από 20 χρόνια, μελέτες σχετικά με τον κύκλο ζωής επικέντρωναν την προσοχή τους στην ποσοτική αξιολόγηση της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται, καθώς και των αποβλήτων που απορρίπτονταν στο περιβάλλον κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, μιας συσκευασίας, ενός υλικού, μιας παραγωγικής διαδικασίας, ή μιας δραστηριότητας. Γι' αυτό το λόγο η μεθοδολογία αναλυτικής απογραφής του κύκλου ζωής είναι περισσότερο κατανοητή και ιδιαίτερα ανεπτυγμένη. Η ενσωμάτωση του προσδιορισμού του στόχου και της έκτασης της μελέτης, της εκτίμησης των επιπτώσεων και της εκτίμησης βελτιώσεων έχει γίνει τα τελευταία χρόνια (πιν.2.16).

Πίνακας 2.16: Βαθμός ανάπτυξης μεθοδολογίας AKZ [1]

Στάδια της AKZ	Κατάσταση της υπάρχουσας μεθοδολογίας (SETAC)
Προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης	Έχει προσδιοριστεί
Αναλυτική απογραφή	Έχει προσδιοριστεί -απαιτεί κάποια περαιτέρω επεξεργασία
Εκτίμηση επιπτώσεων : -Ταξινόμηση -Χαρακτηρισμός -Αξιολόγηση	Έχει προσδιοριστεί -απαιτεί κάποια περαιτέρω επεξεργασία. Έχει προσδιοριστεί θεμελιωδώς και έχει αναπτυχθεί μερικώς. Έχει προσδιοριστεί θεμελιωδώς
Εκτίμηση βελτιώσεων	Βρίσκεται σε εξέλιξη

Η μελέτη της ΑΚΖ θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του υπό εξέταση συστήματος. Παρόλα αυτά η μεθοδολογία που προτείνεται από τον SETAC (σχήμα 1.6) εφαρμόζεται συχνά σε μελέτες πιο περιορισμένης φύσεως, για παράδειγμα, για τη μελέτη μιας συγκεκριμένης περιβαλλοντικής παραμέτρου όπως η συμμετοχή της ενέργειας σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ή, εναλλακτικά, για την εξέταση όλων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από ένα μόνο στάδιο του κύκλου ζωής. Θα πρέπει να τονιστεί ότι, ενώ από μία τέτοια μελέτη μπορούν να αποκτηθούν πολύ χρήσιμες πληροφορίες, δεν μπορεί, εξ' ορισμού, να χαρακτηριστεί σαν συνολική Ανάλυση Κύκλου Ζωής ή έστω σαν συνολική αναλυτική απογραφή.

Συμπέρασμα

Η προσθήκη της ανάλυσης κύκλου ζωής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων παρέχει μια κατανόηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον που δεν εξετάζονται παραδοσιακά κατά την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας. Αυτές οι πολύτιμες πληροφορίες παρέχουν έναν τρόπο υπολογισμού όλων των επιπτώσεων που έχουν οι αποφάσεις, ειδικά, εκείνες που εμφανίζονται εξωτερικά της περιοχής / τομέα που επηρεάζεται άμεσα από την επιλογή ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας.

Η ΑΚΖ αποτελεί ένα εργαλείο που ενημερώνει καλύτερα αυτούς που λαμβάνουν αποφάσεις και πρέπει να χρησιμοποιείται με άλλα κριτήρια αποφάσεων, όπως το κόστος και η απόδοση για να ληφθεί μια ισορροπημένη απόφαση.

3. References

1. Adriano, D.C. (ed.), 1992. *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis Publishers, Boca Raton.
2. Ahbe, S., A. Braunschweig, & R. Müller-Wenk, R., 1990. *Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt*. BUWAL Nr. 133, Bern.
3. Albritton, D., Derwent, R., Isaksen, I., Lal, M., Wuebbles, D., 1996. *Trace gas radiative forcing indices*. In: Houghton et al., 1996.
4. Alloway, B.J. (ed.), 1990. *Heavy metals in soils*. Blackie, Glasgow.
5. Amann, M., I. Bertok, J. Cofala, F. Gyarfas, C. Heyes, Z. Klimont & W. Schöpp, 1996. *Cost-effective control of acidification and ground-level ozone*. Second interim report to European Commission, DG-XI. International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg.
6. Andersson-Sköld, Y., P. Grennfelt & K. Pleijel, 1992. *Photochemical ozone creation potentials: a study of different concepts*. *J. Air Waste Manage.* 42 (9): 1152–1158.
7. Annema, J.A., 1992. *Methodology for the evaluation of potential action to reduce the environmental impact of chemical substances*. In: SETAC, 1992: 73–80.
8. Anonymous, 1997a. *Ökobilanzen – Trends und Perspectieven*. Workshop der GDCh-Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, Frankfurt.
9. Anonymous, 1997b. *Dutch consumer patterns and their impact on biodiversity*. CREM (Consultancy and Research for Environmental Management), Amsterdam.
10. Anonymous, 1998. *Handleiding voor het opstellen van milieurelevante productinformatie (MPRI á): Achtergronden*. Versie 1.1. SNPR98001. Stichting NVTB Projecten SNP. Driebergen.
11. Anonymous, 1998a. *Proceedings of the International Resource Accounting Modeling Workshop Groningen 16–17 September 1998*. IVEM, Groningen.
12. Anonymous, 1998b. *Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance – Progress in LCA for a Sustainable Society*. November 25–27, 1998, Tsukuba.
13. Anonymous, 1998c. *Low Doses of Ionizing Radiation: Biological Effects and Regulatory Control*. Proceedings of a Conference, Seville, Spain, 17–21 November 1997, Jointly organized by IAEA and WHO.
14. Anonymous, 1999. *SETAC working groups 1993–1998*. SETAC -Europe news 10 (3): 14–20
15. Anonymous, 2000a. *Integral biodiversity impact assessment system (IBIS)*. CREM (Consultancy and Research for Environmental Management) report no. 98.309, part II, Amsterdam.
16. Anonymous, 2000b. *Biodiversity module for ecolabels*. CREM (Consultancy and Research for Environmental Management) report no. 98.309, part III, Amsterdam.
17. AOO, 1995. *MER Tienjarenprogramma afval*. AOO 95–02, Utrecht.
18. Audsley, E., S. Alber, R. Clift, S. Cowell, P. Crettaz, G. Gaillard, J. Hausheer, O. Jolliet, R. Kleijn, B. Mortensen, D. Pearce, E. Roger, H. Teulon, B. Weidema & H. van Zeijts, 1994. *Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture*. Final Report of EU Concerted Action AIR3-CT94–2028, Brussels.
19. Ayres, R. U., K. Martinàs & L.W. Ayres, 1996. *Eco-thermodynamics. Exergy and life cycle analysis*. Working Paper (96/04/EPS), INSEAD, Fontainebleau, France.
20. Ayres, R.U., 1998. *Eco-thermodynamics: economics and the second law*. *Ecol. Econ.* 26 (2): 189–209.
21. Azapagic, A. & R. Clift, 1999. *Allocation of environmental burdens in co-product systems: product-related burdens (part 1)*. *Int. J. LCA* 4 (6): 357–69.
22. Azapagic, A. & R. Clift, 2000. *Allocation of environmental burdens in co-product systems: process and product-related burdens (part 2)*. *Int. J. LCA* 5 (1): 31–36.
23. Azapagic, A. & R. Clift, 1998. *Linear programming as a tool in life cycle assessment*. *Int. J. LCA* 3 (6): 305–16.
24. Azapagic, A., 1996. *Environment system analysis: the application of linear programming to life cycle assessment. Volume I*. Ph.D.-thesis University of Surrey, Guildford.
25. Baitz, M., 1998. *Method to integrate land use in life cycle assessment*. University of Stuttgart, Stuttgart.
26. Bakker, J. & D. Van de Meent, 1997. *Receptuur voor de berekening van de Indicator Effecten Toxische Stoffen (Itox)*. RIVM rapport nr. 607504003, RIVM, Bilthoven.

27. Barnthouse, L., J. Fava, K. Humphreys, R. Hunt, L. Laibson, S. Noesen, G. Norris, J. Owens, J. Todd, B. Vigon, K. Weitz & J. Young (eds), 1997. *Life-cycle Impact assessment: The State-of-the-Art*. Report of the Work Group on LCA Impact assessment, SETAC, Pensacola.
28. Barrett K. & E. Berge (eds.), 1996. *Transboundary Air Pollution in Europe*. Research Report No.32, EMEP/MSC-W, Report 1/96, Oslo.
29. Baumann, H., 1992. *LCA: Utvärdering med index. Beräkning av två uppsättningar norska index*. CIT-ekologik 1992:2. Chalmers, Gothenburg.
30. Beck, A. & St. Bosshart, 1995. *Umweltanalyseinstrumente im Vergleich*. Diplomarbeit am Laboratorium für Energiesysteme, ETH Zürich.
31. Beetstra, F., 1998. *Het ECOLEMMMA model, ECOLogische Eenheden Milieu-Monetair gewoogen voor Aantasting van ecosystemen en landschappen; een operationalisatie in een LCA kader*. PhD Thesis. Technische Universiteit, Eindhoven.
32. Berg, N.W. van den, G. Huppes, E.W. Lindeijer, B.L. van der Ven & M.N. Wrisberg, 1999. *Operational quality assessment in LCA: a semi-quantitative method*. CML Report 152, Leiden (see: http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/publssp_frame.html).
33. Beukering, F. van, F. Oosterhuis & F. Spaninks, 1998. *Economic Valuation in Life Cycle Assessment*. Working Paper W98/02 of the Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam.
34. Bez, J., M. Heyde & G. Goldhan, 1998. *Waste treatment in product specific life cycle inventories: an approach of material-related modeling. Part II: Sanitary landfill*. Int. J. LCA 3 (2): 100–105.
35. Bierman, H., T.R. Dyckman and R.W. Hilton, 1990. *Cost accounting. Concepts and managerial applications*. PWS-Kent Publishing Company, Boston.
36. Blau, S. & S. Seneviratne, 1995. *Acidification and Eutrophication in Life Cycle Assessments*. Student thesis. Swiss Federal Institute of Technology. Zürich.
37. Blonk, T.J. & E.W. Lindeijer, 1995. *Naar een methodiek voor het kwantificeren van aantasting in LCA. Vooronderzoek in het kader van de LCA-methodiekontwikkeling met betrekking tot de operationalisatie van aantasting van ecosystemen en landschap*. DWW. Delft.
38. Blonk, T.J. & H. van Ewijk, 1996. *Verkennde LCA nautische baggerspecie*. IVAM-ER, Amsterdam.
39. Blonk, T.J., M. Lafleur, R. Spriensma, S. Stevens, M. Goedkoop, A. Agterberg, B. van Engelenburg & K. Blok 1997b. *Drie referentieniveaus voor normalisatie in LCA: Nederlands grondgebied 1993/1994; Nederlandse eindconsumptie 1993/1994; West-Europees grondgebied begin jaren 1990*. RIZA-werkdocument 97.110x, Lelystad.
40. Blonk, T.J., M.D. Davidson & M.C.C. Lafleur, 1997a. *Working document: Feasibility of operationalisation of depletion of abiotic resources in LCA via the key resources energy and land*. IVAM Environmental Research, Amsterdam.
41. Boguski T.K., R. G. Hunt, J.M. Chokalis W.E. Franklin, 1996. *LCA Methodology*. In: Curran, 1996.
42. Bouman, M., R. Heijungs, E. van der Voet, J.C.J.M. van den Bergh & G. Huppes, 2000. *Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models*. Ecol. Econ. 32 (2): 195–216.
43. Braakhuis, F.L.M., M. Gijtenbeek & W.A. Hafkamp, 1995. *Milieumanagement: van kosten naar baten*. Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
44. Bras-Klapwijk, R.M., 1999. *Adjusting Life Cycle Assessment Methodology for Use in Public Policy Discourse*. Technische Universiteit Delft, Delft.
45. Brasser, L.J., C. Huygen, P.J.H. Builtjes, A. Verbeek, J.A. Don, P.F.J. van der Most, H. Nieboer, R.M. van Aalst, K.D. van den Hout & M. Odijk, 1985. *Milieu-effectrapportage 20; serie effectvoorspelling deel II Lucht*. SDU, The Hague
46. Braunschweig, A., R. Förster, P. Hofstetter, & R. Müller-Wenk, 1996. *Developments in LCA Valuation*. IWÖ-Diskussionsbeitrag Nr. 32. IWÖ-HSG, St. Gallen.
47. Brezet, H., J. Cramer & T. van der Horst, 1995. *Milieugerichte productontwikkeling*. In: Braakhuis *et al.*, 1995.
48. Bruijn, J.A. de & R. van Duin, 1998. *Procedurele organisatie van LCA-studies (POLCA)*. Technische Universiteit Delft - Technische Bestuurskunde / Bureau Brandstoffen & Grondstoffen. Delft/Emst.
49. Bruijn, J.A. de, E.F. ten Heuvelhof & R.J. in 't Veld, 1998. *Procesmanagement; Over*

procesontwerp en besluitvorming. Amsterdam.

50. Burke, Th., J. Doull, T.E. McKone, D. Paustenbach, R. Scheuplein, H.A. Udo de Haes & J. Young, 1995. *Human health impact assessment in life cycle assessments: analysis by an expert panel*. ILSI Health and Environmental Sciences Institute, Washington D.C.
51. BUWAL, 1998. *Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der Ökologischen Knappheit. Ökofaktoren 1997*. Schriftenreihe Umwelt Nr 297. BUWAL, Bern, Switzerland.
52. Carter, W.P.L., 1994. *Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds*. J. Air Waste Manage. 44 (7): 881–899.
53. Carter, W.P.L., D. Luo & I.L. Malkina, 1997. *Environmental chamber studies for development of an updated photochemical mechanism for VOC reactivity assessment*. Draft, final report to CARB, CRC, NREL. Los Angeles.
54. Ceuterick, D., 1998. *Proceedings of the International Conference on Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and Forestry (organised by VITO)*. December 3–4, 1998. 1998/PPE/R/161, Brussels.
55. Chemstations Inc., 1997. *Chemcad User guide*. Houston.
56. Christiansen, K., A. de Beaufort-Langeveld, N. van den Berg, R. Haydock, M. ten Houten, S. Kotaji, E. Oerlemans, W.-P. Schmidt, A. Weidenhaupt & R. White, 1997. *Simplifying LCA: Just a cut? Final report SETAC-Europe LCA screening and streamlining working group*. SETAC-Europe, Brussels.
57. Clift, R., R. Frischknecht, G. Huppes, A.-M. Tillman and B. Weidema, 1998. *Towards a coherent approach to life cycle Inventory analysis (DRAFT)*. Centre for Environmental Strategy, University of Surrey, Surrey.
58. Consoli, F., D. Allen, I. Boustead, N. de Oude, J. Fava, W. Franklin, B. Quay, R. Parrish, R. Perriman, D. Postlethwaite, J. Seguin & B. Vigon (eds), 1993. *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice' (Edition 1)*. SETAC-Europe, Brussels.
59. Copius Peereboom, E.R., R. Kleijn, S. Lemkowitz, S. Lundie, 1998. *Influence of Inventory Data Sets on Life Cycle Assessment Results: a Case Study on PVC*. J. Ind. Ecol. 2 (3): 109–130.
60. Cornelissen, R.L., 1997. *Thermodynamics and sustainable development. The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility*. PhD Dissertation, Twente University, Enschede.
61. Corten, F.G.P., B. van der Haspel, G.J. Kreuzberg, H.J.W. Sas & G. de Wit, 1994. *Weighting environmental problems for product policy. Phase 1*. Delft, The Netherlands.
62. Cowan, C.E., D. Mackay, T.C.J. Feytel, D. van de Meent, A. Di Guardo, J. Davies & N. Mackay, 1995. *The multi-media fate model. A vital tool for predicting the fate of chemicals*. SETAC, Pensacola.
63. Cowell, S.J., S. Hogan & R. Clift, 1997. *Positioning and applications of LCA*. In: Udo de Haes H. & N. Wrisberg (eds), 1997.
64. Curran, M.A., 1996. *Environmental Life-Cycle Assessment*. McGraw-Hill, New York.
65. Dam A. van, A.G. Kloppenburg, B.L. van der Ven, S. Wiegersma, 1996. *Resultaten van het VNO-DALCA project, Hoofdrapport*. TNO-rapport BU3.96/002461–1/AD, TNO Apeldoorn.
66. Derwent, R.G. & M.E. Jenkin, 1990. *Hydrocarbon involvement in photochemical ozone formation in Europe*. Report nr. AERE-R13736, AEA Environment and Energy, Harwell Laboratory, Oxfordshire.
67. Derwent, R.G., M.E. Jenkin & S.M. Saunders, 1996. *Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions*. Atmos. Environ. 30 (2): 181–199.
68. Derwent, R.G., M.E. Jenkin, S.M. Saunders & M.J. Pilling, 1998. *Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in Northwest Europe calculated with a master chemical mechanism*. Atmos. Environ. 32 (14–15): 2429–2441.
69. Drunen, M.A. van, 1997. *LCA's voor beleid en management: nut, noodzaak en wensen*. VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment) report no. Productenbeleid 1997/32. Zoetermeer.
70. Drury, C., 1992. *Management and cost accounting*. Chapman and Hall, London (third edition).
71. Duin, R. van & J.A. de Bruijn, 1998. *POLCA; over de Procedurele Organisatie van LCA-studies – Teksten t.b.v. de nieuwe handleiding*. Bureau Brandstoffen & Grondstoffen / Technische Universiteit Delft - Technische Bestuurskunde. Emst / Delft.
72. EC, 1995a. *ExternE. Externalities of energy. Vol. 2: Methodology*. European Commission, Directorate-General XII: Science, Research and Development. Brussels- Luxembourg.

73. EC, 1995b. *ExternE. Externalities of energy. Vol. 5: Nuclear*. European Commission, Directorate-General XII: Science, Research and Development. Brussels- Luxembourg.
74. Eggels, P & B.L. van der Ven, 1995. *Allocation model for landfill*. In: Finnveden & Huppes (eds.), 1995.
75. Ekvall, T, 1999. *System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment, with Implications for Wastepaper Management*. PhD dissertation. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
76. Ekvall, T. & A.-M. Tillman, 1997. *Open-loop recycling: criteria for allocation procedures*. Int. J. LCA 2 (3): 155–162.
77. Ekvall, T., T. Rydberg, Ö. Hedenberg, B. Backlund Jacobson, T. Pajula & H. Wessman, 1997. *Guidelines on life cycle Impact assessment of pulp and paper*. NORDPAP DP2/55, SCAN Forskrappport 688.
78. EPA, 1984. *Estimating concern levels for concentrations of chemical substances in the environment*. US-EPA, Environmental Effects Branch, Washington.
79. Fava, J.A., F. Consoli, R. Denison, K. Dickson, T. Mohin, B. Vigon, (eds.) 1993. *Conceptual framework for life-cycle impact analysis*. SETAC, Pensacola.
80. FEFCO (Groupement Ondulé, Kraft Institute), 1997. *European database for corrugated board life cycle studies*. Paris/Darmstadt/Stockholm.
81. Finlayson-Pitts, B.J. & J.N. Pitts, Jr., 1993. *Atmospheric chemistry of tropospheric ozone formation: Scientific and regulatory implications*. J. Air Waste Manage. 43 (8): 1091–1100.
82. Finnveden, G., 1996a. "Resources" and related impact categories. Part III. In: Udo de Haes, H.A. (ed.), 1996.
83. Finnveden, G., 1996b. *Life Cycle assessment as an environment systems analysis tool – with a focus on system boundaries*. Licentiate Thesis, AFR-Report 137, AFN (Swedish Waste Research Council), Swedish EPA, Stockholm.
84. Finnveden, G., 1996c. *Solid waste treatment within the framework of life cycle assessment. Metals in municipal solid waste landfills*. Int. J. LCA, 1 (2): 74–78.
85. Finnveden, G., 1997. *Valuation methods within LCA – Where are the values?* Int. J. LCA 2 (3): 163–169.
86. Finnveden, G., 1998. *On the possibilities of life-cycle assessment, development of methodology and review of case studies*. PhD thesis. Department of Systems Ecology, Stockholm University, Stockholm.
87. Finnveden, G., 1999a. *A critical review of operational valuation/weighting methods for life cycle assessment*. AFR-report 253, AFN (Swedish Waste Research Council), Swedish EPA, Stockholm.
88. Finnveden, G., 1999b. *Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems*. Resour. Conserv. Recy. 26 (3–4): 173–187.
89. Finnveden, G., 2000. *On the limitations of life cycle assessment and environment systems analysis tools in general*. Int. J. LCA 5 (4): 229–238.
90. Finnveden, G. & G. Huppes (eds.), 1995. *Life cycle assessment and treatment of solid waste*. Proceedings of the international workshop, September 28–29, 1995, Stockholm.
91. Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (FhG), Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung & Institut für Energie- und Umweltforschung, 1991. *Umweltprofile von Packstoffen und Packmitteln, Methode (Entwurf)*. ILV, München.
92. Freire, F., P. Ferrão, C. Reis & S. Thore, 2000. *Life cycle activity analysis applied to the Portuguese used tire market*. Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series 2000–01–1507, Warrendale (USA) (ISSN 0148–7191).
93. Frischknecht R., R. Heijungs & P. Hofstetter, 1998. *Einstein's lessons for energy accounting in LCA*. Int. J. LCA 3 (5): 266–272.
94. Frischknecht R., A. Braunschweig, P. Hofstetter & P. Suter, 2000. *Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment*. Environ. Impact Assessment Rev. 20: 159–189.
95. Frischknecht, R., 2000. *Allocation in life cycle Inventory analysis for joint production*. Int. J. LCA 5 (2): 85–95.
96. Frischknecht, R., 1997. *Goal and scope definition and inventory analysis*. In: Udo de Haes H. & N. Wrisberg (eds.), 1997.
97. Frischknecht, R., 1998. *Life cycle Inventory analysis for decision-making. Scope-dependent*

- inventory system models and context specific joint product allocation*. Ph.D. dissertation 12599. ETH, Zürich.
98. Frischknecht, R., P. Hofstetter, I. Knoepfel, E. Walder, R. Dones & E. Zollinger, 1993 (+ updates 1995 en 1996). *Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 0. Auflage*. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.
99. Funtowicz, S.O. and J.R. Ravetz, 1990. *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (ISBN 0-7923-0799-2).
100. Geldermann, J., 1999. *Entwicklung eines multikriteriellen Entsscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung*. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 16 Nr. 105, VDI Verlag, Düsseldorf.
101. Gielen, D.J., T. Gerlagh & A.J.M. Bos, 1998. *MATTER 1.0; A MARKAL Energy and Materials System; Model Characterisation*. ECN, Petten.
102. Goedkoop, M., 1995. *The Eco-indicator 95*. NOH report 9523. PRé Consultants, Amersfoort.
103. Goedkoop, M., 1997. *The Eco-indicator 97 explained*. PRé Consultants, Amersfoort.
104. Goedkoop, M., 1998. *Vereenvoudigd Spold Format*. PRé Consultants, Amersfoort.
105. Goedkoop, M. & R. Spriensma, 1999. *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle Impact assessment*. PRé Consultants, Amersfoort.
106. Goldberg, E.D., 1965. Minor elements in sea water. In: Riley & Skirrow (eds.), 1965: 164-165.
107. Gorree, M. & R. Kleijn, 1996. *Screening-LCA voor de verwijdering van baggerspecie (Screening LCA)*. Leiden: Centrum voor Milieukunde, 64 pp. 1996. Bijlage Leiden: Centrum voor Milieukunde, 91 pp, 1996
108. Graedel, T.E., B.R. Allenby & P.R. Comrie, 1995. *Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment*. Environ. Sci. Technol. 29 (3): A134-A139.
109. Guinée, J. & R. Heijungs, 1995. *A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product Life-Cycle Assessment*. Environ. Toxicol. Chem. 14 (5): 917-925.
110. Guinée, J.B., 1993. *Data for the Normalization step within Life Cycle Assessment of Products*. CML paper no. 14 (first version, September 1993; revised version, December 1993). CML, Leiden University, Leiden.
111. Guinée, J.B., 1995. *Development of a methodology for the environmental life-cycle assessment of products; with a case study on margarines*. Thesis, Leiden University.
112. Guinée, J.B., R. Heijungs, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, D. van de Meent, T. Vermeire & M. Rikken, 1996. *USES, Uniform System for the Evaluation of Substances. Inclusion of fate in LCA characterisation of toxic releases applying USES 1.0. Generic modeling of fate, exposure and effect for ecosystems and human beings with data for about 100 chemicals*. Int. J. LCA 1 (3): 133-138.
113. Haas, M., 1997. *TWIN-model. Milieu classificatie-model bouw*. PhD. Thesis. Technische Universiteit, Eindhoven.
114. Hahn, J. & H. Will, 1995. *Consideration of trophospheric ozone formation in Life Cycle Impact assessment (LCIA) through Maximum Incremental Reactivities (MIR)*. Discussion paper prepared for the SETAC WG-LCIA meeting in Brussels 28-30 november 1995.
115. Harmsen, K., 1992. *Long-term behavior of heavy metals in agricultural soils: a simple analytical model*. In: Adriano (ed.), 1992: 217-247.
116. Hauschild, M & H. Wenzel, 1998. *Environmental Assessment of products. Volume 2: Scientific background*. Chapman & Hall, London.
117. Heijungs, R. & A. Wegener Sleeswijk, 1999. *The Structure of Impact assessment: Mutually Independent Dimensions as a Function of Modifiers*. Letters to the Editor: Comment and Reply. Comment. Int. J. LCA 4 (1): 2-3.
118. Heijungs, R. & J.B. Guinée, 1995. *On the usefulness of life cycle assessment of packaging*. Environ. Manage. 19 (5): 665-668.
119. Heijungs, R. & R. Frischknecht, 1998. *A special view on the nature of the allocation problem*. Int. J. LCA 3 (5): 321-332.
120. Heijungs, R., 1994. *A generic method for the identification of options for cleaner products*. Ecol. Econ. 10 (1): 69-81.
121. Heijungs, R., 1994a. *Valuation: a societal approach*. In: Udo de Haes et al.(eds.), 1994:107-113.
122. Heijungs, R., 1994b. *Life cycle Impact assessment, a brief survey with some ideas on radiation*.

Paper presented at the Technical committee meeting on Development and use of environmental impact indicators for comparative risk assessment of different energy sources, IAEA headquarters, Vienna 3–6 May, 1994.

123. Heijungs, R., 1996. *Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments*. J. Cleaner Prod. 4 (3–4): 159–166.
124. Heijungs, R., 1997a. *Economic drama and the environmental stage. Formal derivation of algorithmic tools for environmental decision-support from a unified epistemological principle*. Ph.D.-thesis Rijksuniversiteit Leiden.
125. Heijungs, R., 1997b. *Normalization of impact scores in LCA: what, why and how?* In: Anonymous, 1997a.
126. Heijungs, R., 1998a. *Towards eco-efficiency with LCA's prevention principle. An epistemological foundation of LCA using axioms*. In: Klostermann & Tukker (eds.), 1998: 175–185.
127. Heijungs, R., 1998b. *Physical production functions*. In: Anonymous, 1998a.
128. Heijungs, R. & M.A.J. Huijbregts, 1999. *Threshold-based life cycle impact assessment and marginal change: incompatible?* CML-SSP Working Paper 99.002, Leiden.
129. Heijungs, R., J. Guinée & G. Huppes, 1997. *Impact categories for natural resources and land use*. CML-report 138. CML, Leiden University, Leiden.
130. Heijungs, R., J. Guinée, G. Huppes, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleeswijk, A.M.M. Ansems, P.G. Eggels, R. van Duin & H.P. de Goede, 1992. *Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds*. CML, Leiden University, Leiden.
131. Hendrickson C., A. Horvath, S. Joshi, L.Lave, 1998. *Economic Input-Output Models for Environmental Life-Cycle Assessment*. Environmental Science & Technology. April 1, pp. 184–191.
132. Hertwich, E.G., 1999. *Toxic Equivalency: Addressing Human Health effects in life cycle Impact assessment*. Thesis, University of California, Berkeley.
133. Hertwich, E.G. & W.S. Pease, 1998. *ISO 14042 restricts use and development of Impact assessment*. Letters to the editor. Int. J. LCA 3 (4): 180–181.
134. Hertwich, E.G., McKone, T.E., Pease, W.S., 1999. *Parameter uncertainty and variability in evaluative fate and exposure models*. Risk Anal. 19 (6): 1193–1204.
135. Hertwich, E.G., Pease, W.S., McKone, T.E., 1998. *Evaluating toxic Impact assessment methods: what works best?* Environ. Sci. Technol. 32 (5): A138-A144.
136. Hoffmann, L. & H. K. Stranddorf, 1999. *Estimate for an average world citizen contribution*. Paper for the joint workshop of the Dutch and Danish methodology projects, Leiden 16–17 September 1999 (<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html>).
137. Hofstetter, P., 1998. *Perspectives in life cycle Impact assessment. A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere*. Ph.D. Thesis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
138. Hogan, L., R. Beal & R. Hunt, 1996. *Threshold inventory Interpretation methodology: a case study of three juice container systems*. Int. J. LCA 1 (3): 159–167.
139. Holmberg, J., U. Lundqvist, K.-H. Robert, K.-H. & M. Wackernagel, 1999. *The ecological footprint from a systems perspective of sustainability*. Int. J. Sust. Dev. World 6 (1): 17–33.
140. Horngren, C.T. and G. Foster, 1991. *Cost accounting, a managerial emphasis*. Prentice Hall International, New York (seventh edition).
141. Houghton, J.T., G.J. Jenkins & J.J. Ephraums (eds.), 1991. *Climate change. The IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
142. Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander & S.K. Varney (eds), 1992. *Climate change 1992. The supplementary report to the IPCC scientific assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
143. Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris & K. Maskell (eds), 1994. *Climate change 1994. Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 Emission scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.
144. Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell, 1996. *Climate change 1995: the science of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge.
145. Hout, K.D. van den, Bakker, D.J., Berdowski, J.J.M., Van Jaarsveld, J.A., Reinds, G.J., Bril, J., Breeuwsma, A., Groenenberg, J.E., De Vries, W., Van Pagee, J.A., Villars, M., Sliggers, C.J., 1999. *The Impact of Atmospheric Deposition of Non-Acidifying Substances on the Quality of European Forest Soils and the North Sea*. Water Air Soil Poll. 109 (1–4): 357–396.

146. Huijbregts M.A.J., 1998a. *A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment – Part I: A general Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment*. Int. J. LCA. 3 (5): 273–280.
147. Huijbregts M.A.J., 1998b. *A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment – Part II: Dealing with Parameter Uncertainty and Uncertainty due to Choices in Life Cycle Assessment*. Int. J. LCA. 3 (6): 343–351.
148. Huijbregts, M.A.J., 1999a. *Priority assessment of toxic substances in LCA. Development and application of the multi-media fate, exposure and effect model USES-LCA*. IVAM environmental research, University of Amsterdam, Amsterdam.
149. Huijbregts, M., 1999b. *Life cycle Impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Calculation of equivalency factors with RAINS-LCA*. Interfaculty Department of Environmental Science, Faculty of Environmental Science, University of Amsterdam.
150. Huijbregts, M.A.J. & Y. Seppälä, 2000. *Towards region-specific European fate factors for airborne nitrogen compounds causing aquatic eutrophication*. Int. J. LCA 5 (2): 65–67.
151. Huijbregts, M.A.J., 2000. *Priority Assessment of Toxic Substances in the frame of LCA. Time horizon dependency of toxicity potentials calculated with the multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA*. Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, University of Amsterdam, Amsterdam. (<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/>).
152. Huijbregts, M.A.J., U. Thissen, J.B. Guinée, T. Jager, D. Van de Meent, A.M.J. Ragas, A. Wegener Sleeswijk & L. Reijnders, 2000a. *Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment, I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA*. Chemosphere 41 (4): 541–573.
153. Huijbregts, M.A.J., U. Thissen, T. Jager, D. Van de Meent & A.M.J. Ragas, 2000b. *Priority assessment of toxic substances in LCA. II: Assessing parameter uncertainty and human variability in the calculation of toxicity potentials*. Chemosphere 41 (4): 575–588.
154. Huijbregts, M.A.J., A. de Koning, L. van Oers, G. Huppes & S. Suh, in prep. *Normalisation data for the Netherlands (1997), West-Europe, (1995) and the World (1990)*. CML, Leiden.
155. Huppes, G., 1993. *Macro-environmental policy: principles and design*. Elsevier, Amsterdam.
156. Huppes, G. & F. Schneider, 1994. *Allocation in LCA*. Proceedings of the European Workshop, 24–25 February 1994, Leiden. SETAC-Europe, Brussels.
157. Huppes, G., H. Sas, E. de Haan & J. Kuyper, 1997. *Efficiënte milieuinvesteringen*. Milieu 3, pp. 126–133.
158. ICRP, 1979. *Limits for intakes of radionuclides by workers*. ICRP -Publication 30, Annals of the ICRP, Vol. 2, part 1–3, Pergamon Press, Oxford.
159. ICRP, 1990. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP-Publication 60. Annals of the ICRP, Vol. 21, No 1–3, Pergamon Press, Oxford.
160. ICRP, 1991. *Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 recommendations*. ICRP-Publication 61, Pergamon Press, Oxford
161. INTRON, 1997. *Concept van een Handleiding voor het genereren van milieurelevante productinformatie door producenten, Fase 1 van de Werkgroep Data/Format*. Intron rapport nr. 97133A, INTRON, Sittard.
162. ISO International Standard 14040, 1997E. *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
163. ISO International Standard 14041, 1998E. *Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and Inventory analysis*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
164. ISO International Standard 14042, 2000E. *Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle Impact assessment*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
165. ISO International Standard 14043, 2000E. *Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle Interpretation*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
166. ISO Technical Specification 14047, in prep. *Illustrative examples on how to apply ISO 14042 -Life cycle assessment - Life cycle Impact assessment*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
167. ISO Technical Report 14048, in prep. *LCA data documentation format (first draft)*. International Organisation for Standardisation (ISO), Geneva.
168. ISO Technical Report 14049, 1998. *Illustrative examples on how to apply ISO 14041 - LCA -Goal and scope definition and Inventory analysis (draft)*. International Organisation for

- Standardisation (ISO), Geneva.
169. IUCN/WWF/UNEP, 1991. *Caring for the earth. A strategy for sustainable living*. Gland, Switzerland
170. Jäger, J. & H.L. Ferguson (red.), 1991. *Climate change: science, impacts and policy*. Cambridge University Press, Cambridge.
171. Jenkin, M.E. & G.D. Hayman, 1999. *Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters*. Atmos. Environ. 33 (8): 1275–1293.
172. Jolliet, O. & P. Crettaz, 1997. *Critical surface-time 95. A life cycle Impact assessment methodology including fate and exposure*. Swiss Federal Institute of Technology, Institute of Soil and Water Management, Lausanne.
173. Jolliet, O., 1996. *Impact assessment of human and eco-toxicity in life cycle assessment. Part IV*. In: Udo de Haes, H.A. (ed.), 1996.
174. Jonker, R.J., H.W. Köster & F.H. de Jong, 1988. *Milieu-effectrapportage, Effectvoorspelling 27; IX Straling*. SDU/DOP, The Hague.
175. Kalisvaart, S & J. Remmerwaal, 1994. *The MET-points method: A new single figure performance indicator based on effect scores*. In: Udo de Haes et al. (eds.), 1994:143–148.
176. Kandelaars, Patricia P.A.A.H, 1998. *Material-Product Chains: Economic Models and Applications*. Thesis Publishers, Amsterdam.
177. Kim, S., T. Hwang & K.M. Lee, 1997. *Allocation for cascade recycling system*. Int. J. LCA 2 (4): 217–222.
178. Klepper, O. & H.A. den Hollander, 1999. *A comparison of spatially explicit and box models for the fate of chemicals in water, air and soil in Europe*. Ecol. Model. 116 (2–3): 183–202.
179. Klöpffer, W., 1996. *Allocation rule for open-loop recycling in life cycle assessment: a review*. Int. J. LCA 1 (1): 27–31.
180. Klostermann, J.E.M. & A. Tukker (eds.), 1998. *Product Innovation and Eco-efficiency. Twenty-three industry efforts to reach the factor 4*. P. 175–185. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
181. Knoepfel, I., 1995. *Indicatoren-system für die ökologische bewertung des transports von energie*. Dissertation, nr. 11146 ETH, Zürich.
182. Köllner, T., 2000. *Species-pool Effect Potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity*. J. Cleaner Prod. 8 (4): 293–311.
183. Kooijman, J.M., 1993. *Environmental assessment of packaging: sense and sensibility*. Environ. Manage. 17 (5): 575–586.
184. Kortman, J.G.M., E.W. Lindeijer, H.J.W. Sas & M. Sprengers, 1994. *Towards a single indicator for emissions- An exercise in aggregating environmental effects*. VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment), publicatiereeks produktenbeleid nr. 1994/12. Zoetermeer.
185. Kortman, J.G.M., P.G. Eggels, G. Huppes, L. van Oers, E.W. Lindeijer, B.L. van der Ven, J.B. Guinée, 1996. *Inschatting milieu-effecten van de afdankfase van langcyclische producten (Estimation of the environmental effects of the end-of-life stage of long life products)*. RIZA report no. 96.005, RIZA, Lelystad.
186. Krewitt, W., A. Trukenmüller & R. Friedrich, 1999. *Site Dependent LCIA Impact Indicators for Human Health from Integrated Air Quality and Exposure Modeling*. Poster presented at the 9th Annual Meeting of SETAC-Europe, 25–29 May 1999, Leipzig, Germany.
187. Krewitt, W., P. Mayerhofer, A. Trukenmüller & R. Friedrich, 1998. *Application of the Impact Pathway Analysis in the Context of LCA. The Long Way from Burden to Impact*. Int. J. LCA 3 (2): 86–94.
188. Kroon, P., J.R. Ybema, J. Slanina, & B.G. Arends, 1994. *Weegfactoren voor luchtmissies*. ECN R 94–006, Petten.
189. Krozer, J. 1992. *Decision model for Environmental Strategies of Corporations (DESC)*. TME, The Hague.
190. Lafleche, V. & F. Sacchetto, 1999. *Noise assessment in LCA: a methodology attempt - an application case with various transport means on a set trip*. Ecobilan, Milano.
191. Latour, J.B., I.G. Staritsky, J.R.M. Alkemade & J. Wiertz, 1997. *De Natuurplanner, Decision support system natuur en milieu, RIVM rapportnr. 711901019, RIVM, Bilthoven*.
192. Lave L. B., E. Cobas-Flores, C.T. Hendrickson, F.C. McMichael, 1995. *Using Input-Output Analysis to Estimate Economy-wide Discharges*. Environ. Sci. Technol. 29 (9): A420-A426.

193. Lehmann, H & F. Schmidt-Bleek; 1993. *Material Flows from a Systematical Point of View*. Fresenius Environmental Bulletin 2 (8): 413 - 418.
194. Lindeijer, E.W., 1994. *Allocating recycling for integrated chain management: taking account of quality losses*. IVAM, Amsterdam.
195. Lindeijer, E.W., 1996. *Normalisation and valuation. Part VI*. In: Udo de Haes (ed.), 1996.
196. Lindeijer, E.W., 1997. *Results try-out Japanese/Dutch LCA valuation questionnaire 1996*. IVAM ER, University of Amsterdam.
197. Lindeijer, E.W., 1998. *Kapitaalgoederen in LCA data van bedrijven*. IVAM-ER, Amsterdam
198. Lindeijer, E.W., M. van Kampen, P.J. Fraanje, H.F. van Dobben, G.J. Nabuurs, E.P.A.G. Schouwenberg, A.H. Prins, N. Dankers & M.F. Leopold., 1998. *Biodiversity and life support indicators for land use impacts in LCA*. Report W-DWW-98-059. Publication series raw materials 1998/07. Ministry of transport, public works and water management, Delft.
199. Lindeijer, E.W., 2000. *Impact assessment of resources and land use*. Report of the SETAC WIA-2 taskforce on resources and land. 6 th draft, October 2000.
200. Lindfors L-G, Christiansen K., L. Hoffman, Y. Virtanen, V. Juntilla, O-J Hanssen, A. Rønning, T. Ekvall G. Finnveden, 1995a. *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*. Nord 1995:20. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
201. Lindfors L-G, Christiansen K., L. Hoffman, Y. Virtanen, V. Juntilla, A. Leskinen, O-J Hanssen, A. Rønning, T. Ekvall G. Finnveden, 1995b. *LCA-NORDIC Technical reports No 1-9*. TemaNord 1995:502. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
202. Lindfors, L.G, K. Christiansen, L. Hoffman, Y. Virtanen, V. Juntilla, O.J. Hansen, A. Rønning , T. Ekvall & G. Finnveden, 1995c. *LCA-NORDIC Technical Reports No 10*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
203. Lindfors, L.G., 1996. *A Desk study on characterisation methods applicable in EU Ecolabeling programmes*. In: Udo de Haes, H.A. et al., 1996.
204. Lundie, S., 1999. *Ökobilanzierung und Entscheidungstheorie. Praxisorientierte Produktbewertung auf der Basis gesellschaftlicher Werthaltungen*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
205. Mackay, D., 1991. *Multimedia environmental models. The fugacity approach*. Lewis Publishers, Chelsea.
206. Marsmann, M., S. O. Ryding, H. Udo de Haes, J. Fava, W. Owens, K. Brady, K. Sauer & R. Schenck, 1999. *In Reply to Hertwich & Pease, Int. J. LCA 3 (4) 180-181, "ISO 14042 Restricts Use and Development of Impact Assessment"*. Letters to the editor. Int. J. LCA (4) 2: 65.
207. Mattson, B., C. Cederberg & L. Blix, 2000. *Agricultural land use in life cycle assessment (LCA: case studies of three vegetable oil crops*. J. Cleaner Production 8 (4): 283-292.
208. Matsuno, Y., A. Inaba & M. Betz, 1998. *Valuation of Electricity Grid Mixes in Japan with Application of Life-Cycle Impact-Assessment Methodology*. In: Anonymous, 1998b:97-100.
209. Matsuno, Y., T. Inaba & T. Mizuno, 1999. *Development of Site- and Source-Specific Life Cycle Impact assessment Methodology for Local Impact Categories*. 9th Annual Meeting of SETAC-Europe, 25-29 May 1999, Leipzig, Germany. Quality of Life and Environment in Cultured Landscapes. Abstracts, 233.
210. Meent D. van de, 1993. *Simplebox: a generic multimedia fate evaluation model*. Report no. 672720001. RIVM, Bilthoven.
211. Meent, D. van de, 1999. *Potentieel aangetaste fractie als maatlat voor toxische druk op ecosystemen*. RIVM rapport nr. 60750400, RIVM, Bilthoven.
212. Meent, D. van de, T. Aldenberg, J.H. Canton, C.A.M. van Gestel en W.Slooff, 1990. *Streven naar waarden. Achtergrondstudie ten behoeve van de nota Milieukwaliteitsnormering water en bodem*. RIVM report nr. 670101 001, Bilthoven.
213. Meier, M.A. (ed.), F. Hirsinger, A. Schmidt, U. Dethlefsen, C. Setterwall, H. Vandenberghe, G. Wouters, P.J. McKeown, A. Windsperger, N. Gessesse, L. Grisel, 1997. *Evaluation and reporting guidelines for Life-cycle assessments case-studies*. Final report of the SETAC-Europe Case-studies Working-group (CSWG).
214. Menke, D.M., G.A. Davis & B.W. Vigon, 1996. *Evaluation of life-cycle assessment tools*. Environment Canada, Hazardous waste branch, Ottawa.
215. Milà i Canals, L., X. Domènech, & J. Rieradevall, 2000. *Soil recovery time as a characterisation factor for impacts due to land use*. Tenth Annual Meeting of SETAC-Europe, 21-25 May 2000, Brighton, United Kingdom. Global Environmental Issues in the 21 st Century: Problems, Causes

- and Solutions. Abstracts, 79.
216. Mobbs, S.F., R.A. Klos, J.S. Martin, J.M. Laurens, K.H. Winters, J.M. Bealby, & G. Dalrymple, 1991. *PACOMA: Performance assessment of the confinement of medium-active and alpha-bearing wastes – Assessment of disposal in a clay formation in the United Kingdom*, Commission of the European Communities, EUR 13143-EN, Luxembourg.
217. Möller, F.-J., 1992. *Ökobilanzen erstellen und anwenden - Entwicklung eines Untersuchungsmodells für die Umweltverträglichkeit von Verpackungen*. Ecobalance Applied Research, Umweltforschung, München.
218. Moriguchi, Y. & Y. Kondo, 1998. *Inventory analysis and Impact assessment towards Comprehensive LCA of Automobiles*. In: Anonymous, 1998b:101–105.
219. Müller-Wenk, R., 1997. *Safeguard subjects and damage functions as core elements of life-cycle Impact assessment*. IWÖ-Diskussionsbeitrag nr. 42, Universität St Gallen.
220. Müller-Wenk, R., 1998. *Depletion of abiotic resources weighted on base of "virtual" impacts of lower grade deposits used in future*. IWÖ-Diskussionsbeitrag nr. 57, St Gallen.
221. Müller-Wenk, R., 1999. *Life-Cycle Impact assessment of road transport noise*. IWÖ-diskussionsbeitrag nr. 77. IWÖ-HSG, St. Gallen.
222. Murray, C.L & A. Lopez, 1996 *The global burden of disease*, WHO, World Bank and Harvard School of Public Health, Boston.
223. Nagata, K., Y. Fuji & M. Ishikawa, 1995. *Proposing a Valuation Method based on Panel Data*, Preliminary Report, Tokyo.
224. Neeleman, B.C., 1997. *Milieufactetten van beton - critical review*. 53864-KET/R&B 97. KEMA, Arnhem.
225. Nichols, P, M. Hauschild, J. Potting & P. White, 1996. *Impact assessment of non-toxic pollution in life cycle assessment. Part V*. In: Udo de Haes (ed.), 1996.
226. Nielsen, P.H & M. Hauschild, 1998. *Product specific emissions from municipal solid waste landfills. Part I: Landfill model*. Int. J. LCA 3 (3): 158–168.
227. Nigge, K.-M., 1998. *A Method for the Site-Dependent Life Cycle Impact assessment of Toxic Air Pollutants from Traffic Emission*. SAE Paper 982181. Proceedings of the Total Life Cycle Conference, Graz, Austria, December 1–3, 1998, pp. 149–159.
228. Norris, G.A., 1998. *Background Report on Life Cycle Impact assessment Methods for Acidification, Eutrophication, and Photochemical Oxidant Formation*. Pre-workshop report. US Environmental Protection Agency, National Risk Reduction Engineering Laboratory. Washington.
229. OECD, 1995. *The life cycle approach: an overview of product/process analysis*. Report OECD/GD/(95)118, Paris.
230. Oorschot, G.F. van, 1999. *Methode voor de beoordeling van datakwaliteit van milieukenngetallen*. Bouwadviseur 4: 34–36.
231. Owens, J.W., 1996. *LCA Impact assessment Categories. Technical Feasibility and Accuracy*. Int. J. LCA 1 (3):151–158.
232. Owens, J.W., 1997a. *Life-Cycle Assessment. Constraints on Moving from Inventory to Impact assessment*. J. Ind. Ecol. 1 (1): 37–49.
233. Owens, J.W., 1997b. *Life-Cycle Assessment in Relation to Risk Assessment: An Evolving Perspective*. Risk Anal. 17 (3): 359–365.
234. PAGIS, 1988. *Performance assessment of Geological Isolation Systems for Radioactive Waste* (5 volumes). Commission of the European Communities, EUR 11775-EN -- 11779-EN, Luxembourg.
235. Pedersen, B. 1991. *Hvad er et bæredygtigt ressourceforbrug?* Tværfagligt center, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby.
236. Peijnenburg, W.J.G.M., Posthuma, L., Eijsackers, H.J.P., Allen, H.E., 1997. *A conceptual framework for implementation of bioavailability of metals for environmental management purposes*. Ecotox. Environ. Saf 37 (2): 163–172.
237. Peijnenburg, W.J.G.M., Posthuma, L., Zweers, P.G.P.C., Baerselman, R., De Groot, A.C., Van Veen, R.P.M., Jager, T., 1999. *Prediction of metal bioavailability in Dutch field soils for the Oligochaete Enchytraeus crypticus*. Ecotox. Environ. Saf. 43 (2): 170–186.
238. Pleijel, K., H. Pleijel & G.P. Karlsson, 1999. *Quantification of Additional Ozone Load from Local Source Emissions of NOx and VOC*. Poster presented at the 9th Annual Meeting of SETAC-Europe,

25–29 May 1999, Leipzig.

239. Posch, M., J.P. Hettelingh, P.A.M. de Smet & R.J. Downing, 1997. *Calculation and mapping of critical thresholds in Europe, status report 1997*. Coordination center for effects, RIVM, Bilthoven.

240. Potting, J.M.B., 2000. *Spatial differentiation in life cycle Impact assessment*. PhD Thesis. Universiteit Utrecht, Utrecht.

241. Potting, J. & K. Blok, 1994. *Spatial effects of life-cycle Impact assessment*. In: Udo de Haes et al. (eds.), 1994: 91–98.

242. Potting, J. & M. Hauschild, 1997. *Spatial Differentiation in Life-Cycle Assessment via the Site-Dependent Characterisation of Environmental Impact from Emissions*. Int J. LCA 2 (4): 209–216.

243. Potting, J., J.P. Groot-Marcus & M.P. van Golen, 1995. *Levenscyclusanalyse van drie handdroogsystemen*. P-UB-95-01. Wetenschapswinkel Biologie, Utrecht.

244. Potting, J., W. Schöpp, K. Blok & M. Hauschild, 1998. *Site-dependent life-cycle Impact assessment of acidification*. J. Ind. Ecol. 2 (2): 63–87.

245. Potting, J., A. Trukenmüller, M. Hauschild, K. Blok & H. Wenzel, 1999. *Site-Dependent Life Cycle Impact assessment of Human Toxicity from Air Emissions*. 9th Annual Meeting of SETAC-Europe, 25–29 May 1999, Leipzig, Germany. Quality of Life and Environment in Cultured Landscapes. Abstracts, 87.

246. Pujol, J.-L. & M. Boidot Forget, 1994. *Reasonable Use of site-specific information in life-cycle assessment*. In: Udo de Haes et al. (eds.), 1994: 99–104.

247. Puolamaa, M., M. Kaplas, & T. Reinikainen, 1996. *Index of Environmental Friendliness, A Methodological Study*. Statistics Finland, Environment 1996:13, Helsinki.

248. Ragas, A.M.J., Etienne, R.S., Willemsen, F.H., Van de Meent, D., 1999. *Assessing model uncertainty for environmental decision making: a case study of the coherence of independently derived environmental quality objectives for air and water*. Environ. Toxicol. Chem. 18 (8): 1856–1867.

249. Raiborn, C.A., J.T. Barfield and M.R. Kinney, 1993. *Managerial accounting*. West Publishing Company, Minneapolis/St Paul.

250. Rice, G., 1996. *LCA software review: a review of commercial software, with specific emphasis on European industrial applications*. The BOC Group, Windlesham.

251. Rice, G., R. Clift & R. Burns, 1997. *LCA software review: comparison of currently available European LCA software*. Int. J. LCA 2 (1): 53–59.

252. Rijpkema, L.P.M., 1996. *Municipal Solid Waste Combustion Flow and Cost Expert (MSWC-FACE model)*. TNO-MEP R96/079, Apeldoorn.

253. Riley, J.P., 1971. *The major and minor elements in sea water*. In: Riley & Chester (eds.), 1971:60–104.

254. Riley, J.P. & R. Chester (eds.), 1971. *Introduction to marine chemistry*. Academic Press, London.

255. Riley, J.P. & G. Skirrow (eds.), 1995. *Chemical Oceanography, Vol. 1*. Academic Press, London.

256. RIVM (National Institute of Public Health and the Environment), 1992. *The environment in Europe: a global perspective*. RIVM report 481505001, Bilthoven.

257. RIVM (National Institute of Public Health and The Environment), VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment), WVC (Ministry of Welfare, Health and Cultural Affairs), 1994. *Uniform System for the Evaluation of Substances (USES), version 1.0*. Distribution number 11144/150, VROM, The Hague.

258. RIVM (National Institute of Public Health and the Environment), VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment), VWS (Ministry of Health, Welfare and Sport), 1994. *Uniform System for the Evaluation of Substances (USES), version 2.0*. RIVM report no. 679102044, RIVM, Bilthoven.

259. Ron E. & C. Muirhead, 1998. *The Carcinogenic Effects of Ionizing Radiation; Epidemiological Evidence*. In: Anonymous, 1998c:165–180

260. Roos, C., 1989. *Vooronderzoek financiële consequenties van een geurbelevingsnorm*. MT-TNO report no. 88–230, Apeldoorn.

261. SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape), 1998. *Life cycle*

inventories for packagings: Volume I and II. SAEFL, Bern.

262. Sas, H., E. van der Voet, F.G.P. Corten, R. Huele & R. Kleijn, 1997. *Extraction of biotic resources: development of a methodology for incorporation in LCAs, with case studies on timber and fish.* VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment), publicatiereeks produktenbeleid nr. 1997/3. Zoetermeer.

263. Schaltegger, S. & A. Sturm, 1991. *Methodik der ökologischen Rechnungslegung in Unternehmen.* WWZ-Studien Nr.33. Wirtschaftswissenschaftliches Zentrum der Universität Basel, Basel.

264. Schmidt, A & P. Brunn Rasmussen, 1999. *LCA and the working environment - Danish recommendations.* Paper for the joint workshop of the Dutch and Danish methodology projects, Leiden 16–17 September 1999 (<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html>).

265. Schmitz, S., H.-J. Oels & A. Tiedemann, 1994. *Eco-balance for Drink Packaging. Comparative Investigation of the Environmental Effects of the various Packaging Systems for Fresh milk and Beer.* German Federal Environmental Office, III 2.5. Revised Editions, June 7. Berlin.

266. Schneider, F., 1996. *Analyse des reemplois, recyclages, valorisations de déchets par l'étude de systèmes cascades.* L'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, Numéro d'ordre 96 ISAL0132, Lyon.

267. Schulze, C. & M. Matthies, 1999. *Introducing Spatial and Temporal Variations in the LCIA of Household Laundry.* 9th Annual Meeting of SETAC-Europe, 25–29 May 1999, Leipzig, Germany. Quality of Life and Environment in Cultured Landscapes. Abstracts. p. 86.

268. Seijdel, R.R., 1998. *Waardering van recycling in LCA's - case study voor EPS.* Projectnummer: 886.002. PRC Bouwcentrum B.V., Bodegraven.

269. Sen, A.K., 1969. *Collective choice and social welfare.* Holden Day, San Francisco.

270. SETAC, 1992. *Life-Cycle Assessment.* Workshop-report. SETAC-Europe, Brussels.

271. SETAC, 1998. *Life Cycle Assessment and conceptually related programmes - Summary.* Report of SETAC-Europe Working Group. SETAC-Europe, Brussels.

272. Siegenthaler, C., S. Linder & F. Pagliari, 1997. *The LCA software guide 1997.* 2. Edition. SINUM, Adliswil.

273. Singhofen A., 1996. *Introduction into a Common Format for Life-Cycle Inventory Data.* Status report, SPOLD, Brussels.

274. Singhofen A., C.R. Hemming, B.P. Weidema, L. Grisel, R. Bretz, B. de Smet, D. Russell, 1996. *Life Cycle Inventory Data: Development of a Common Format.* Int. J. of LCA 1 (3): 171–178.

275. Slooff, W., 1992. *Ecotoxicological effect assessment: deriving maximum tolerable concentrations (MTC) from single-species toxicity data.* RIVM report nr. 719102018, Bilthoven.

276. Smith, G.M., H.S. Fearn, K.R. Smith, J.P. Davis & R. Klos, 1988. *Assessment of the radiological impact of disposal of solid radioactive waste at Drigg.* National Radiological Protection Board, NRPB-R205, Didcot.

277. Sokal, A. & J. Bricmont, 1997. *Impostures Intellectuelles.* Odile Jacob, Paris.

278. Solberg-Johansen, B., 1998. *Environmental life cycle assessment of the nuclear fuel cycle.* Thesis, Centre for environmental strategy, school of chemical, civil and environmental engineering, University of Surrey.

279. Solomon, S. & D.L. Albritton, 1992. *Time-dependent ozone depletion potentials for short- and long-term forecast.* Nature 357: 33–37.

280. Steen, B., 1995. *Valuation of environmental impacts from depletion of metal and fossil mineral reserves and from emission of CO₂.* AFR-Report, AFR (Swedish Waste Research Council), Stockholm.

281. Steen, B., 1996. *EPS-Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources.* Version 1996. AFR Report 111. AFN, Swedish EPA, Stockholm, Sweden.

282. Steen, B., 1999. *A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS).* Version 2000. Centre for Environmental assessment of products and material systems., Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning, Gothenburg.

283. Steen, B. & S.-O. Ryding, S.-O., 1992. *The EPS enviro-accounting method. An application of environmental accounting principles for evaluation and valuation of environmental impact in product design.* IVL Report B 1080. IVL, Gothenburg.

284. Steen B., R. Carlson, G. Löfgren, 1995. *SPINE A Relation Database Structure for Life Cycle*

Assessments. Chalmers University of Technology; Chalmers Industriteknik; Swedish Environmental Research Institute, Gothenburg.

285. Stolwijk, S., Villars, M.T., Laane, R., Baart, A., Dick, S., Svendsen, E., Tappin, A., De Vries, A., 1998. *Comparison of the performance of five different water quality models of the North Sea*. Environmental Modeling & Software 13, 455–460.
286. Stumm, W. & J.J. Morgan, 1981. *Aquatic chemistry – Introduction emphasizing chemical equilibria in natural water*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York.
287. Suh, S. and G. Huppes, 2000a. *Gearing Input-output model into LCA-Part I: General framework for hybrid approach*. CML working paper 2000.007, Leiden University, Leiden.
288. Suh, S. and G. Huppes, 2000b. *Gearing Input-output model into LCA-Part II: Compilation of environmentally extended input-output table of US*. CML working paper 2000.007, Leiden University, Leiden.
289. Sundberg, J., T. Nybrandt & Å. Sivertun, 1998. *Systems Engineering models for Waste Management*. Proceedings from the international workshop held in Gothenburg, Sweden 25–26 February 1998, AFR-Report 229 Part 2 (ISSN 1102–6944), Stockholm.
290. Tellus Institute, 1992. *The Tellus packaging study*. Boston.
291. Tillman, A.-M., 1999. *Significance of decision-making for LCA methodology*. Accepted for publication in Environmental Impact assessment Review.
292. Todd, J.A., M.A. Curran, K. Weitz, A. Sharma, B. Vigon, E. Price, G. Norris, P. Eagan, W. Owens & A. Veroutis, 1999. *Streamlined Life cycle assessment: a final report from the SETAC North America Streamlined LCA workgroup*. SETAC. Pensacola.
293. Tol, R.S.J., 1999. *New estimates of the damage costs of climate change, Part 1: Benchmark estimates (draft)*. Institute for Environmental Studies (IvM), Free University of Amsterdam, Amsterdam.
294. Tolle, D., 1997. *Regional scaling and normalization in LCIA*. Int. J. LCA 2 (4): 197–208.
295. Tørsløv, J., M.Z. Hauschild & D. Rasmussen, 1999. *The Need and Feasibility of Inclusion of Spatial Information in Characterisation of Ecotoxicity*. 9th Annual Meeting of SETAC-Europe, 25–29 May 1999, Leipzig, Germany. Quality of Life and Environment in Cultured Landscapes. Abstracts. p. 78.
296. Tukker, A., 1999. *Frames in the toxicity controversy. Risk assessment and policy analysis related to the Dutch chlorine debate and the Swedish PVC debate*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
297. Udo de Haes, 1996. *Discussion of general principles and guidelines for practical use*. In: Udo de Haes (ed.), 1996: 7–30.
298. Udo de Haes, H.A., 1996 (ed.). *Towards a Methodology for Life Cycle Impact assessment*. SETAC-Europe, Brussels.
299. Udo de Haes H. & N. Wrisberg (eds.), 1997. *LCANET, European Network for Strategic Life-Cycle Assessment Research and Development*. LCA Documents, Eco-Infoma Press, Bayreuth, Germany.
300. Udo de Haes, H.A. & C.J.G. van Halen (eds.), 1997. *Results of the Dutch Platform "LCA & waste"*. PIIMC, The Hague.
301. Udo de Haes, H.A., A.A. Jensen, W. Klöpfer & L.G. Lindfors (eds.), 1994. *Integrating Impact assessment into LCA*. SETAC-Europe, Brussels.
302. Udo de Haes, H.A., R. Clift, R. Griesshammer, L. Grisel & A.A. Jensen, 1996. *Practical guidelines for Life Cycle assessment for the EU ecolabeling programme*. Leiden.
303. Udo de Haes, H.A., O. Jolliet, G. Finnveden, M. Hauschild, W. Krewitt & R. Müller-Wenk, 1999; *Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle Impact assessment*. Background document for the second working group on life cycle Impact assessment of SETAC-Europe (WIA–2). Int. J. LCA 4 (2): 66–74 & Int. J. LCA 4 (3): 167–174.
304. UNECE, 1990. *Draft technical annex on classification of volatile organic compounds based on their photochemical ozone creation potential (POCP)*. United Nations Economic Commission for Europe (Economic and Social Council), Geneva.
305. UNEP, 1996. *Life Cycle Assessment: What it is and how to do it*. United Nations Environment Programme Industry and Environment, Paris.
306. UNEP, 1998. *Environmental effects of ozone depletion, 1998 assessment*. Journal of Photochemistry & Photobiology B: Biology, Vol 46.
307. UNEP, 1999. *Towards the global use of life cycle assessment*. United Nations Environment

- Programme, Division of Technology, Industry and Economics, Production and Consumption Unit. ISBN 92-807-1740-5. Paris.
308. United States Department of the Interior - Bureau of Mines, 1993. *Mineral commodity summaries 1993*. U.S. Government Printing Office, Washington DC.
309. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*; UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York
310. Ven, B.L. van der, 1996. *Integraal ketenbeheer op bedrijfsniveau, Hunter Douglas*. NOH report 9614, Utrecht.
311. Virtanen, Y. and S. Nilsson, 1993. *Environmental impacts of waste paper recycling*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Austria & Earthscan Publications Ltd, London.
312. Volkwein, S., R. Gühr & W. Klöpffer, 1996. *The Valuation Step Within LCA. Part II: A Formalized Method of Prioritization by Expert Panels*. Int. J. LCA 1 (4): 182-192.
313. Vries, W. de & D.J. Bakker, 1998. *Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems. Guidelines for critical limits, calculation methods and input data*. Report 166. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
314. VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment), 1989. *Nationaal milieubeleidsplan, kiezen of verliezen*. SDU, The Hague.
315. Wegener Sleeswijk, A., 2000. *LCA and risk assessment: their mutual relationships in the context of fate modeling, spatial differentiation, environmental thresholds, and toxic impact assessment*. Submitted for publication.
316. Wegener Sleeswijk, A. & G. Huppes, 1994. *Leerpuntenverslag van het project 'LCA fosfogips'*. V&W-DGR-DWW, Delft.
317. Wegener Sleeswijk, A., R. Kleijn, M.J.G. Meeusen-van Onna, H. Leneman, H.H.W.J.M. Sengers, H. van Zeijts, J.A.W.A. Reus, 1996. *Application of LCA to Agricultural Products; 1. Core methodological issues; 2. Supplement to the LCA Guide; 3. Methodological background*. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden.
318. Weidema, B.P. & M.S. Wesnaes, 1996. *Data quality management for life cycle inventories - an example of using data quality indicators*. J. Cleaner Production 4 (3-4): 167-174.
319. Weidema, B.P., 1993. *Development of a method for product life cycle assessment, with special reference to food products*. Ph. D. Thesis. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark
320. Weidema, B.P., 1994. *Qualitative and quantitative parameters in product impact assessment*. In: Udo de Haes *et al.* (eds.), 1994: 29-35.
321. Weidema, B.P., 1998a. *New developments in the methodology for life cycle assessment*. In: Anonymous, 1998b:47-50.
322. Weidema, B.P., 1998b. *Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory*. Int. J. LCA 3 (5): 259-265.
323. Weidema, B.P., 2001. *Avoiding co-product allocation in life-cycle assessment*. J. Ind. Ecol. 4 (3): 39-61.
324. Weidema, B.P., N. Frees & A.-M. Nielsen, 1999. *Marginal production technologies in life cycle inventories*. Int. J. LCA 4 (1): 48-56.
325. Wenzel, H, M. Hauschild & L. Alting, 1997. *Environmental Assessment of products. Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development*. Chapman & Hall, London.
326. Wenzel, H., 1998. *Application dependency of LCA methodology: key variables and their mode of influencing the method*. Int. J. LCA 3 (5): 281-288.
327. Werner F., 2000. *Allocation in LCA for recycling of aluminium, development and evaluation of value-based approaches applied on window frames*. Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Duebendorf.
328. Werner, F. & K. Richter, 2000. *Economic allocation in LCA: A case study about aluminium window frames*. Int. J. of LCA 5 (2): 79-83.
329. Wilson, B. & B. Jones, 1994. *The Phosphate Report*. Landbank Environmental Research and Consulting, London, UK.
330. WMO (World Meteorological Organisation), 1989. *Scientific assessment of stratospheric ozone*. Volume I; report nr. 20. WMO/UNEP, Geneva.
331. WMO (World Meteorological Organisation), 1992. *Scientific assessment of ozone depletion: 1991*. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report no. 25. Geneva.

332. WMO (World Meteorological Organisation), 1995. *Scientific assessment of ozone depletion: 1994*. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report no. 37. Geneva.
333. WMO (World Meteorological Organisation), 1999. *Scientific assessment of ozone depletion: 1998*. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report no. 44. Geneva.
334. Wrisberg, M.N., H.A. Udo de Haes, U. Triebswetter, P. Eder & R. Clift, in prep. *Analytical tools for environmental design and management in a systems perspective*. Report of the EU-Concerted Action CHAINET in the Environmental Climate Programme (EU nr. ENV4-CT97-0477).
335. Wuebbles, D.J., 1988. *Relative effects on stratospheric ozone of halogenated methanes and ethanes of social and industrial interest*. UNEP, Nairobi (Conference 19-10-1988).

ΜΕΡΟΣ Β
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Εισαγωγή

Με την έννοια ενεργειακό σύστημα εννοούμε ένα πλήρες σύστημα για παραγωγή και χρήση ενέργειας σε ένα δεδομένο πλαίσιο όπως μια χώρα, μια περιοχή, ή ένα άλλο είδος περιοχής, οι οποίες μπορούν να καθοριστούν από την άποψη των συνόρων με τους γνωστά ενεργειακά μεγέθη εισαγωγών και εξαγωγών.

Τα φυσικά μέρη του ενεργειακού συστήματος θα ήταν χαρακτηριστικά για διάφορες εγκαταστάσεις για την χρήση, την εισαγωγή ή τη συλλογή της ενέργειας, έπειτα για τη διαχείριση (π.χ. καθαρισμός), και διαδοχικά τη μετατροπή της ενέργειας κατά μήκος μιας αλυσίδας βημάτων που οδηγούν στην τελική μετατροπή, στον τελικό χρήστη. Κατά μήκος της αλυσίδας, η μεταφορά πραγματοποιείται μεταξύ των σημείων της ενδιάμεσης μετατροπής, σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα και τη λειτουργία του γενικού ενεργειακού δικτύου.

Κάθε φυσικό τμήμα συστημάτων περνά από διάφορες φάσεις, συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων κατασκευής, μια περίοδο λειτουργίας με την κατάλληλη συντήρηση, την επισκευή και την αντικατάσταση του εξοπλισμού, και ενδεχομένως μια τελική φάση παροπλισμού. Οι φυσικές εισαγωγές κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων περιλαμβάνουν την εργασία και τα υλικά, τα μηχανήματα και τις ενεργειακές εισροές. Η οργάνωση αυτών των δραστηριοτήτων μπορεί σε διαστήματα να τροποποιηθεί προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα ή να προσαρμοστούν η νέα τεχνολογία ή οι νέες διοικητικές ιδέες. Αυτές οι δραστηριότητες είναι μια πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι διαδικασίες ενεργειακής επεξεργασίας ή μετατροπής ή μετάδοσης αποτελούν μία άλλη, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των επιπτώσεων ως αποτέλεσμα των τελικών μετατροπών και της χρήσης ενέργειας.

Ένα σημαντικό σύνολο παραμέτρων για τα ενεργειακά συστήματα είναι οι τεχνολογικές επιλογές που γίνονται ή οι επιλογές που πραγματοποιούνται από τη νέα τεχνολογία που διατίθεται. Αυτοί περιλαμβάνουν τις αποδοτικότητες των διάφορων διαδικασιών μετατροπής κατά μήκος των ενεργειακών αλυσίδων, αλλά και την αποδοτικότητα της ικανοποίησης μιας δεδομένης ζήτησης, με την επιλογή μιας συγκεκριμένης, μεταξύ διάφορων πιθανών δομικών λύσεων, που θα χρησιμοποιούσε.

ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΑ

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, λειτουργίας και απόρριψης

Υλικά (συμπεριλαμβανομένων των καυσίμων)
Εργασία και μηχανήματα
Ιδέες, όπως
ενεργειακά σχέδια
σχέδια συστημάτων
δαμική οργάνωση
λειτουργική οργάνωση
συνιήρηση και
σχέδια αντικατάστασης
επιλογές σταδιακής κατάρτησης

ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΑ

επιθυμητές ενεργειακές υπηρεσίες
επιδράσεις στους ανθρώπους
στη βιόσφαιρα
στο τοπικό και παγκόσμιο
περιβάλλον
στην τοπική και
παγκόσμια κοινωνία



Χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και συνεπαγόμενη αποδοτικότητα
μετατροπής ή χρήσης, συνεπαγόμενης ανθεκτικότητας
και ασφάλειας, κ.λ.π.

σχήμα 1. Συστατικά στον καθορισμό ενός ενεργειακού συστήματος

Τα ενεργειακά συστήματα μπορούν να διαιρεθούν σε δύο σημαντικές κατηγορίες:

- συστήματα που παράγουν ενέργεια, και
- συστήματα που καταναλώνουν ενέργεια

Τα συστήματα που παράγουν ενέργεια περιλαμβάνουν:

1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα
2. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα πυρηνικά καύσιμα
3. Ηλεκτρική ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τα συστήματα που καταναλώνουν την ενέργεια περιλαμβάνουν:

1. Παραγωγή θερμότητας από τα συμβατικά καύσιμα
2. Μεταφορικά μέσα αέρος, εδάφους και ύδατος

Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Συμβατικά καύσιμα

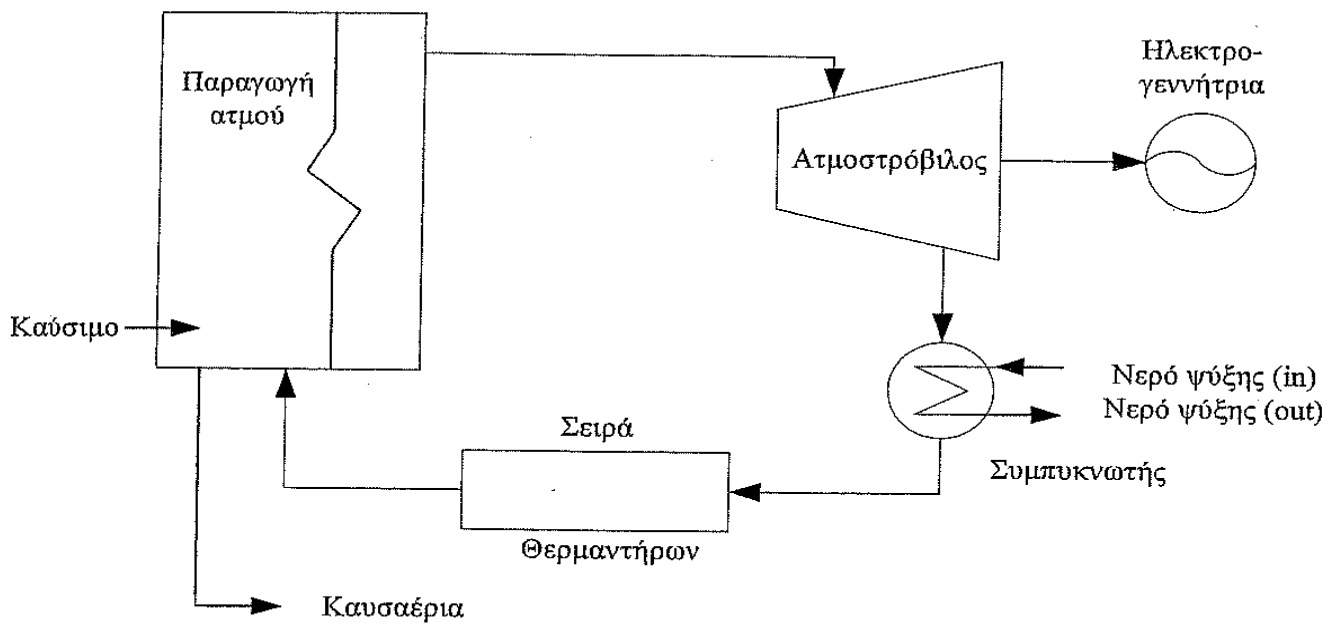
Η βιομηχανία ηλεκτρικής παραγωγής από συμβατικά καύσιμα περιλαμβάνει την πλειοψηφία της συνολικής βιομηχανίας ηλεκτρικής παραγωγής. Αυτό το υποσύνολο της βιομηχανίας περιλαμβάνει μόνο τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν είτε τον άνθρακα, το πετρέλαιο, είτε το αέριο ως πηγή ενέργειας για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια και δεν περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τις πυρηνικές ή ανανεώσιμες (π.χ., ξύλα, ήλιος) πηγές ενέργειας αποκλειστικά.

Η πλειοψηφία της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σήμερα παράγεται από τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τα συστήματα στρόβιλων ατμού. Άλλα συστήματα συμβατικών καυσίμων ευρέως χρησιμοποιούμενοι περιλαμβάνουν τους στρόβιλους φυσικού αερίου και τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Ακόμη, άλλα συστήματα ηλεκτρικής παραγωγής υιοθετούν έναν συνδυασμό των ανωτέρω, όπως τα συστήματα συνδυασμένων κύκλων και συμπαραγωγής. Τα μεγέθη της παραγωγής αυτών των συστημάτων αυξάνονται ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων που τοποθετούνται στη βιομηχανία για να παρέχουν οικονομικά και αποδοτικά συστήματα.

Ο τύπος συστημάτων που χρησιμοποιείται σε μια δυνατότητα που επιλέγεται βασίζεται στα φορτία, τη διαθεσιμότητα των καυσίμων, και τις σε ενεργειακές ανάγκες της μονάδας παραγωγής ηλεκτρισμού. Στις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αυτά τα συστήματα, άλλες βοηθητικές διαδικασίες πρέπει να εκτελεσθούν για να υποστηρίξουν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι βοηθητικές διαδικασίες μπορούν να περιλάβουν τέτοιες ενισχυτικές διαδικασίες όπως παραδείγματος χάριν την επεξεργασία άνθρακα και τον έλεγχο της ρύπανσης.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

Η διαδικασία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από ατμό περιλαμβάνει τέσσερα μέρη: ένα υποσύστημα θέρμανσης (καύσιμα για να παράγει τον ατμό), ένα υποσύστημα ατμού (σύστημα παράδοσης λεβήτων και ατμού), ένας στρόβιλος ατμού, και έναν συμπυκνωτή (για τη συμπύκνωση του χρησιμοποιημένου ατμού). Η θερμότητα για το σύστημα παρέχεται συνήθως από την καύση του άνθρακα, του φυσικού αερίου, ή του πετρελαίου. Τα καύσιμα εισέρχονται στο φούρνο του λέβητα. Οι λέβητες παράγουν τον ατμό στο διατηρημένο υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση θάλαμο, στους μικρούς λέβητες ή στο σύστημα σωλήνων νερού-τοιχών με σύγχρονη χρήση και τους βιομηχανικούς λέβητες. Τα πρόσθετα στοιχεία μέσα στο λέβητα ή που είναι συνδεδεμένα με το λέβητα, όπως ο υπερθερμαντής, ο αναθερμαντής, ο εξοικονομητής και οι αεροθερμαντήρες, βελτιώνουν την αποδοτικότητα του λέβητα.



σχήμα 2. Παραγωγή ατμού στροβίλων

Τα απόβλητα από τη διαδικασία καύσης περιλαμβάνουν τα καυσαέρια και όταν χρησιμοποιείται ο άνθρακας ή το πετρέλαιο ως καύσιμα, την τέφρα. Αυτά τα απόβλητα ελέγχονται χαρακτηριστικά για να μειώσουν τα επίπεδα ρύπων που βγαίνουν από τον καυστήρα. Η τέφρα, ένα άλλο υποπροϊόν της καύσης, επίσης φεύγει από τον καυστήρα. Ο υψηλής θερμοκρασίας, υψηλής πίεσης ατμός παράγεται στο λέβητα και εισάγεται έπειτα στο στρόβιλο ατμού. Στο τέλος του στροβίλου ατμού είναι ο συμπυκνωτής, ο οποίος διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία και πίεση. Ο ατμός που "ορμά" από τον λέβητα υψηλής πίεσης στο συμπυκνωτή χαμηλής πίεσης δίνει κίνηση στις λεπίδες στροβίλου, οι οποίες δίνουν κίνηση στην ηλεκτρική γεννήτρια. Ο ατμός εκτονώνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ως εκ τούτου, ο στρόβιλος είναι ευρύτερος στην έξοδο του ατμού. Η θεωρητική θερμική αποδοτικότητα της μονάδας εξαρτάται από την υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο λέβητα και τη χαμηλή θερμοκρασία και την πίεση στο συμπυκνωτή.

Οι στρόβιλοι ατμού έχουν χαρακτηριστικά μια θερμική αποδοτικότητα περίπου 35 τοις εκατό, που σημαίνει ότι το 35 τοις εκατό της θερμότητας της καύσης μετασχηματίζεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα υπόλοιπα 65 τοις εκατό της θερμότητας είτε φεύγουν από την καμινάδα (τυπικά 10 τοις εκατό) είτε απορροφούνται από το νερό ψύξης των συμπυκνωτών (τυπικά 55 τοις εκατό).

Ο χαμηλής πίεσης ατμός που βγαίνει από το στρόβιλο εισέρχεται στο κοχύλι συμπυκνωτών και συμπυκνώνεται στους σωλήνες συμπυκνωτών. Οι σωλήνες συμπυκνωτών διατηρούνται σε μια χαμηλή θερμοκρασία από τη ροή του νερού ψύξης. Ο συμπυκνωτής είναι απαραίτητος για την αποδοτική λειτουργία με την παροχή μιας χαμηλής πίεσης δεξαμενής για τον "εξαντλημένο" ατμό. Δεδομένου ότι ο ατμός ψύχεται στο συμπύκνωμα, το συμπύκνωμα μεταφέρεται πίσω στο λέβητα, όπου χρησιμοποιείται πάλι. Όντας χαμηλής έντασης ασυμπίεστο υγρό, το συμπυκνωμένο νερό μπορεί να αντληθεί αποτελεσματικά πίσω στον υψηλό λέβητα.

Σταθερή ροή χαμηλής θερμοκρασίας του νερού ψύξης στους σωλήνες συμπυκνωτών απαιτείται για να κρατήσει το κοχύλι των συμπυκνωτών (πλευρά ατμού) σε κατάλληλη πίεση και για να εξασφαλίσει αποδοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω της διαδικασίας συμπύκνωσης, το νερό ψύξης θερμαίνεται. Εάν το σύστημα ψύξης είναι ανοικτό ή χωρίς ανακύκλωση, αυτό το θερμό νερό επιστρέφει στην πηγή προέλευσης. Σε ένα κλειστό σύστημα, το θερμό νερό ψύχεται από την επανακυκλοφορία μέσω των πύργων ψύξης, των λιμνών, όπου η θερμότητα απελευθερώνεται στον αέρα μέσω της εξάτμισης ή/και της μεταφοράς θερμότητας. Εάν ένα σύστημα ψύξης με ανακύκλωση χρησιμοποιείται, μόνο ένα μικρό ποσό φρέσκου νερού απαιτείται για να αντισταθμίσει τις απώλειες στους πύργους ψύξης που πρέπει να φύγει

περιοδικά για να ελεγχθεί η συγκέντρωση των στερεών. Έναντι ενός άμεσου συστήματος, ένα σύστημα επανακυκλοφορίας χρησιμοποιεί περίπου το ένα-εικοστό του νερού.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

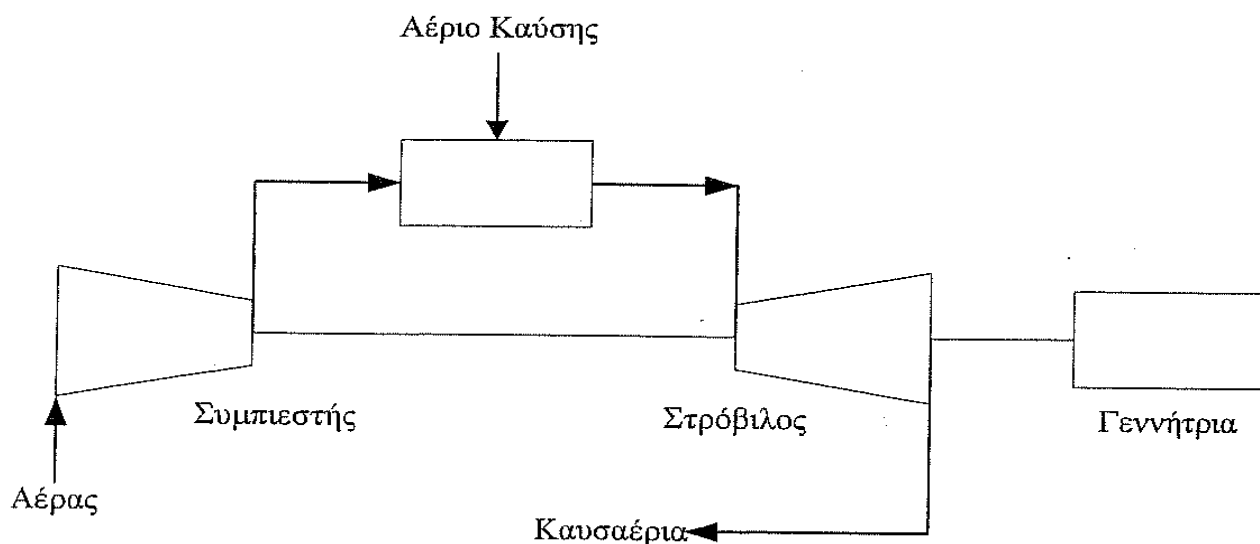
Μονάδες παραγωγής εσωτερικής καύσης, επίσης γνωστές ως μηχανές diesel, έχουν έναν ή περισσότερους κυλίνδρους στους οποίους γίνεται η καύση. Η εσωτερική καύση μετατρέπει τη χημική ενέργεια των καυσίμων σε μηχανική ενέργεια με ένα σχέδιο παρόμοιο με μια μηχανή αυτοκινήτου. Συνδεδεμένη με τον άξονα της γεννήτριας, η μηχανή παρέχει τη μηχανική ενέργεια για να οδηγήσει τη γεννήτρια ώστε να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια. Οι μονάδες παραγωγής εσωτερικής καύσης είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε κύκλους τεσσάρων ή δύο χρόνων.

Οι γεννήτριες ηλεκτρισμού είναι μικρές και έχουν εύρος ικανότητας από 2 έως 6 μεγαβάτ. Είναι αποδοτικότερες από τους στροβίλους αερίου. Επιπλέον, η κύρια δαπάνη είναι χαμηλή, εύκολα μεταφέρονται, και μπορούν να παράγουν ενέργεια σχεδόν αμέσως με το ξεκίνημα. Για αυτόν τον λόγο, οι γεννήτριες με μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιούνται συχνά για μικρά φορτία και για ισχύ άμεσης ανάγκης.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ ΑΕΡΙΟΥ

Τα συστήματα στροβίλων αερίου λειτουργούν κατά τρόπο παρόμοιο με τα συστήματα στροβίλων ατμού εκτός από το ότι τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται για να δώσουν κίνηση στις λεπίδες στροβίλων αντί του ατμού. Εκτός από την ηλεκτρική γεννήτρια, ο στρόβιλος δίνει κίνηση επίσης σε έναν περιστρεφόμενο συμπιεστή για να συμπιέσει τον αέρα, ο οποίος αναμιγνύεται έπειτα είτε με το αέριο καύσιμο είτε με τα υγρά καύσιμα στο θάλαμο καύσης. Όσο μεγαλύτερη η συμπίεση, τόσο υψηλότερη η θερμοκρασία και η αποδοτικότητα που μπορούν να επιτευχθούν σε έναν στρόβιλο αερίου. Τα καυσαέρια εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από το στρόβιλο. Αντίθετα από ένα σύστημα στροβίλων ατμού, τα συστήματα στροβίλων αερίου δεν έχουν λέβητες ή ανεφοδιασμό ατμού, συμπυκνωτές ή ένα σύστημα διαχείρισης της θερμότητας των αποβλήτων. Επομένως, οι κύριες δαπάνες είναι πολύ χαμηλότερες για ένα σύστημα στροβίλων αερίου απ' ό,τι για ένα σύστημα ατμού.

Στις εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας, οι στρόβιλοι αερίου χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά για φορτία αιχμής όπου απαιτείται γρήγορο ξεκίνημα σε σύντομα διαστήματα. Οι περισσότεροι εγκατεστημένοι απλοί στρόβιλοι αερίου χωρίς τους ελέγχους έχουν μόνο 20 με 30 τοις εκατό αποδοτικότητα. Το σχήμα 3 παρουσιάζει μια σχηματική αναπαράσταση ενός απλού συστήματος στροβίλων αερίου.

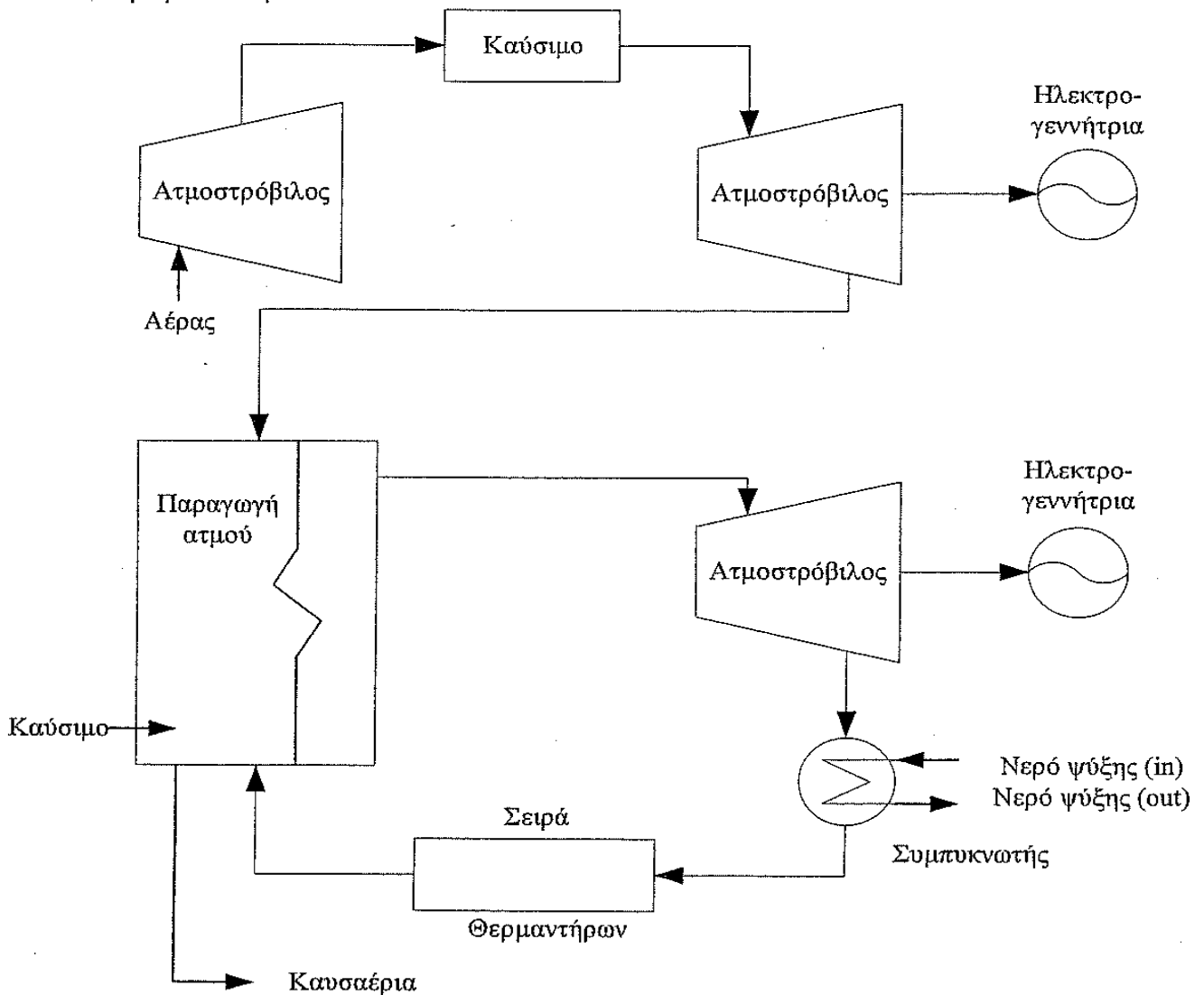


σχήμα 3. Απλός κύκλος στροβίλων αερίου

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΚΥΚΛΟ

Η παραγωγή ηλεκτρισμού με συνδυασμένο κύκλο είναι μια διεργασία που χρησιμοποιεί και τους στροβίλους αερίου και τις γεννήτριες ατμού. Σε έναν στρόβιλο αερίου συνδυασμένου

κύκλου (CCGT), τα θερμά καυσαέρια του στροβίλου αερίου χρησιμοποιούνται για να παρέχουν όλη ή ένα ποσοστό θερμότητας για το λέβητα, ο οποίος παράγει τον ατμό για το στροβίλο ατμοπαραγωγής. Αυτός ο συνδυασμός αυξάνει τη θερμική αποδοτικότητα σε σχέση με έναν στροβίλο ατμοπαραγωγής με καύσιμα άνθρακα ή πετρέλαιο. Το σύστημα έχει αποδοτικότητα περίπου 54 % και η κατανάλωση καυσίμου είναι περίπου 25 % πιο μικρή. Τα συστήματα συνδυασμένων κύκλων μπορούν να έχουν πολλαπλάσιους στροβίλους αερίου που οδηγούν έναν στροβίλο ατμού.

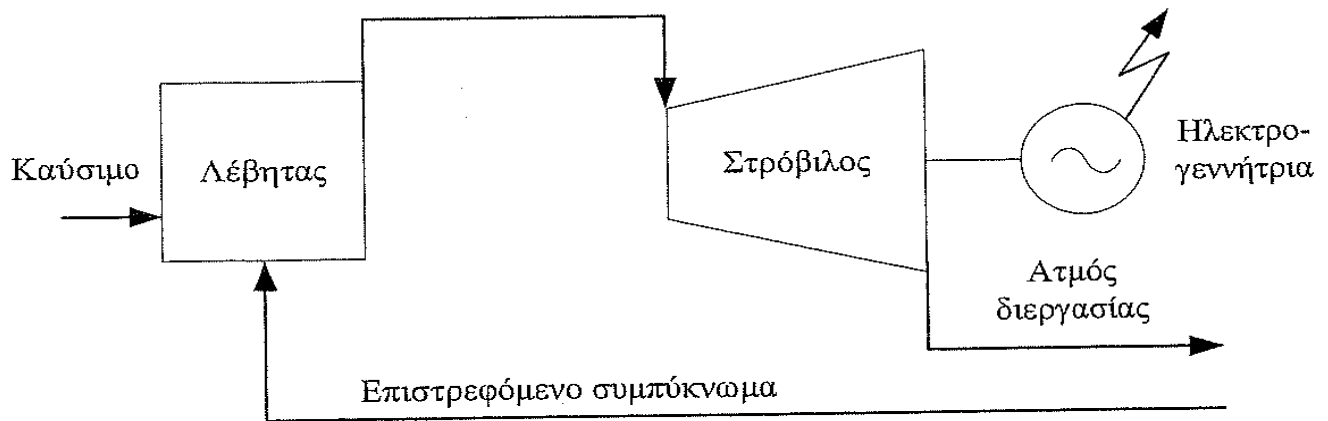


σχήμα 4. Ηλεκτροπαραγωγή με διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας

ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η συμπαραγωγή είναι η "συγχώνευση" ενός συστήματος που είναι σχεδιασμένο να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και ενός συστήματος που να χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας και ατμού.

Αυτό το σύστημα είναι ενεργειακά αποδοτικότερο και επιτρέπει την αποκατάσταση της ούτως ή άλλως σπαταλημένης θερμικής ενέργειας για τη χρήση σε βιομηχανική διαδικασία. Οι τεχνολογίες συμπαραγωγής είναι ταξινομημένες ως συστήματα "υψηλών κύκλων" και "χαμηλών κύκλων", ανάλογα με το εάν η ηλεκτρική (υψηλών κύκλων) ή η θερμική (χαμηλών κύκλων) ενέργεια παράγεται πρώτα. Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής χρησιμοποιούν έναν υψηλό κύκλο. Αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 4. είναι σύστημα υψηλών στροβίλων ατμού. Ο ατμός που παρουσιάζεται στο σχήμα 5 είναι συμπυκνωμένος δεδομένου ότι μεταφέρει θερμότητα σε μια βιομηχανική διαδικασία, και το προκύπτον συμπύκνωμα επιστρέφει πίσω στο λέβητα, όπως φαίνεται.



σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση εγκαταστάσεων συμπαραγωγής

Σε ένα σύστημα υψηλού κύκλου, τα καύσιμα χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν ισχύ με καυστήρα κύκλου ατμολέβητα ή στρόβιλου αερίου. Η θερμότητα των αποβλήτων από τη διαδικασία ηλεκτρικής παραγωγής χρησιμοποιείται έπειτα σε μια βιομηχανική διαδικασία.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Οι ρύποι παράγονται ως υποπροϊόντα από την καύση των συμβατικών καυσίμων για να παραγάγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Η διαδικασία καύσης απελευθερώνει ρύπους όπως NO_x , μονοξείδιο άνθρακα (CO), σωματίδια (PM), SO_2 , πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs), οργανικούς υδρογονάνθρακες, και ίχνη μετάλλων, στον αέρα. Τα απόβλητα καύσης, η πλειοψηφία των οποίων είναι απόβλητα τέφρας, δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών καύσης χρησιμοποιώντας άνθρακα ή πετρέλαιο για καύσιμα. Τα απόβλητα εκτός της καύσης, όπως η ψύξη, η διαδικασία, και τα νερά βροχής που εκρέουν από τις εγκαταστάσεις ηλεκτρικής παραγωγής από συμβατικά καύσιμα έχουν τη δυνατότητα να απελευθερώνουν ρύπους (π.χ., χλώριο, βαριά μέταλλα, θερμική ρύπανση) στα φυσικά νερά.

Εκπομπές αερίων

Εκπομπές αερίων από τα αέρια καυσαέρια με την καύση άνθρακα - και από πετρελαιοκίνητους λέβητες περιλαμβάνουν NO_x , CO , SO_2 , και PM . Ποσά SO_2 εκπεμπόμενα εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από το ποσό του θείου που είναι παρόν στον άνθρακα ή το πετρέλαιο και τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να παραγάγει τον ατμό.

Αλλά αέρια εκπομπών είναι ο συνολικά οργανικός άνθρακας (TOC) όπως το μεθάνιο, υδρογονάνθρακες εκτός του μεθανίου (NMHC), και VOCs . Βρίσκονται επίσης ίχνη μολύβδου και άλλων μετάλλων και μεταλλευμάτων. Αυτά τα μέταλλα είναι παρόντα στον άνθρακα και το πετρέλαιο. Θείο βρίσκεται επίσης σε αυτά τα καύσιμα (περισσότερα στον άνθρακα απ'ό,τι στο πετρέλαιο), ενώ η αιωρούμενη τέφρα είναι το προϊόν του θείου και άλλων ορυκτών υλικών που δεν καίγονται.

Η σκόνη διαφυγόντων από τους σωρούς άνθρακα και τον εξοπλισμό χειρισμού των καυσίμων είναι μια άλλη πηγή σωματιδίων. Επιπλέον, οι εκπομπές διαφυγόντων VOCs μπορούν να προκύψουν από τους σωρούς άνθρακα κατά τη διάρκεια της αφαίρεσης πτητικών ενώσεων χαμηλής θερμοκρασίας.

Εναντι ενός τροφοδοτημένου με συμβατικά καύσιμα συστήματος στρόβιλου ατμού χωρίς έλεγχο ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ένα σύστημα ηλεκτρικής παραγωγής με φυσικό αέριο χωρίς τους ελέγχους εκπέμπει λιγότερα NO_x και SO_2 και ίχνη ποσών TOC , PM και CO .

Οι στρόβιλοι φυσικού αερίου συνδυασμένων κύκλων δεν έχουν ουσιαστικά καμία εκπομπή SO_2 λόγω της καθαρότητας του φυσικού αερίου. Επειδή δεν έχουν χρήση πετρελαίου ή άνθρακα στερεά απόβλητα δεν υπάρχουν και τα CO_2 , NO_x , και η θερμική ρύπανση περιορίζονται κατά 60 τοις εκατό.

Η συμπαραγωγή θεωρείται τεχνολογία πρόληψης ρύπανσης. Άλλα οφέλη της συμπαραγωγής είναι η μειωμένη κατανάλωση καυσίμων και οι πιο μικρές εκπομπές αερίων. Λόγω του μικρότερου μεγέθους τους, εντούτοις, τα συστήματα συμπαραγωγής τείνουν να έχουν τα χαμηλότερα ύψη σωρών. Επομένως, οι άμεσες εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στην αυξανόμενη τοπική ρύπανση.

Απόβλητα καύσης

Δύο κύρια απόβλητα συνδέονται με την καύση των συμβατικών καυσίμων: απόβλητα αποθείωσης καυσαερίου και απόβλητα τέφρας (FGD). Οι ποσότητες αυτών των αποβλήτων που παράγονται εξαρτώνται από τα συμβατικά καύσιμα που καίγονται.

Απόβλητα τέφρας: Δύο τύποι τεφρών παράγονται κατά τη διάρκεια της καύσης των συμβατικών καυσίμων: η τέφρα από τα καύσιμα και η αιωρούμενη τέφρα. Η αιωρούμενη τέφρα είναι ένα λεπτότερο υλικό τέφρας που αντέχει από το αέριο σωλήνων από τον καυστήρα στο τέλος του λέβητα. Οι τέφρες καύσης συλλέγονται και απαλλάσσονται από το λέβητα, τον εξοικονομητή, τους αεροθερμαντήρες, ηλεκτροστατικό precipitator, και τα φίλτρα υφάσματος. Η αιωρούμενη τέφρα συλλέγεται στον εξοικονομητή και τους αεροθερμαντήρες ή συλλέγεται από το μοριακό εξοπλισμό ελέγχου. Οι με κάρβουνο εγκαταστάσεις παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα τέφρας ενώ οι εγκαταστάσεις αερίου παράγουν τόσο μικρή ποσότητα όπου ο διαχωρισμός των εγκαταστάσεων τέφρας δεν είναι απαραίτητος. Η αιωρούμενη τέφρα και κατώτατων σημείων μπορεί να ρυθμιστεί χωριστά ή και μαζί στα υλικά οδόστρωσης ή στα υγρά επιφάνειας.

Οι τέφρες διαφέρουν στα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με το περιεχόμενο των καυσίμων που καίγονται. Για τον άνθρακα, η χημική σύσταση της τέφρας είναι μια λειτουργία του τύπου άνθρακα που καίγεται, ο βαθμός στον οποίο ο άνθρακας προετοιμάζεται προτού να καεί, και οι λειτουργούντες όροι του λέβητα. Αυτοί οι παράγοντες είναι πολύ συγκεκριμένοι. Γενικά, εντούτοις, περισσότερα από 95 τοις εκατό της τέφρας αποτελούνται από πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρο, και ασβέστιο με τις μορφές οξειδίων τους, με το μαγνήσιο, το κάλιο, το νάτριο, και το τιτάνιο να αντιπροσωπεύουν τα υπόλοιπα σημαντικά συστατικά. Η τέφρα μπορεί επίσης να περιέχει ένα ευρύ φάσμα ιχθών των συστατικών σε ιδιαίτερα μεταβλητές συγκεντρώσεις. Τα πιθανά ιχνη συστατικών περιλαμβάνουν το αντιμόνιο, το αρσενικό, το βάριο, το κάδμιο, το χρώμιο, το μόλυβδο, τον υδράργυρο, το σελήνιο, το στρόντιο, τον ψευδάργυρο, και άλλα μέταλλα.

Απόβλητα αποθείωσης καυσαερίων: Εάν ο άνθρακας ή το πετρέλαιο είναι η πηγή καυσίμων, οι τεχνολογίες ελέγχου FGD οδηγούν στην παραγωγή στερεών αποβλήτων. Οι υγροί αποθειωτές ασβέστη/ασβεστόλιθων παράγουν έναν πηλό της τέφρας, του ασβέστη, του θειικού άλατος ασβεστίου, και του θειώδους άλατος ασβεστίου. Τα ξηρά συστήματα αποθειωτών παράγουν ένα μίγμα στερεών (π.χ., ασβέστης, ασβεστόλιθος, ανθρακικά άλατα νατρίου, ανθρακικά άλατα ασβεστίου), αλάτων θείου, και αιωρούμενης τέφρας. Οι λάσπες σταθεροποιούνται χαρακτηριστικά με την αιωρούμενη τέφρα. Οι λάσπες που παράγονται σε έναν υγρό αποθειωτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υλικά οδόστρωσης. Οι ξηρές λάσπες τριφτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξηρές ή υγρές.

Κύκλοι συμβατικών καυσίμων

Οι σημαντικότεροι τύποι συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι άνθρακας, πετρέλαιο, και αέριο. Άλλα χρησιμοποιούμενα συμβατικά καύσιμα είναι το κοκ πετρελαίου, το αέριο εγκαταστάσεων καθαρισμού, το αέριο φούρνων κοκ, το αέριο φούρνων φυσήματος, και το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου. Αυτά τα τελευταία καύσιμα χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο και, επομένως, δεν θα συζητηθούν.

1. DIESEL ΚΑΙ BIODIESEL

1.1. Τι είναι "biodiesel;"

Υπό τη γενικότερη έννοιά του, "το biodiesel" έχει χρησιμοποιηθεί για να αναφερθεί σε οποιοδήποτε υποκατάστατο καυσίμων diesel που παράγεται από την ανανεώσιμη βιομάζα. Πριν από λίγα έτη, το biodiesel πήρε έναν πιο συγκεκριμένο καθορισμό και αυτήν την περίοδο αναφέρεται σε μια οικογένεια προϊόντων που γίνονται από φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη και αλκοόλες, όπως μεθανόλη ή αιθανόλη. Αυτοί καλούνται αλκυλικοί εστέρες λιπαρών οξέων. Για αυτούς τους αλκυλικούς εστέρες λιπαρού οξέος που θεωρούνται σαν βιώσιμα καύσιμα μεταφοράς, πρέπει να ακολουθηθούν αυστηρά ποιοτικά πρότυπα, διαφορετικά γίνονται τυποποιημένες βιομηχανικές χημικές ουσίες που δεν είναι κατάλληλες για τις εφαρμογές diesel. Κατά συνέπεια, αλκυλικοί εστέρες από τα λιπαρά οξέα που ακολουθούν πρότυπα καυσίμων μεταφοράς καλούνται "biodiesel."

Σήμερα, το biodiesel γίνεται από μια ποικίλα φυσικών πετρελαίων. Τα κυριότερα μεταξύ αυτών είναι το έλαιο σόγιας και πετρέλαιο σιναπόσπορων. Το πετρέλαιο σιναπόσπορων, ένας στενός ξάδελφος του πετρελαίου «canola», εξουσιάζει την αυξανόμενη βιομηχανία biodiesel στην Ευρώπη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το biodiesel γίνεται από το πετρέλαιο σόγιας επειδή παράγεται πετρέλαιο σόγιας περισσότερο από όλες τις άλλες πηγές λιπών και συνδυασμένου ελαίου. Υπάρχουν πολλές υποψήφιες πρώτες ύλες τροφοδοσίας, συμπεριλαμβανομένων των ανακυκλωμένων ελαίων μαγειρικής, ζωικών λιπών και ποικίλων άλλων συγκομιδών ελαιοσπόρων.

Σήμερα, η ευρύτατα χρησιμοποιημένη αλκοόλη για την παραγωγή biodiesel είναι η μεθανόλη, συνήθως λόγω της ευκολίας στην επεξεργασία και το σχετικά χαμηλότερο κόστος της. Στην ορολογία της βιομηχανίας, το προϊόν biodiesel αναφέρεται σαν μεθυλικός εστέρας σόγιας ή μεθυλική σόγια.

1.2. Τι είναι "πετρέλαιο diesel ;"

Το πετρέλαιο diesel νοείται ως diesel χαμηλού-θείου "κίνησης" που παράγεται από το ακατέργαστο πετρέλαιο. Πρόσφατοι κανονισμοί, από την αντιπροσωπεία προστασίας του περιβάλλοντος ως τμήμα της επιβολής των τροποποιήσεων των νόμων περί καθαρού αέρα το 1990, θέτουν πιο σκληρούς περιορισμούς στο diesel που χρησιμοποιείται στον δρόμο εναντίον του diesel που χρησιμοποιείται εκτός δρόμου. Το diesel "κίνησης" πρέπει τώρα να ακολουθήσει τα νέα όρια για την περιεκτικότητα σε θείο που είναι μεγέθους χαμηλότερου από προηγούμενος (0,05 wt% έναντι 0,5%). Περιορίζουμε την αξιολόγησή του πετρελαίου diesel σε αυτό το νέο diesel χαμηλού-θείου .

1.3. καθορισμός της εφαρμογής προϊόντων

Η επιλογή της τελικής χρήσης των καυσίμων μπορεί να έχει πολλές επιπτώσεις στις ροές των κύκλων ζωής. Οι πιθανές αγορές για το biodiesel καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών του diesel, που περιλαμβάνουν τις περισσότερες λειτουργίες φορτηγών, στάσιμη παραγωγή, να εξαγάγει εξοπλισμούς, θαλάσσιες μηχανές diesel, και στόλους λεωφορείων. Σε αυτήν την μελέτη, συγκρίνουμε την χρήση του diesel πετρελαίου και biodiesel στα αστικά λεωφορεία. Αυτή η επιλογή βασίστηκε στη διαθεσιμότητα των στοιχείων τελικής χρήσης. Η αγορά του αστικού λεωφορείου προσδιορίστηκε από την αναπτυσσόμενη βιομηχανία biodiesel αρχικά ως βραχυπρόθεσμη ευκαιρία, και ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων είναι διαθέσιμος για την απόδοση των μηχανών των πετρελαιοκίνητων λεωφορείων.

1.4. Τι συμπεριλαμβάνεται στα συστήματα κύκλων ζωής;

Σημαντικές διαδικασίες συμπεριλαμβανόμενες μέσα στο όριο του συστήματος πετρελαίου diesel είναι:

- εξαγωγή του ακατέργαστου πετρελαίου από το έδαφος
- μεταφορά του ακατέργαστου πετρελαίου σε εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου
- καθαρισμός του ακατέργαστου πετρελαίου στα καύσιμα diesel

- μεταφορά των καυσίμων diesel στο σημείο χρήσης του
- χρήση των καυσίμων σε μια μηχανή πετρελαιοκίνητων λεωφορείων.

Για το σύστημα biodiesel, οι πιο σημαντικές διαδικασίες είναι:

- παραγωγή σόγιας
- μεταφορά σόγιας σε κτίρια συλλογής σόγιας
- ανάκτηση του πετρελαίου σόγιας στον θραυστήρα
- μεταφορά του πετρελαίου σόγιας σε μια εγκατάσταση κατασκευής biodiesel
- μετατροπή του πετρελαίου σόγιας σε biodiesel
- μεταφορά καυσίμων biodiesel στο σημείο της χρήσης
- χρήση των καυσίμων σε μια μηχανή πετρελαιοκίνητων λεωφορείων.

Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν και άλλες λεπτομερείς διαδικασίες. Παραδείγματος χάριν, η εξαγωγή του ακατέργαστου πετρελαίου περιλαμβάνει τις ροές από διάφορες διαδικασίες όπως η χερσαία και παράκτια εξόρυξη και ο χωρισμός του φυσικού αερίου. Η χερσαία διάτρηση χαρακτηρίζεται περαιτέρω είτε ως συμβατική είτε ως προηγμένη τεχνολογία.

Επιπρόσθετα για ενεργειακές και περιβαλλοντικές ροές περιλαμβάνουμε περισσότερα από ότι απλά την ενέργεια και τις περιβαλλοντικές ροές που εμφανίζονται άμεσα σε κάθε ένα από αυτά τα βήματα. Η ενέργεια και οι περιβαλλοντικές εισαγωγές από την παραγωγή οποιωνδήποτε πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα συμπεριλαμβάνονται επίσης. Γενικά, οι ροές κύκλων ζωής χαρακτηρίζονται για όλες τις πρώτες ύλες από το σημείο της εξαγωγής των αρχικών συστατικών τους από το περιβάλλον. Επιπλέον, οι ροές κύκλων ζωής από τις ενδιάμεσες πηγές ενέργειας όπως η ηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνονται στην εξαγωγή του άνθρακα, του πετρελαίου, του φυσικού αερίου, του ασβεστόλιθου, και οποιωνδήποτε αρχικών πόρων που απαιτούνται.

Πίνακας 1.1: Γεωγραφικό πεδίο του κύκλου ζωής diesel πετρελαίου

Στάδιο κύκλων ζωής	Γεωγραφικό πεδίο
Εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου	Διεθνής μέσος όρος βασισμένος στην κατανάλωση ακατέργαστου πετρελαίου της χώρας
Μεταφορά ακατέργαστου πετρελαίου	Διεθνείς μέσες αποστάσεις μεταφορών προς τις Ηνωμένες Πολιτείες
Καθαρισμός ακατέργαστου πετρελαίου	Εθνικός μέσος όρος
Μεταφορά καυσίμων diesel	Εθνικός μέσος όρος
Χρήση καυσίμων diesel	Εθνικός μέσος όρος βασισμένος στην αστική χρήση λεωφορείων

1.5. Ποιο είναι το χρονικό πλαίσιο;

Βρεθήκαμε αντιμέτωποι με δύο βασικές επιλογές:

1) πρότυπο τεχνολογιών και αγορών όπως είναι σήμερα και

2) πρότυπο ένα φουτουριστικό σενάριο βασισμένο στην προβαλλόμενες τεχνολογίες

και τις αγορές. Επιλέξαμε να εστιάσουμε σε ένα τρέχον χρονικό πλαίσιο. Κατά συνέπεια, εξετάζουμε την παραγωγή και τις τεχνολογίες τελικής χρήσης που είναι διαθέσιμοι σήμερα για το πετρέλαιο diesel και biodiesel. Αυτή η προσέγγιση αγνοεί τις μελλοντικές προόδους στην αποδοτικότητα της παραγωγής και στην τεχνολογία των μηχανών τελικής χρήσης. Περιορίζοντας την ανάλυση στο παρόν, είναι πολύ "προσγειωμένο" και αντικειμενικό επειδή στηρίζεται στα τεκμηριωμένα στοιχεία παρά τις ενδεχομένως αισιόδοξες προβλέψεις. Έτσι και τα αποτελέσματα παρέχουν μια βασική γραμμή για θεωρίες μελλοντικών σεναρίων.

Πίνακας 1.2: Γεωγραφικό πεδίο του κύκλου ζωής biodiesel

Στάδιο κύκλων ζωής	Γεωγραφικό πεδίο
Γεωργία σόγιας	Μέσος όρος βασισμένος στα στοιχεία από τα 14 βασικά κράτη παραγωγούς σόγιας
Μεταφορά σόγιας	Εθνικός μέσος όρος
Συντριβή σόγιας	Εθνικός μέσος όρος βασισμένος στη διαμόρφωση μιας γενικής εθνικής συντετριμμένης δυνατότητας
Μεταφορά πετρελαίου σόγιας	Εθνικός μέσος όρος
Μετατροπή πετρελαίου σόγιας	Μέσος όρος βασισμένος στη διαμόρφωση μιας γενικής δυνατότητας biodiesel
Μεταφορά biodiesel	Εθνικός μέσος όρος
Χρήση καυσίμων biodiesel	Εθνικός μέσος όρος βασισμένος στην αστική χρήση λεωφορείων

1.6. Κατανάλωση ενέργειας κύκλων ζωής πετρελαίου diesel

Ο Πίνακας 3 και το σχήμα 1 παρουσιάζουν τις συνολικές αρχικές ανάγκες σε ενέργεια για τα βασικά βήματα στην παραγωγή και χρησιμοποίηση του diesel πετρελαίου. Το πρότυπο LCI δείχνει ότι 1,2007 MJ της αρχικής ενέργειας χρησιμοποιείται για να κάνει 1 MJ των καυσίμων diesel πετρελαίου. Αυτό αντιστοιχεί σε μια ενεργειακή αποδοτικότητα κύκλου ζωής 83,28%. Η διανομή των αρχικών σε ενέργεια αναγκών για κάθε στάδιο του κύκλου ζωής diesel πετρελαίου παρουσιάζεται στον πίνακα 3. Στο σχήμα 1, τα στάδια της παραγωγής diesel πετρελαίου ταξινομούνται από το υψηλότερο στο χαμηλότερο από την άποψη της απαίτησης σε αρχική ενέργεια. Το ενενήντα τρία τοις εκατό (93%) της απαίτησης σε αρχική ενέργεια είναι για την εξαγωγή του ακατέργαστου πετρελαίου από το έδαφος. Περίπου 88% της ενέργειας που παρουσιάζεται για την εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου συνδέεται με την ενεργειακή αξία του ακατέργαστου πετρελαίου. Οι εγκαταστάσεις καθαρισμού ακατέργαστου πετρελαίου για την κατασκευή των καυσίμων diesel "εξουσιάζουν" το υπόλοιπο 7% της χρήσης της αρχικής ενέργειας.

Η αφαίρεση της ενέργειας της τροφοδοτούμενης πρώτης ύλης του ακατέργαστου πετρελαίου από το σύνολο αρχικής ενέργειας επιτρέπει σε μας την ανάλυση για τις σχετικές συνεισφορές της «ενέργειας διαδικασίας» που χρησιμοποιείται σε κάθε κύκλο ζωής. Η «ενέργεια διαδικασίας» που χρησιμοποιείται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής πετρελαίου παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Η απαίτηση της «ενέργειας διαδικασίας» αντιπροσωπεύει το 20% της τελικά διαθέσιμης ενέργειας στο προϊόν καυσίμων πετρελαίου diesel. Περίπου 90% της συνολικής ενέργειας διαδικασίας είναι στον καθαρισμό (60%) και την εξαγωγή (29%). Η επόμενη μεγαλύτερη συμβολή στη συνολική ενέργεια διαδικασίας αντιστοιχεί για τη μεταφορά του ξένου ακατέργαστου πετρελαίου στις εσωτερικές μηχανές ραφινάρισματος πετρελαίου.

Υπάρχουν μερικές σημαντικές επιπτώσεις στα ενεργειακά αποτελέσματα διαδικασίας που παρουσιάζονται στο σχήμα 2 σχετικά με τις τάσεις για την ξένη και εσωτερική παραγωγή και τη χρήση ακατέργαστου πετρελαίου. Η μεταφορά του ξένου ακατέργαστου πετρελαίου με το βυτιοφόρο φέρνει μια τετραπλή ποινική ρήτρα για την κατανάλωση ενέργειας έναντι της εσωτερικής μεταφοράς πετρελαίου επειδή αυξάνει την απόσταση ταξιδιού για το ξένο πετρέλαιο από έναν κατά προσέγγιση παράγοντα σε τέσσερεις.

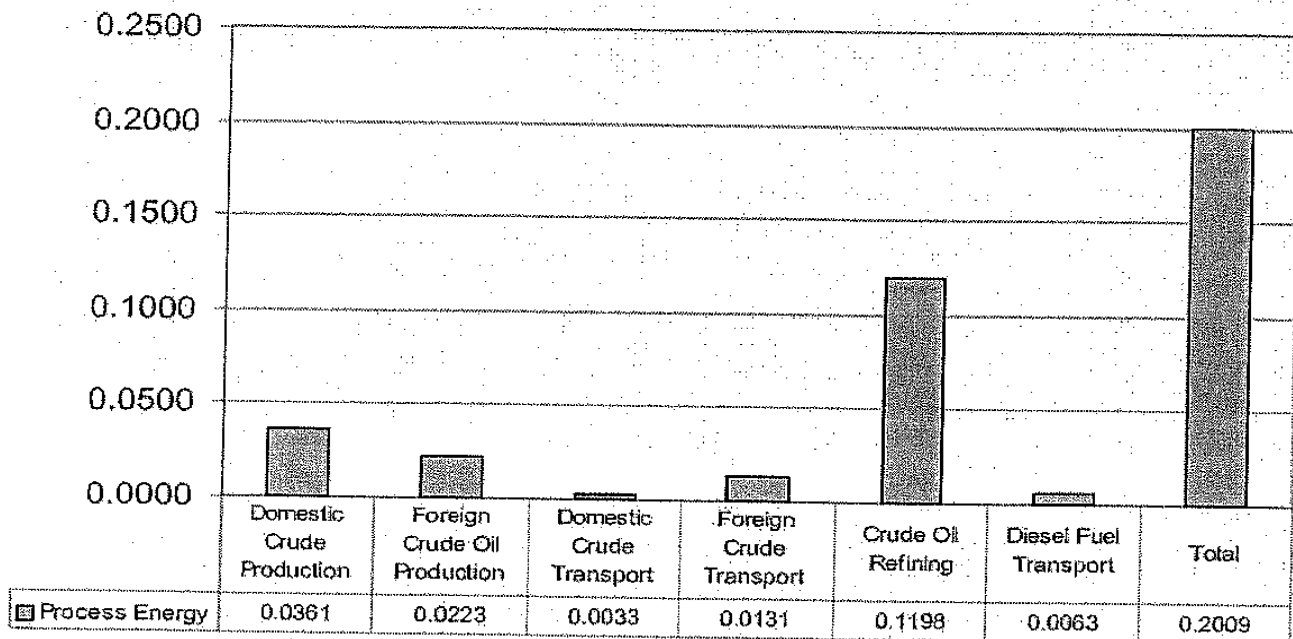
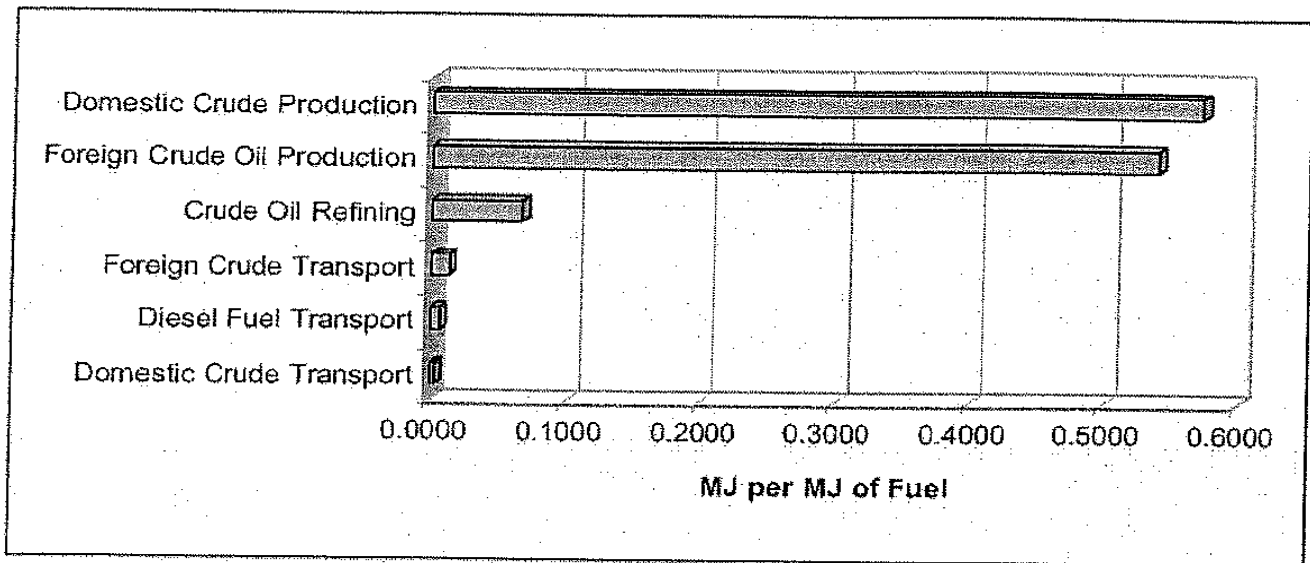
Πίνακας 1.3: Αρχικές σε ενέργεια ανάγκες για τον κύκλο ζωής diesel πετρελαίου

Στάδιο	Αρχική ενέργεια (MJ ανά MJ των καυσίμων)	%
Εσωτερική ακατέργαστη παραγωγή	0.5731	47,73
Ξένη παραγωγή ακατέργαστου πετρελαίου	0.5400	44,97
Εσωτερική ακατέργαστη μεταφορά	0.0033	0,28
Ξένη ακατέργαστη μεταφορά	0.0131	1,09
Καθαρισμός ακατέργαστου	0.0650	5,41
Μεταφορά καυσίμων diesel	0.0063	0,52
Σύνολο	1.2007	100,0

Συγχρόνως, η εσωτερική εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου είναι περισσότερο επιτακτική ενεργειακά από την ξένη παραγωγή ακατέργαστου πετρελαίου. Οι προηγμένες πρακτικές αποκατάστασης πετρελαίου στις Ηνωμένες Πολιτείες αντιπροσωπεύουν το 11% του όγκου συνολικής παραγωγής, έναντι 3% για την ξένη εξαγωγή πετρελαίου. Η προηγμένη αποκατάσταση πετρελαίου χρησιμοποιεί δύο φορές τόση αρχική ενέργεια ανά χιλιόγραμμο του πετρελαίου από τη απολιθωμένη εξαγωγή. Η προηγμένη εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου απαιτεί σχεδόν 20 φορές περισσότερη ενέργεια διαδικασίας από η χερσαία εσωτερική εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου επειδή οι διαδικασίες είναι ενέργεια εντατική και το ποσό πετρελαίου που ανακτάται είναι χαμηλότερες απ' ό,τι με άλλες πρακτικές. Ο εσωτερικός ανεφοδιασμός ακατέργαστου πετρελαίου είναι ουσιαστικά ίσος με τον ξένο ανεφοδιασμό πετρελαίου (50,26% εναντίον 49,74%) στο πρότυπό μας, αλλά η σε ενέργεια ανάγκη διαδικασίας της είναι 62% υψηλότερη από αυτή της ξένης παραγωγής ακατέργαστου πετρελαίου (σχήμα 2).

Εάν η παρούσα τάση αυξανόμενης εξάρτησής μας στο ξένο πετρέλαιο συνεχίζεται, μπορούμε να αναμένουμε η ενεργειακή αποδοτικότητα κύκλων ζωής του diesel πετρελαίου να επιδεινωθεί λόγω υψηλότερων ενεργειακών δαπανών στο ξένο ακατέργαστο πετρέλαιο. Επίσης, με τις μειωμένες εσωτερικές προμήθειες πετρελαίου, μπορούμε να δούμε να αυξάνονται οι ενεργειακές ποινικές ρήτρες.

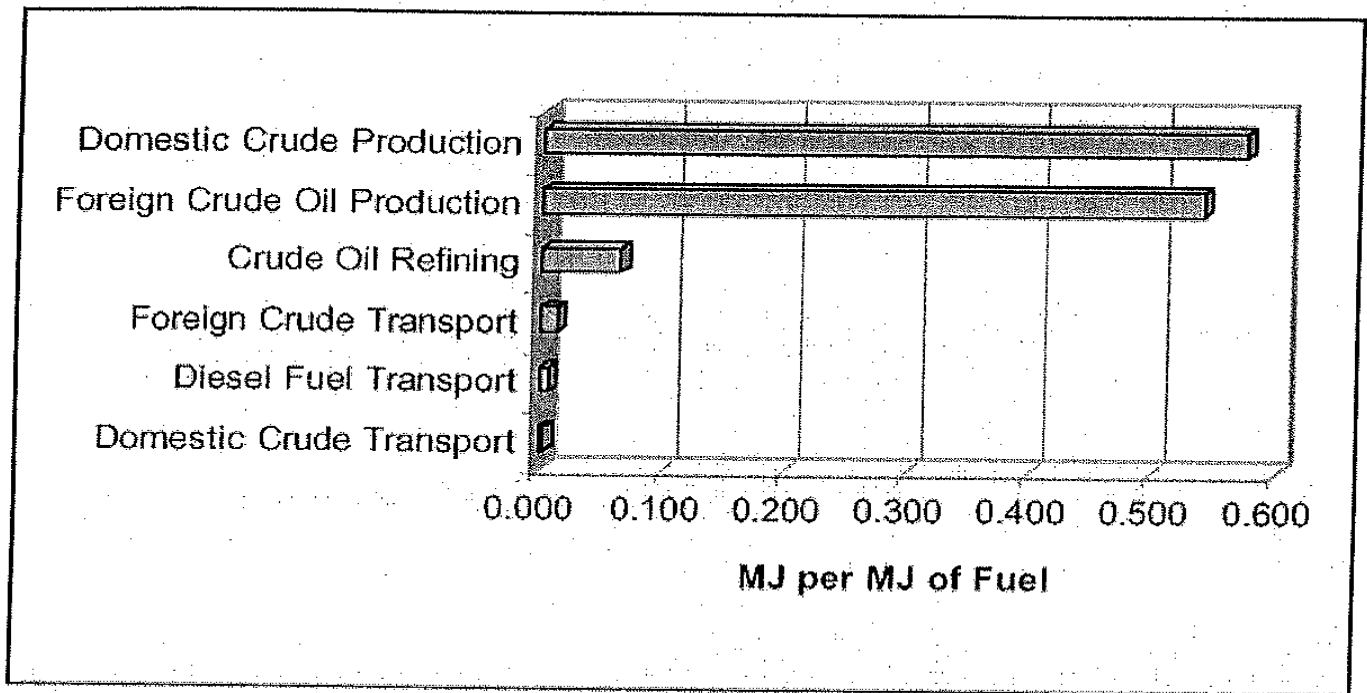
Ο πίνακας 4 και το σχήμα 3 συνοψίζουν τις εισαγωγές συμβατικής ενέργειας όσον αφορά την ενεργειακή παραγωγή του πετρελαίου diesel. Το πετρέλαιο diesel χρησιμοποιεί 1.1995 MJ της συμβατικής ενέργειας για να παράγει 1 MJ της ενέργειας προϊόντων καυσίμων. Αυτό αντιστοιχεί σε μια αναλογία συμβατικής ενέργειας 0.83378. Επειδή το κύριο υλικό για την παραγωγή diesel είναι συμβατικά καύσιμα, αυτή η αναλογία είναι, όπως ήταν αναμενόμενο, σχεδόν ίδια με την ενεργειακή αποδοτικότητα κύκλων ζωής 83.28%. Στην πραγματικότητα, η συμβατική ενέργεια που συνδέεται με την πρώτη ύλη τροφοδοσίας ακατέργαστου πετρελαίου αποτελεί 93% της συνολικής συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται στον κύκλο ζωής. Η αναλογία συμβατικής ενέργειας είναι ελαφρώς λιγότερη από την ενεργειακή αναλογία κύκλων ζωής επειδή υπάρχει μια πολύ μικρή συμβολή στη συνολική απαίτηση αρχικής ενέργειας, η οποία ικανοποιείται μέσω των προμηθειών υδροηλεκτρικής και πυρηνικής ενέργειας σχετικών με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήματα 1.1&1.2: Ταξινόμηση της απαίτησης αρχικής ενέργειας για τα στάδια του πετρελαίου και Ενεργειακή απαίτηση διαδικασίας για τον κύκλο ζωής diesel πετρελαίου

Πίνακας 1.4: Ανάγκες σε συμβατική ενέργεια για τον κύκλο ζωής πετρελαίου diesel

Στάδιο	Απολιθωμένη ενέργεια (MJ ανά MJ των καυσίμων)	%
Εσωτερική ακατέργαστη	0.572809	47,75%
Ξένη παραγωγή ακατέργαστου πετρελαίου	0.539784	45,00%
Εσωτερική ακατέργαστη μεταφορά	0.003235	0,27%
Ξένη ακατέργαστη μεταφορά	0.013021	1,09%
Καθαρισμός ακατέργαστου	0.064499	5,38%
Μεταφορά καυσίμων diesel	0.006174	0,51%
Σύνολο	1.199522	100,00%



Σχήμα 1.3: Ταξινόμηση της απαίτησης για συμβατική ενέργεια για τα στάδια του κύκλου ζωής diesel πετρελαίου

1.7. Ενεργειακή απαίτηση κύκλου ζωής biodiesel

Ο Πίνακας 5 και το σχήμα 4 δείχνουν την παρούσα συνολική απαίτηση αρχικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής biodiesel. Ένα MJ του biodiesel απαιτεί μια εισαγωγή 1.2414 MJ της αρχικής ενέργειας, με συνέπεια μια ενεργειακή αποδοτικότητα των κύκλων ζωής 80.55%. Το biodiesel είναι συγκρίσιμο με το diesel πετρελαίου στη μετατροπή της αρχικής ενέργειας στην ενέργεια προϊόντων καυσίμων (80,55% εναντίον 83,28%). Η μεγαλύτερη συμβολή στην αρχική ενέργεια (87%) είναι η μετατροπή πετρελαίου σόγιας επειδή εκεί συμπεριλαμβάνεται η τροφοδοτούμενη πρώτη ύλη που συνδέεται με το πετρέλαιο σόγιας. Όπως με τον κύκλο ζωής πετρελαίου, τα στάδια του κύκλου ζωής που φορτώνονται με την ενέργεια πρώτων υλών συντρίβουν όλα τα άλλα στάδια. Η ενέργεια πετρελαίου σόγιας εάν είχε περιληφθεί με τη λειτουργία καλλιέργειας, η γεωργία σόγιας θα ήταν ο κυρίαρχος καταναλωτής της αρχικής ενέργειας. Αυτό είναι ανάλογο με την τοποθέτηση της ενέργειας της πρώτης ύλης του ακατέργαστου πετρελαίου στο στάδιο εξαγωγής για τα καύσιμα diesel. Οι επόμενες δύο μεγαλύτερες απαιτήσεις αρχικής ενέργειας είναι για τη συντριβή σόγιας και τη μετατροπή πετρελαίου σόγιας. Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου 13% της συνολικής απαίτησης. Όταν εξετάζουμε την ενέργεια διαδικασίας χωριστά από την αρχική ενέργεια, βλέπουμε ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις στον κύκλο ζωής biodiesel δεν εξουσιάζονται από τη μετατροπή πετρελαίου σόγιας (σχήμα 5). Η συντριβή σόγιας απαιτεί το 34,25% της συνολικής ενέργειας διαδικασίας. Οι απαιτήσεις 34.55% μετατροπής πετρελαίου σόγιας και γεωργίας αποτελούν σχεδόν το 25% της συνολικής απαίτησης. Κάθε βήμα μεταφορών είναι μόνο 2%-3% της ενέργειας διαδικασίας που χρησιμοποιείται στον κύκλο ζωής.

Επειδή το 90% των απαιτήσεων της πρώτης ύλης του (πετρέλαιο σόγιας) είναι ανανεώσιμα, η αναλογία συμβατικής ενέργειας του biodiesel είναι ευνοϊκή. Το biodiesel χρησιμοποιεί 0.3110 MJ της συμβατικής ενέργειας για να παράγει 1 MJ προϊόν καυσίμων. Αυτό αντιστοιχεί σε μία αναλογία συμβατικής ενέργειας 3.215. Με άλλα λόγια, ο κύκλος ζωής biodiesel παράγει περισσότερους από τρεις χρόνους περισσότερη ενέργεια στο τελικό προϊόν καυσίμων του όπως χρησιμοποιεί την συμβατική ενέργεια. Η απαίτηση συμβατικής ενέργειας για το βήμα μετατροπής είναι σχεδόν δύο φορές αυτής της απαίτησης σε ενέργεια διαδικασίας, που κάνει αυτό το στάδιο του κύκλου ζωής το πιο συμφέρον στην απαίτηση συμβατικής ενέργειας. Η

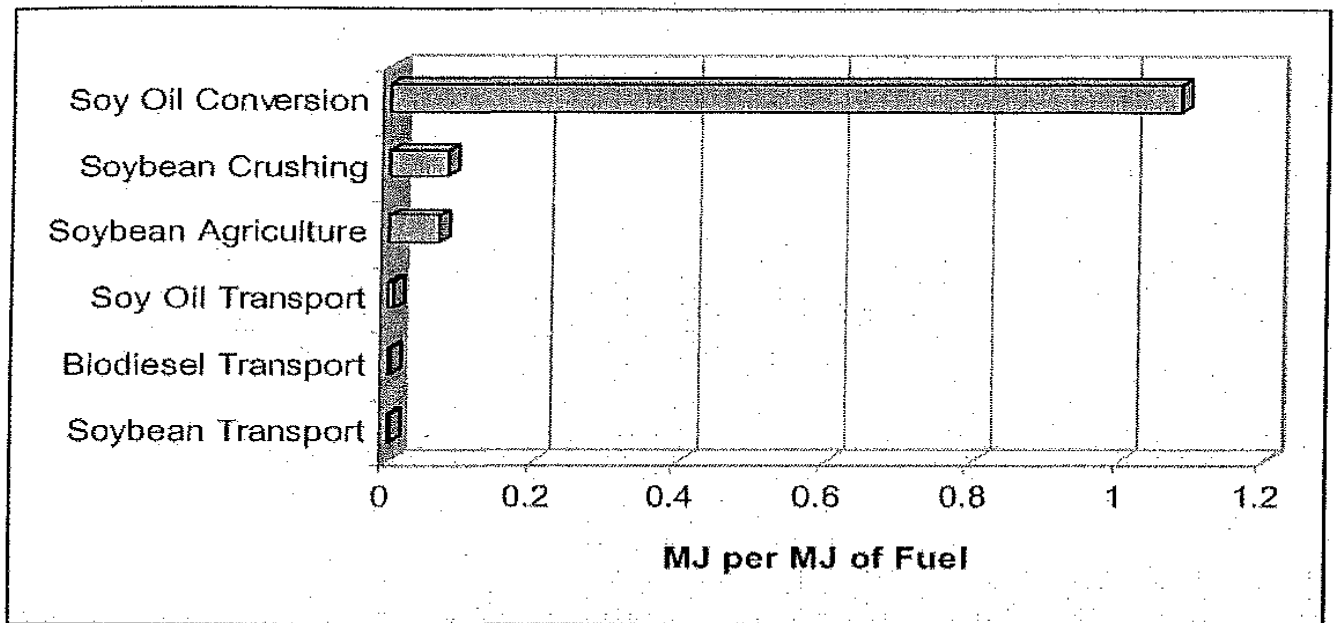
χρήση της μεθανόλης ως πρώτη ύλη στην παραγωγή του biodiesel αποτελεί αυτήν την υψηλή ζήτηση σε συμβατική ενέργεια. Έχουμε μετρήσει την ενέργεια της μεθανόλης που μπαίνει στον κύκλο ζωής ως πρώτη ύλη και σε αυτό το σημείο, υποθέτοντας ότι η μεθανόλη παράγεται από το φυσικό αέριο. Αυτό επισημαίνει μια ευκαιρία για την περαιτέρω βελτίωση της αναλογίας συμβατικής ενέργειας με την αντικατάσταση της φυσικής αέριο-παραγόμενης μεθανόλης με τις ανανεώσιμες πηγές μεθανόλης, αιθανόλης, ή άλλων αλκοολών.

1.8. Επίδραση του biodiesel στην ενεργειακή ζήτηση κύκλων ζωής

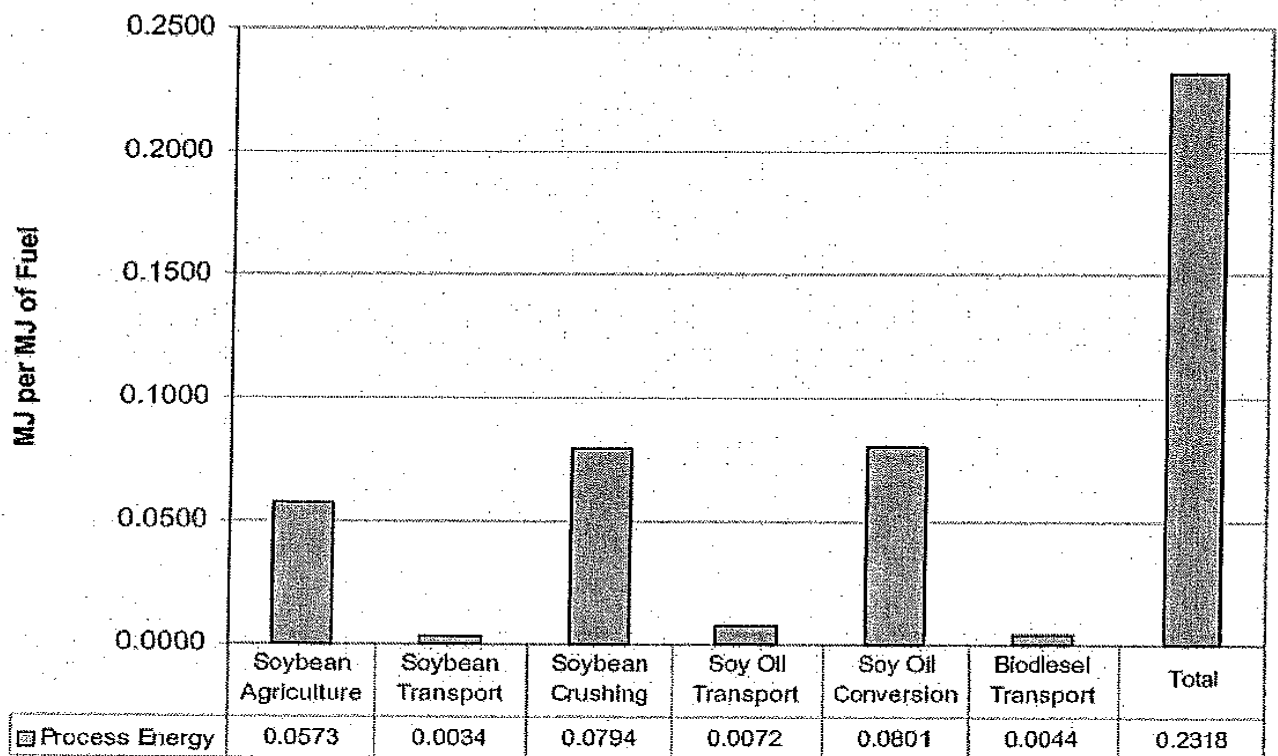
Συγκρινόμενο βάσει των εισαγωγών αρχικής ενέργειας, το biodiesel και το diesel πετρελαίου είναι ουσιαστικά ισοδύναμα. Το biodiesel έχει μια ενεργειακή αποδοτικότητα κύκλων ζωής 80,55%, έναντι 83,28% για το diesel πετρελαίου. Η ελαφρώς χαμηλότερη αποδοτικότητα απεικονίζει μια ελαφρώς υψηλότερη ζήτηση για την ενέργεια διαδικασίας πέρα από τη ζωή του κύκλου για το biodiesel. Βάσει των συμβατικών ενεργειακών εισαγωγών, το biodiesel ενισχύει την αποτελεσματική χρήση αυτού του πεπερασμένου ενεργειακού πόρου επειδή αυτό ισοδυναμεί σε ανάγκες συμβατικής ενέργειας περισσότερο από τρεις σε μια.

Πίνακας 1.5: Ανάγκες σε αρχική ενέργεια για τον κύκλο ζωής biodiesel

Στάδιο	Αρχική ενέργεια (μJ ανά MJ των καυσίμων)	Τοις εκατό
Γεωργία σόγιας	0.0660	5,32%
Μεταφορά σόγιας	0.0034	0,27%
Συντριβή σόγιας	0.0803	6,47%
Μεταφορά πετρελαίου σόγιας	0.0072	0,58%
Μετατροπή πετρελαίου σόγιας	1.0801	87,01%
Μεταφορά biodiesel	0.0044	0,35%
Σύνολο	1.2414	100,00%



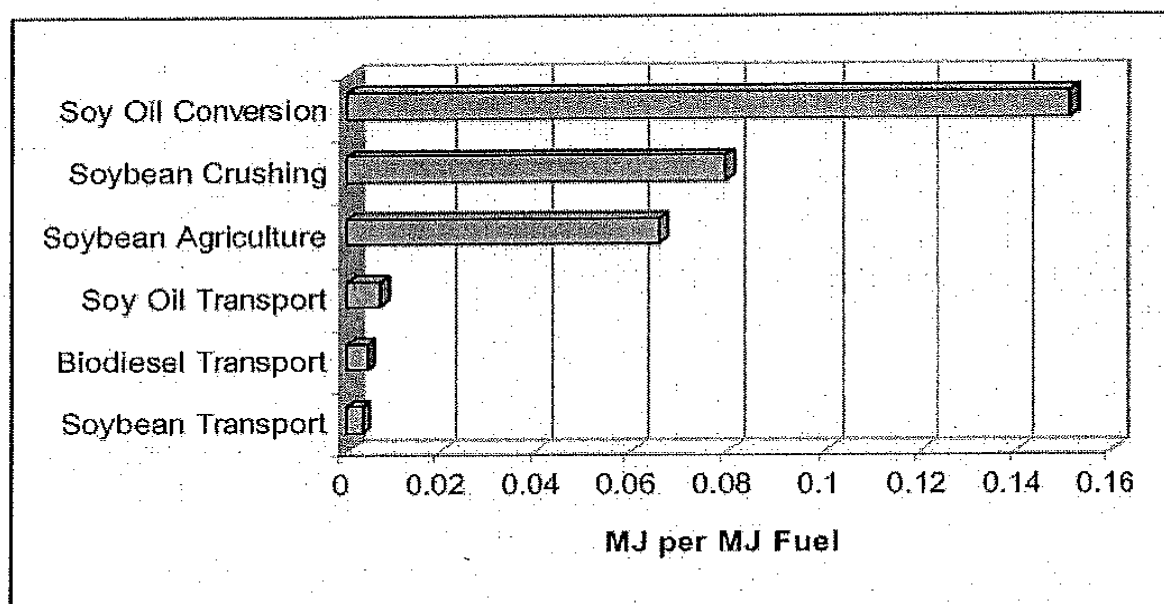
Σχήμα 1.4: Ταξινόμηση της απαίτησης αρχικής ενέργειας για τα στάδια του κύκλου ζωής biodiesel



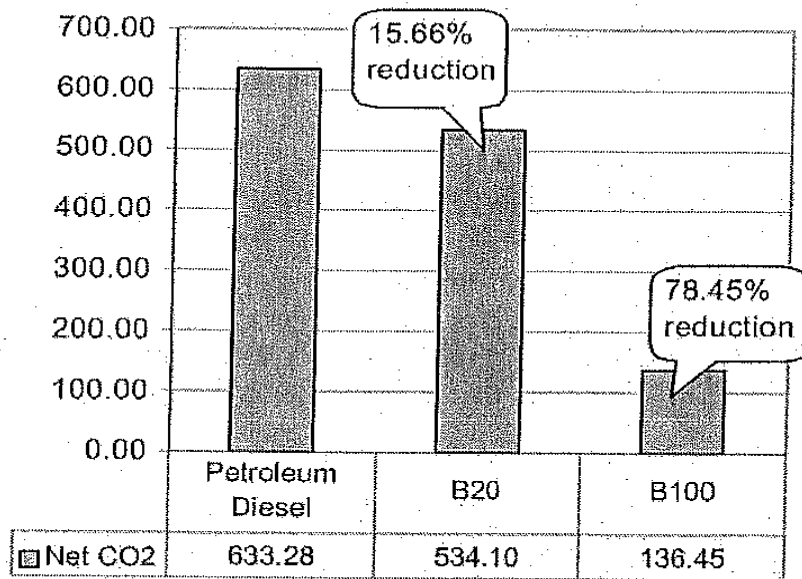
Σχήμα 1.5: Ανάγκες ενέργειας διαδικασίας για τον κύκλο ζωής biodiesel

Πίνακας 1.6: Ανάγκες σε συμβατική ενέργεια για τον κύκλο ζωής biodiesel

Στάδιο	Απολιθωμένη ενέργεια (MJ ανά MJ των καυσίμων)	Τοις εκατό
Γεωργία σόγιας	0.0656	21,08%
Μεταφορά σόγιας	0.0034	1,09%
Συντριβή σόγιας	0.0796	25,61%
Μεταφορά πετρελαίου	0.0072	2,31%
Μετατροπή πετρελαίου	0.1508	48,49%
Μεταφορά biodiesel	0.0044	1,41%
Σύνολο	0.3110	100,00%

**Σχήμα 1.6: Σύγκριση εκπομπών CO₂ biodiesel και diesel πετρελαίου**

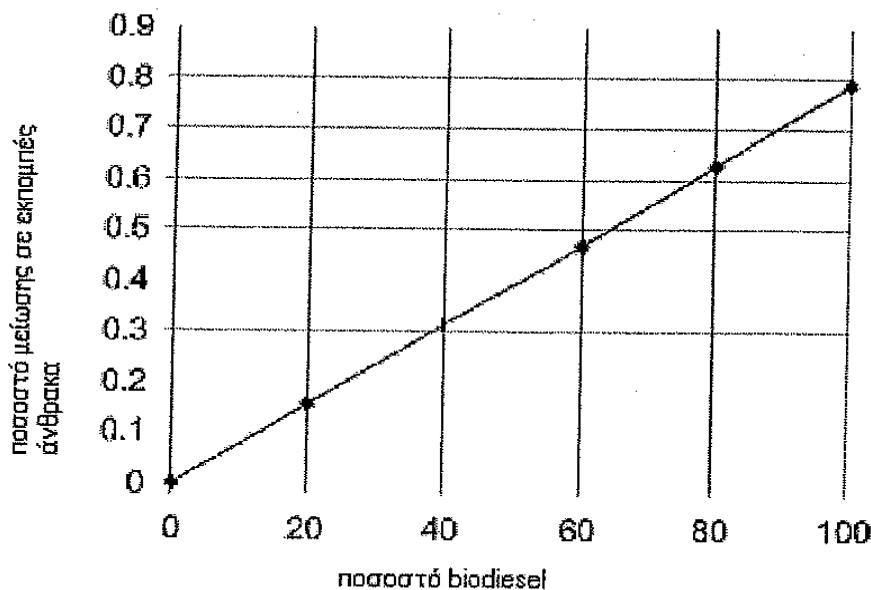
Το σχήμα 8 συνοψίζει τις ροές του CO₂ από τους συνολικούς κύκλους ζωής του biodiesel και του diesel πετρελαίου και το συνολικό CO₂ που απελευθερώνεται από τις εξατμίσεις για κάθε καύσιμο. Η κυρίαρχη πηγή του CO₂ και για το πετρέλαιο diesel και για τους κύκλους ζωής biodiesel είναι η καύση των καυσίμων στο λεωφορείο. Για το diesel πετρελαίου, το CO₂ που εκπέμπεται από το την εξάτμιση αντιπροσωπεύει το 86,54% του συνολικού CO₂ που εκπέμπεται πέρα από τον ολόκληρο κύκλο ζωής των καυσίμων. Το υπόλοιπο CO₂ προέρχεται από τις εκπομπές στις εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου, οι οποίες συμβάλλουν 9,6% στις συνολικές εκπομπές του CO₂. Για το biodiesel, 84,43% των εκπομπών του CO₂ εμφανίζονται στην εξάτμιση. Το υπόλοιπο CO₂ προέρχεται σχεδόν εξίσου από τη γεωργία σόγιας, τη συντριβή σόγιας, και τη μετατροπή πετρελαίου σόγιας στο biodiesel. Το σχήμα 9 παρουσιάζει την επίδραση των επιπέδων μίγματος biodiesel στις εκπομπές του CO₂.



Σχήμα 1.8: Σύγκριση των εκπομπών κύκλων ζωής του CO₂ δικτύου για τα μίγματα diesel και biodiesel πετρελαίου

Πίνακας 1.7: Συμβολή εξατμίσεων στο συνολικό κύκλο ζωής πετρελαίου diesel και biodiesel του CO₂ (g CO₂/bhp-h)

Καύσιμα	Το συνολικό απολιθωμένο CO ₂ κύκλων ζωής	Το συνολικό CO ₂ βιομαζών κύκλων ζωής	Το συνολικό CO ₂ κύκλων ζωής	Το απολιθωμένο CO ₂ εξατμίσεως	CO ₂ βιομαζών σαλήνων αναρρόφησης	Το συνολικό CO ₂ σαλήνων αναρρόφησης	% του συνολικού CO ₂ από τις εξατμίσεις
πετρέλαιο Diesel	633.28	0.00	633.28	548.02	0.00	548.02	86.54%
B100	136.45	543.34	679.78	30.62	543.34	573.96	84.43%

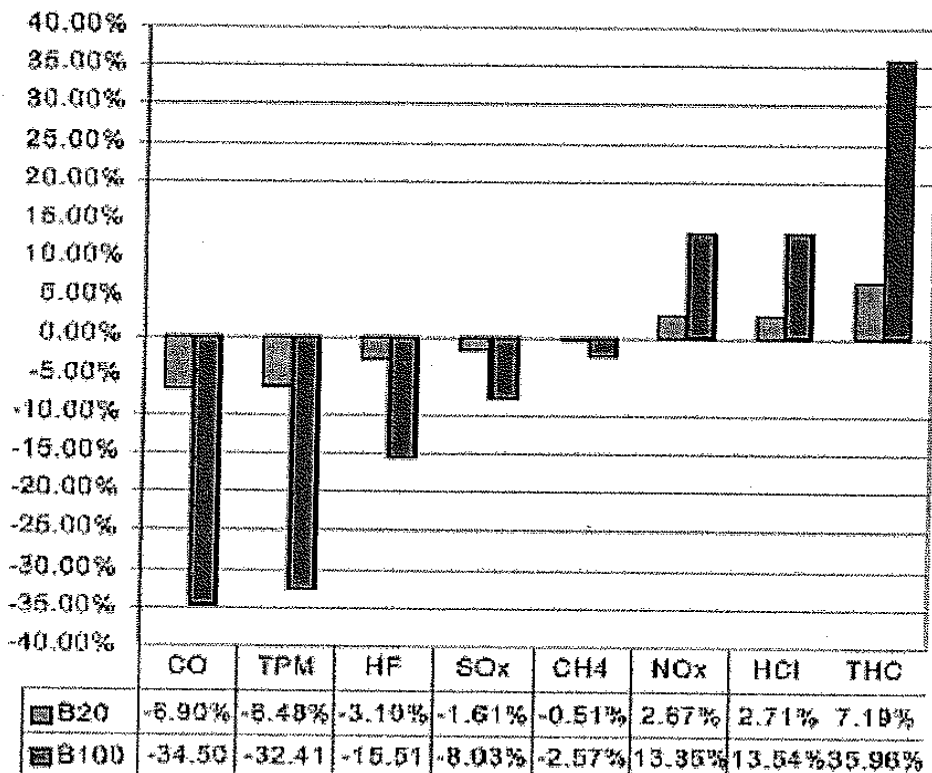


Σχήμα 9: Επίδραση του επιπέδου μίγματος biodiesel σε εκπομπές CO₂

Στην εξάτμιση, το biodiesel (το μεγαλύτερο μέρος του οποίο είναι ανανεώσιμο) εκπέμπει 4,7% περισσότερο CO₂ από το πετρέλαιο diesel. Το μη ανανεώσιμο μέρος προέρχεται από τη μεθανόλη. Το biodiesel παράγει 573,96 g/bhp-h έναντι 548,02 g/bhp-h για το πετρέλαιο diesel. Τα υψηλότερα επίπεδα CO₂ προκύπτουν από την πληρέστερη καύση και τις συνακόλουθες μειώσεις εκπομπών άλλων ανθράκων που περιέχονται στις εξατμίσεις. Όπως το σχήμα 8 παρουσιάζει, οι γενικές εκπομπές κύκλων ζωής του CO₂ στο B100 είναι 78,45% χαμηλότερες από εκείνες του πετρέλαιο diesel. Η μείωση είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της ανακύκλωσης άνθρακα στις εγκαταστάσεις σόγιας. Το B20 μειώνει τις εκπομπές καθαρού CO₂ κατά 15.66%.

1.8.1. Σύγκριση των εκπομπών αερίων στους κύκλους ζωής για το biodiesel και το πετρέλαιο diesel

Το σχήμα 10 συνοψίζει τις διαφορές στις εκπομπές αερίων κύκλων ζωής για B100 και B20 έναντι των καυσίμων πετρελαίου diesel. Η αντικατάσταση του πετρελαίου diesel με το biodiesel σε ένα αστικό λεωφορείο μειώνει τις εκπομπές αερίων στους κύκλους ζωής για όλους εκτός από τρεις από τους ρύπους που είδαμε. Η μεγαλύτερη μείωση (34,5%) των εκπομπών αερίων που εμφανίζεται όταν χρησιμοποιείται B100 ή B20 ως υποκατάστατο του πετρελαίου diesel είναι για το CO. Η αποτελεσματικότητα του B20 στη μείωση κύκλου ζωής των εκπομπών του CO μειώνεται αναλογικά με το επίπεδο μίγματος. Το biodiesel θα μπορούσε, επομένως, να μειώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO στις περιοχές μη-επίτευξης CO.



Σχήμα 10: Αέριες εκπομπές κύκλου ζωής για B100 και B20 συγκρινόμενες με αέριες εκπομπές κύκλου ζωής πετρελαίου diesel

Το B100 δείχνει εκπομπές κύκλου ζωής TPM που είναι 32,41% χαμηλότερες από εκείνες του κύκλου ζωής πετρελαίου diesel. Όπως με το CO, η αποτελεσματικότητα του biodiesel να μειώσει το TPM αναλογικά με το επίπεδο μίγματος πέφτει. Αυτό είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα των μειώσεων PM10 στην εξάτμιση, οι οποίες είναι 68% χαμηλότερες για τα αστικά λεωφορεία που λειτουργούν σε B100 έναντι του πετρελαίου diesel. Το PM10 που εκπέμπεται από τις κινητές πηγές είναι σημαντικό λόγω του ρόλου του στην αναπνευστική ασθένεια. Οι αστικές περιοχές αντιπροσωπεύουν το μέγιστο κίνδυνο από την άποψη των αριθμών των ανθρώπων που

εκτίθενται και τα επίπεδα του PM10. Η χρήση biodiesel στα αστικά λεωφορεία μπορεί να είναι μια λύση για τον έλεγχο των εκπομπών κύκλων ζωής TPM και εξατμίσεων PM10.

Ο κύκλος ζωής του biodiesel παράγει 35% περισσότερο THC από τον κύκλο ζωής του πετρελαίου diesel, ακόμα κι αν οι εκπομπές THC των εξατμίσεων για το B100 είναι 37% χαμηλότερες. Οι περισσότερες από τις εκπομπές THC κύκλων ζωής biodiesel παράγονται κατά τη διάρκεια των γεωργικών διαδικασιών και της συντριβής σόγιας. Για να καταλάβουμε τις επιπτώσεις των υψηλότερων εκπομπών κύκλων ζωής, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι εκπομπές HC, όπως με όλους τους ατμοσφαιρικούς ρύπους που συζητούνται, έχουν αποτελέσματα εντοπισμού. Όπου αυτές οι εκπομπές εμφανίζονται είναι σημαντικές. Το γεγονός ότι οι εκπομπές HC των εξατμίσεων του biodiesel είναι χαμηλότερες από των καυσίμων diesel μπορεί να δείξει ότι ο κύκλος ζωής biodiesel έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην αστική ατμοσφαιρική ποιότητα (αν και οι μηχανές diesel έχουν πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπής HC και οι εκπομπές diesel HC δεν ήταν σημαντικές στο παρελθόν).

Το μεθάνιο (CH_4) είναι ένα ειδικό υποσύνολο των εκπομπών THC και ενός αέριου θερμοκηπίου. Οι εκπομπές μεθανίου είναι το 25% των εκπομπών κύκλων ζωής THC για το B100 και το 32% για το B20. Όλα εμφανίζονται στα βήματα παραγωγής και χρήσης καυσίμων και συνδέονται με την παραγωγή της μεθανόλης που χρησιμοποιείται για να διεστεροποιήσει το πετρέλαιο σόγιας. Οι εκπομπές κύκλων ζωής μεθανίου είναι 2,57% χαμηλότερες για το B100 και 0,51% για το B20, έναντι του πετρελαίου diesel. Αν και οι μειώσεις που επιτυγχάνονται με το biodiesel είναι μικρές, θα μπορούσαν να είναι σημαντικές όταν υπολογίζονται βάσει του "ισοδύναμου CO_2 " - θερμικής δυνατότητας.

Ίσως ο επόμενος κρισιμότερος ρύπος από τις προοπτικές της ανθρώπινης υγείας και της περιβαλλοντικής ποιότητας είναι τα NO_x . Η τριάδα του CO, THC, και NO_x είναι το κλειδί για τον έλεγχο του όζοντος στο επιπέδο του εδάφους και της αιθαλομίχλης στις αστικές περιοχές. Η ανάλογη σημασία τους δεν είναι καθόλου σαφής επειδή αλληλεπιδρούν σε ένα σύνθετο σύνολο χημικών αντιδράσεων που καταλύονται από το φως του ήλιου. Το biodiesel μειώνει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO και THC στις εξατμίσεις. Εντούτοις, και το B100 και το B20 έχουν εκπομπές κύκλων ζωής και εξατμίσεων NO_x που είναι υψηλότερες από εκείνες του πετρελαίου diesel. Το B100 και B20 δείχνουν υψηλότερες εκπομπές κύκλων ζωής κατά 13,35% και 2,67% αντίστοιχα, έναντι του πετρελαίου diesel. Οι εκπομπές TPM και NO_x συσχετίζονται αντιστρόφως στις μηχανές diesel εξάτμισης η μείωση του ενός συχνά οδηγεί στην αύξηση του άλλου. Μειωμένες εκπομπές NO_x περιλαμβάνουν έναν συνδυασμό έρευνας καυσίμων και έρευνας τεχνολογίας μηχανών. Μέσα σε αυτούς τους δύο χώρους, μπορούν να υπάρξουν λύσεις για την ανταπόκριση των πιό σκληρών μελλοντικών προτύπων για NO_x χωρίς θυσία των άλλων οφελών αυτών των καυσίμων.

Οι εκπομπές SO_x στον κύκλο ζωής των B100 και B20 είναι χαμηλότερες από εκείνες του πετρελαίου diesel (8,03% και 1,61%, αντίστοιχα). Αυτό είναι μια σχετικά χαμηλή μείωση δεδομένου ότι το biodiesel αποβάλλει πλήρως τα SO_x στην εξάτμιση. Το ποσό SO_x στις εκπομπές από μια μηχανή diesel είναι μια λειτουργία της περιεκτικότητας σε θείο στα καύσιμα. Έχοντας αυτό υπόψη, ρυθμίζουμε την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων diesel, και όχι της εξάτμισης. Οι πιό πρόσφατες απαιτήσεις για τα καύσιμα diesel περιλαμβάνουν 0,05 wt% θείου για καύσιμα κίνησης. Το biodiesel μπορεί να αποβάλει εκπομπές SO_x στις εξατμίσεις επειδή είναι ελεύθερο-θείο. Σε μια βάση κύκλων ζωής, οι εκπομπές SO_x που αποβάλλονται στις εξατμίσεις αντισταθμίζονται με το να δημιουργήσουν εκπομπές SO_x όταν παράγουμε την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται στον κύκλο ζωής biodiesel.

Οι εκπομπές HCl και HF εκπέμπονται στα πολύ χαμηλά επίπεδα ως μέρος των κύκλων ζωής και του πετρελαίου diesel και του biodiesel. Μπορούν να συμβάλουν στον οξυνισμό του περιβάλλοντος. Και οι δύο ρύποι εμφανίζονται ως αποτέλεσμα της καύσης άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα επίπεδα HF μειώνονται με το biodiesel αναλογικά προς το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται πέρα από τον κύκλο ζωής των καυσίμων. Αυτό ανέρχεται σε μειώσεις 15,51% για το B100. Οι HCl εκπομπές, αφ' ετέρου, αυξάνουν με το μίγμα biodiesel. Το biodiesel χρησιμοποιεί τις πρόσθετες πηγές HCl που συνδέονται με την παραγωγή και τη χρήση των ανόργανων οξέων και τις βάσεις στο βήμα μετατροπής. Το B100 αυξάνει τις εκπομπές HCl κατά 13,54%.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται μέχρι τώρα περιγράφουν τα επίπεδα εκπομπής κύκλων ζωής. Πολλοί άνθρωποι ενδιαφέρονται επίσης για μόνο ένα υποσύνολο από τις εκπομπές κύκλων ζωής, εκείνο που αφορά τις εκπομπές εξατμίσεων. Ο πίνακας 8 παρέχει τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν τις εκπομπές εξατμίσεων για το biodiesel, το diesel, και το B20.

Πίνακας 1.8: Επίδραση του biodiesel στις εκπομπές των εξατμίσεων (g/bhp-h)

Εκπομπές	Πετρέλαιο diesel	Μίγμα biodiesel 20%	biodiesel 100%
Διοξείδιο του άνθρακα (απολίθωμα)	633.28	534.10	136.45
Διοξείδιο του άνθρακα (βιομάζα)	0	108.7	543.34
Μονοξείδιο άνθρακα	1.2	1.089	0.6452
Υδρογονάνθρακες	0,1	0.09265	0.06327
Σωματίδια (PM10)	0,08	0.0691	0.02554
Οξείδια θείου (SO ₂)	0,17	0,14	0
Οξείδια αζώτου (No ₂)	4.8	4.885	5.227

1.9. Ενέργεια κύκλων ζωής και περιβαλλοντικές ροές

Σημαντικά αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω κατά σειρά μειωμένης εμπιστοσύνης:

➤ **ενεργειακή ισορροπία.** Το biodiesel και το πετρέλαιο diesel έχουν πολύ παρόμοιες ενεργειακές αποδόσεις. Το βασικό μοντέλο υπολογίζει τις ενεργειακές αποδόσεις των κύκλων ζωής σε 80,55% για το biodiesel έναντι 83,28% για το πετρέλαιο diesel. Η χαμηλότερη αποδοτικότητα για το biodiesel απεικονίζει ελαφρώς υψηλότερες σε ανάγκες ενέργειας διαδικασίας για την μετατροπή της ενέργειας που περιεχεται στο πετρέλαιο σόγιας σε καύσιμο. Από την άποψη της αποτελεσματικής χρήσης των συμβατικών ενεργειακών πόρων, το biodiesel παράγει περίπου 3,2 μονάδες από την ενέργεια προϊόντων καυσίμων για κάθε μονάδα της συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται στον κύκλο ζωής. Σε αντίθεση, ο κύκλος ζωής του πετρελαίου diesel παράγει μόνο 0,83 μονάδες της ενέργειας προϊόντων καυσίμων ανά μονάδα της συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται. Τέτοια μέτρα επιβεβαιώνουν τη "ανανεώσιμη" φύση του biodiesel. Ο κύκλος ζωής για το B20 έχει μια αναλογικά χαμηλότερη συμβατική ενεργειακή αναλογία (0,98 μονάδες της ενέργειας προϊόντων καυσίμων για κάθε μονάδα της συμβατικής ενέργειας που καταναλώνεται). Η συμβατική ενεργειακή αναλογία του B20 απεικονίζει τον αντίκτυπο της προσθήκης του πετρελαίου diesel στο μίγμα.

➤ **εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.** Η απαίτηση για την συμβατική ενέργεια που συνδέεται με το biodiesel είναι χαμηλή, έτσι οι εκπομπές κύκλων ζωής του CO₂ είναι, όπως ήταν αναμενόμενο, πολύ χαμηλότερες. Ανά μονάδα εργασίας παραδοθέν από μια μηχανή λεωφορείων, το B100 μειώνει τις εκπομπές του καθαρού CO₂ κατά 78,45% έναντι του πετρελαίου diesel. Οι εκπομπές του CO₂ του κύκλου ζωής του B20 είναι κατα 15,66% χαμηλότερες. Κατά συνέπεια, η αντικατάσταση του πετρελαίου diesel με το biodiesel στα αστικά λεωφορεία είναι μια εξαιρετικά αποτελεσματική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών του CO₂.

➤ **συνολικές εκπομπές μονοξειδίου, σωματιδίων και άνθρακα.** Ο κύκλος ζωής του B100 παράγει 32% λιγότερο TPM και 35% λιγότερο CO από τον κύκλο ζωής πετρελαίου diesel. Οι περισσότεροι εμφανίζονται λόγω των χαμηλότερων εκπομπών στις εξατμίσεις. Οι εκπομπές σε PM10 από τη λειτουργία ενός αστικού λεωφορείου με biodiesel είναι 68% χαμηλότερες από εκείνες από ένα αστικό λεωφορείο που λειτουργεί με πετρέλαιο diesel. Το biodiesel μειώνει τις εκπομπές CO στις εξατμίσεις κοντά στο 46%.

➤ **εκπομπές οξειδίων αζώτου.** Συγχρόνως, οι εκπομπές των NO_x είναι 13% υψηλότερες για τον κύκλο ζωής του B100 έναντι του κύκλου ζωής του πετρελαίου diesel. Το B20 έχει τις υψηλότερες εκπομπές σε NO_x στη διάρκεια του κύκλου ζωής του κατά 2,67%. Πάλι, αυτή η αύξηση οφείλεται λόγω των υψηλών εκπομπών NO_x στις εξατμίσεις. Ένα αστικό λεωφορείο με καύσιμο B100 έχει εκπομπές NO_x που είναι 8,89% υψηλότερες από αυτές ενός λεωφορείου που χρησιμοποιεί πετρέλαιο diesel.

➤ **συνολικοί υδρογονάνθρακες.** Εκθέτουμε επίσης 35% υψηλότερες εκπομπές στον κύκλο ζωής THC συγκρινόμενες με το πετρέλαιο diesel, αλλά στις εξατμίσεις οι εκπομπές THC είναι 37% χαμηλότερες για το B100 απ'ό,τι για πετρέλαιο diesel. Η αύξηση προκύπτει από το εξάνιο που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας σόγιας και της αεριοποίησης των αγροχημικών που εφαρμόστηκαν στο αγρόκτημα. Στοιχεία εκπομπών αερίων συχνά δεν αναφέρονται στη βασική περίπτωση. Παραδείγματος χάριν, τα στοιχεία καλύπτουν την κλίμακα από τις συγκεκριμένες ενώσεις HC όπως CH₄ ή βενζίνης στα ευρεία μέτρα THC, τα οποία δεν μετριοούνται με συνέπεια. Το σύνολο των στοιχείων μας περιλαμβάνει τους αριθμούς που αναφέρονται ως απροσδιόριστο HC και ως NMHC. Επομένως βλέπουμε αυτά τα στοιχεία με προσοχή.

➤ **νερό και στερεά απόβλητα.** Εκθέτουμε τις ροές συνολικού απόβλητου ύδατος και στερεών αποβλήτων. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι οι ροές απόβλητου ύδατος κύκλων ζωής biodiesel είναι σχεδόν 80% χαμηλότερες από εκείνες του πετρελαίου diesel. Το biodiesel είναι επίσης αρμόδιο για μόνο περίπου 5% των επιβλαβών αποβλήτων παραγμένα από το πετρέλαιο diesel. Εντούτοις, δεν έχουμε μια συνεπή βάση για αυτές τις ροές επειδή η τελική διάθεση και η σύνθεσή τους είναι τόσο διαφορετικές.

➤ **κατανάλωση νερού.** Σε ένα κύκλο ζωής βάσης, το B100 χρησιμοποιεί νερό σε ένα επίπεδο που είναι τρεις φορές υψηλότερο από το πετρέλαιο diesel.

1.10. Πίνακες στοιχείων κύκλων ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής παρήγαγε τα στοιχεία περιγράφοντας κάθε σημαντικό βήμα για την παραγωγή και χρήση του biodiesel και του diesel καύσιμου. Αυτοί οι πίνακες παρέχονται εδώ για να βοηθήσουν τον αναγνώστη στην κατανόηση όπου οι διάφορες εκπομπές και οι εισαγωγές εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια των κύκλων ζωής. Προκειμένου να γίνουν κατανοητοί αυτοί οι πίνακες πρέπει να θεωρηθούν τα ακόλουθα ζητήματα. **Κατ' αρχάς**, όλες οι εισαγωγές και οι εκροές που συνδέονται με κάθε βήμα στους κύκλους ζωής παρουσιάζονται ως μονάδες ανά ώρα ιπποδύναμης φρένων της υπηρεσίας μηχανών diesel. **Δεύτερον**, αυτά τα στοιχεία "ήδη έχουν διατεθεί" με άλλα λόγια, εάν μια διαδικασία δημιουργεί δύο προϊόντα, οι εισαγωγές (ενέργεια, χημικές ουσίες, πρώτες ύλες τροφοδοσίας) και οι εκπομπές (αέρα, νερού, στερεά απόβλητα) έχουν κατανεμηθεί μεταξύ των δύο προϊόντων βασισμένων σε μια μαζική κατανομή. Μόνο το μέρος των εισαγωγών και οι εκπομπές που έχουν διατεθεί στα καύσιμα του diesel και του biodiesel παρουσιάζονται. **Τρίτον**, μερικές εισαγωγές, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, δεν παρουσιάζονται άμεσα. Αντ' αυτού, παρουσιάζονται οι πρώτες ύλες που καταναλώνονται για να κάνουν την ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι αντί της ηλεκτρικής ενέργειας, θα

δείτε τις εκτιμήσεις του άνθρακα, του φυσικού αερίου, ή των εισαγωγών ουράνιου. Τελικά, ο βαθμός ακρίβειας που παρουσιάζεται, π.χ., αριθμός διαστημάτων δεξιά ενός δεκαδικού σημείου, δεν είναι ενδεικτικός της εμπιστοσύνης που τοποθετούμε τον ίδιο τον αριθμό. Ο βαθμός ακρίβειας που παρουσιάζεται παρέχει μια ευκαιρία για έναν άλλο ερευνητή να αναπαραχθούν οι αριθμοί μας.

Οι πίνακες κύκλων ζωής παρέχονται στην ακόλουθη σειρά : ενεργειακή απόδοση, ισορροπία άνθρακα, εισαγωγές, και εκπομπές αερίων.

Πίνακας 1.9: Απαίτηση αρχικής ενέργειας για τον κατάλογο κύκλων ζωής diesel πετρελαίου

Στάδιο	Αρχική ενέργεια (MJ ανά MJ των καυσίμων)	Τοις εκατό
Εσωτερική ακατέργαστη παραγωγή	0.5731	47,73%
Ξένη παραγωγή ακατέργαστου πετρελαίου	0.5400	44,97%
Εσωτερική ακατέργαστη μεταφορά	0.0033	0,28%
Ξένη ακατέργαστη μεταφορά	0.0131	1,09%
Καθαρισμός ακατέργαστου πετρελαίου	0.0650	5,41%
Μεταφορά καυσίμων diesel	0.0063	0,52%
Σύνολο	1.2007	100,00%

1.11. Αναγκαιότητα και σκοπιμότητα χρήσης και εφαρμογής των μεθόδων AKZ σε μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού με πετρέλαιο DIESEL

Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στη Μονάδα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Πετρέλαιο DIESEL είναι αποτίμηση της επένδυσης και των συνεπειών που αυτή έχει στο περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιολόγηση της επένδυσης. Πιο ειδικά εξετάζονται οι δυνατότητες μείωσης των αέριων ρύπων που παράγονται από την καύση του πετρελαίου, της ηχορύπανσης που δημιουργείται από την λειτουργία της μονάδας την προώθηση της ανθρώπινης υγείας και γενικότερα η μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος κατά την δημιουργία, λειτουργία και διάλυση της Μονάδας. Επιπλέον η ανάλυση κύκλου ζωής μπορεί να αποσκοπεί καθαρά σε οικονομικά οφέλη.

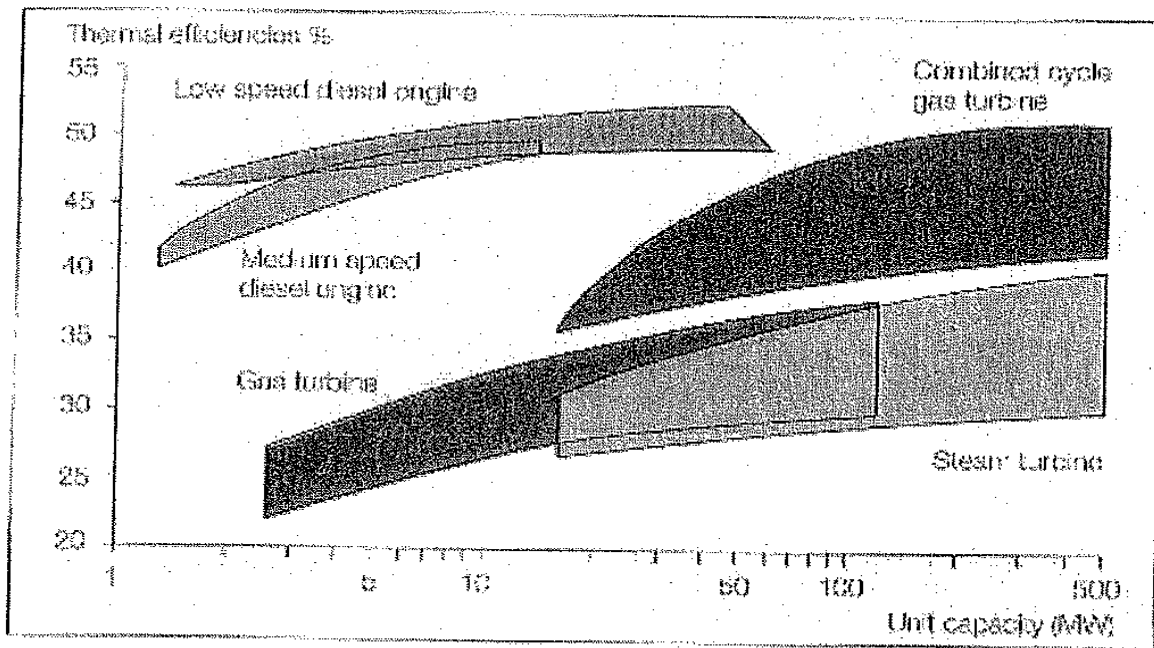


Fig. 4: A comparison of typical unit efficiencies, based on ISO 3046/1986

Σχήμα 1.11. Βαθμοί απόδοσης διαφόρων μονάδων ντίζελ

Είδη καυσίμου Diesel

Ο διαχωρισμός των καυσίμων diesel γίνεται κατά κύριο λόγο με βάση τον αριθμό Κετανίου (CN), χαρακτηριστικό μέγεθος της ποιότητας έναυσης. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του αριθμού κετανίου τόσο ευκολότερα το καύσιμο αναφλέγεται. Ο αριθμός κετανίου προκύπτει από τη σύγκριση του καυσίμου με πρότυπο καύσιμο, μίγμα δυο καυσίμων αναφοράς-το κανονικό κετάνιο(n-hexadecane) και το κανονικό επταμεθύλιο (heptamethyl nonane). Το κανονικό εξάδεκάνιο, το οποίο είναι εξαιρετικά έφλεκτο, αντιστοιχεί στην κορυφή της κλίμακας με αριθμό κετανίου 100 ενώ το κανονικό επταμεθύλιο, παραφίνη χαμηλής ποιότητας έναυσης, στη βάση της κλίμακας με αριθμό 15. ο αριθμός κετανίου καυσίμου προκύπτει από την εξίσωση:

$$CN = \text{ποσοστό κανονικού κετανίου} + \text{ποσοστό κανονικού επταμεθύλιου}$$

Η ψυχρή εκκίνηση, ο περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων, η μείωση θορύβου καθώς και κατανάλωσης καυσίμου είναι τα σημαντικότερα οφέλη από χρήση καυσίμου με υψηλό αριθμό κετανίου.

Στον Ελλαδικό χώρο οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με πετρέλαιο diesel είναι πάρα πολλές. Οι περισσότερες είναι αεριοστρόβιλοι και είναι εγκατεστημένοι σε νησιά όπου η σύνδεση με το ηπειρωτικό δίκτυο είναι αδύνατη. Αποτελούν μια ακριβή λύση παραγωγής ενέργειας καθώς το πετρέλαιο είναι εισαγόμενο προϊόν και η τιμή του είναι υψηλή και κυμαινόμενη. Δεν παύουν όμως να είναι αξιόπιστες. Οι ντίζελοκινητήρες δεν χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλη έκταση αλλά εκεί οδηγούν οι τάσεις της αγοράς, γεγονός που καθιστά την ανάγκη χρήσης τέτοιων μεθόδων επιτακτική προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοτικότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον λύση. Παρόλα αυτά δεν έγιναν σημαντικές προσπάθειες αξιολόγησης μονάδων με μεθόδους ανάλυσης κύκλου ζωής ή τουλάχιστον δεν βρέθηκαν μελέτες. Ας μην λησμονηθεί όμως ότι οι μελέτες αυτές αποτελούν εργαλείο χρήσης των μεγάλων εταιριών στο εξωτερικό τα τελευταία 30 χρόνια, είναι πολυδάπανες και άγνωστες σχεδόν στην ελληνική αγορά.

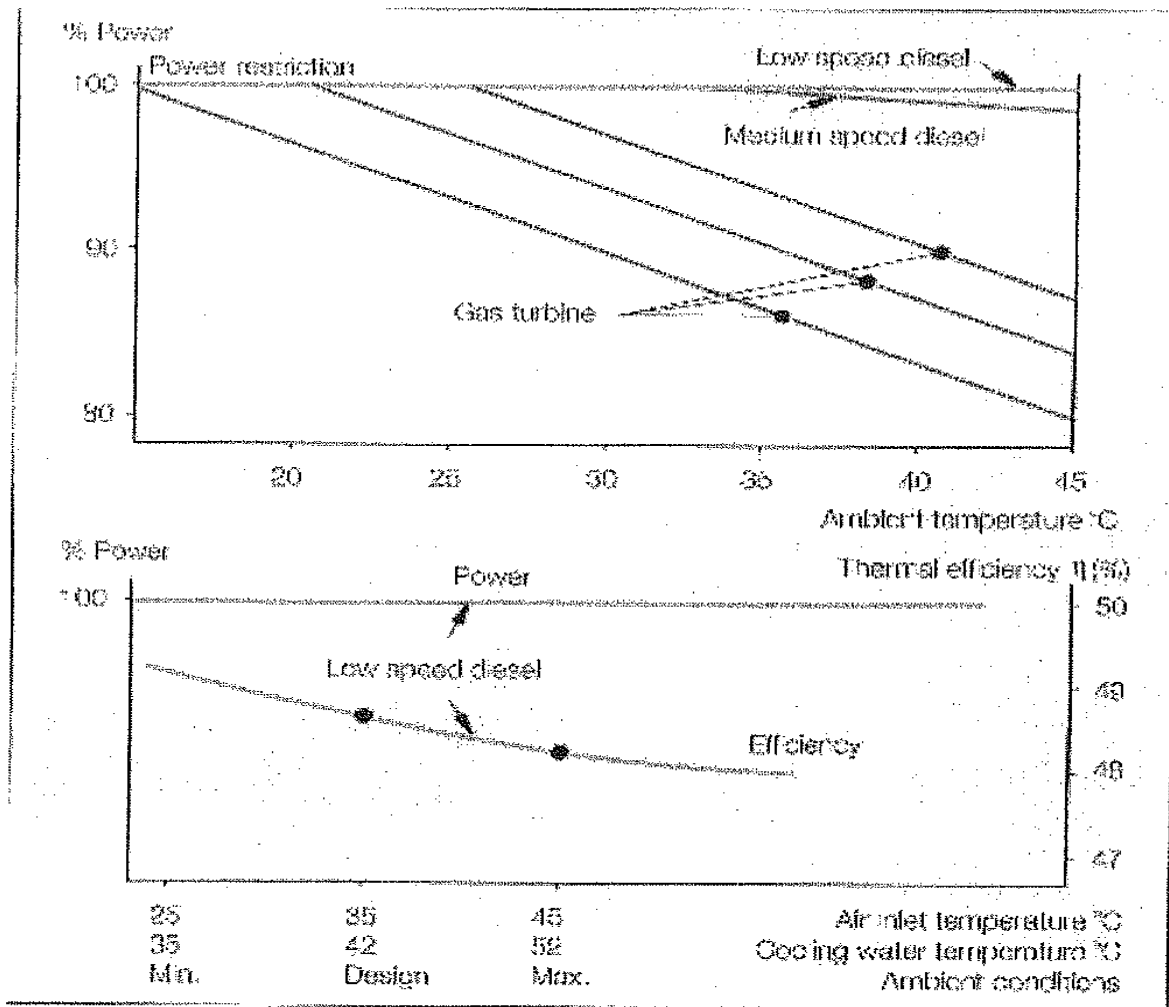


Fig. 5: Influence on power and efficiency of ambient conditions for different prime movers

2

Σχήμα 1.12. Συγκριτικά στοιχεία διαφόρων κινητήρων

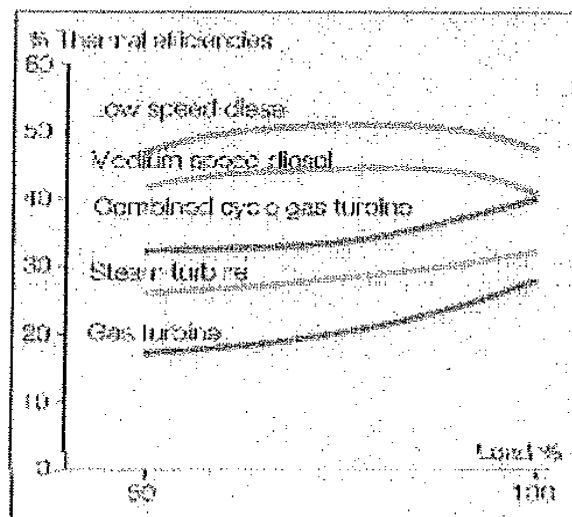


Fig. 9: Part-load efficiency of various prime movers

Σχήμα 1.13. Συγκριτικά στοιχεία διαφόρων μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού

Στάδια του κύκλου ζωής παραγωγής ηλεκτρισμού από πετρέλαιο DIESEL.

Για μία Μονάδα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Πετρέλαιο DIESEL ο Κύκλος Ζωής της περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Παραγωγή Άυλών.

Στο στάδιο αυτό ασχολούμαστε με την εξόρυξη πετρελαίου, νερού, μετάλλων (όπως χάλυβα, σιδήρου κλπ), ασβεστόλιθου, άμμου.

2. Κατασκευή υλικών και προϊόντων.

Εδώ χρησιμοποιούμε τα υλικά που εξορύξαμε και κάποια έτοιμα για να κατασκευάσουμε την μονάδα και να αρχίσουμε την λειτουργία της όπου θα χρησιμοποιήσουμε το πετρέλαιο και το νερό για να παρασκευάσουμε ενέργεια.

3. Συσκευασία – Τυποποίηση.

Όσον αφορά την συσκευασία και την τυποποίηση των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών τμημάτων μιας μονάδας δεν βρέθηκαν στοιχεία.

4. Μεταφορά – Διανομή.

Στο στάδιο αυτό μας απασχολεί η μεταφορά και η διανομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας στους καταναλωτές.

5. Χρήση – Επαναχρησιμοποίηση – Συντήρηση.

Εδώ ασχολούμαστε με την ενέργεια και τα περιβαλλοντικά απόβλητα που συνδέονται με την συντήρηση της μονάδας, την αποθήκευση του πετρελαίου και του νερού και με την καύση του πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

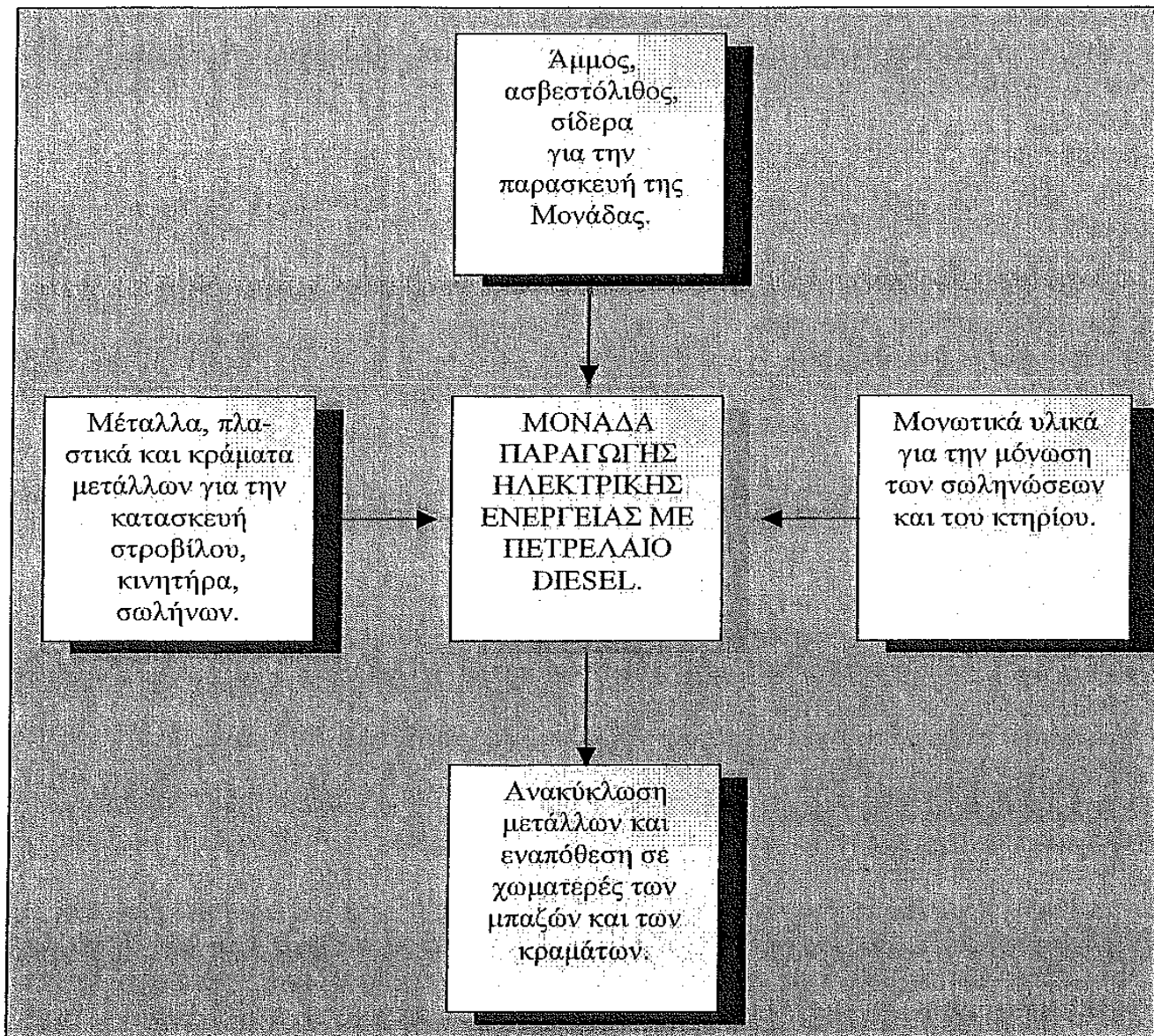
6. Ανακύκλωση – Διαχείριση αποβλήτων.

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την ενέργεια και τα απόβλητα που προκύπτουν από την διανομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας.

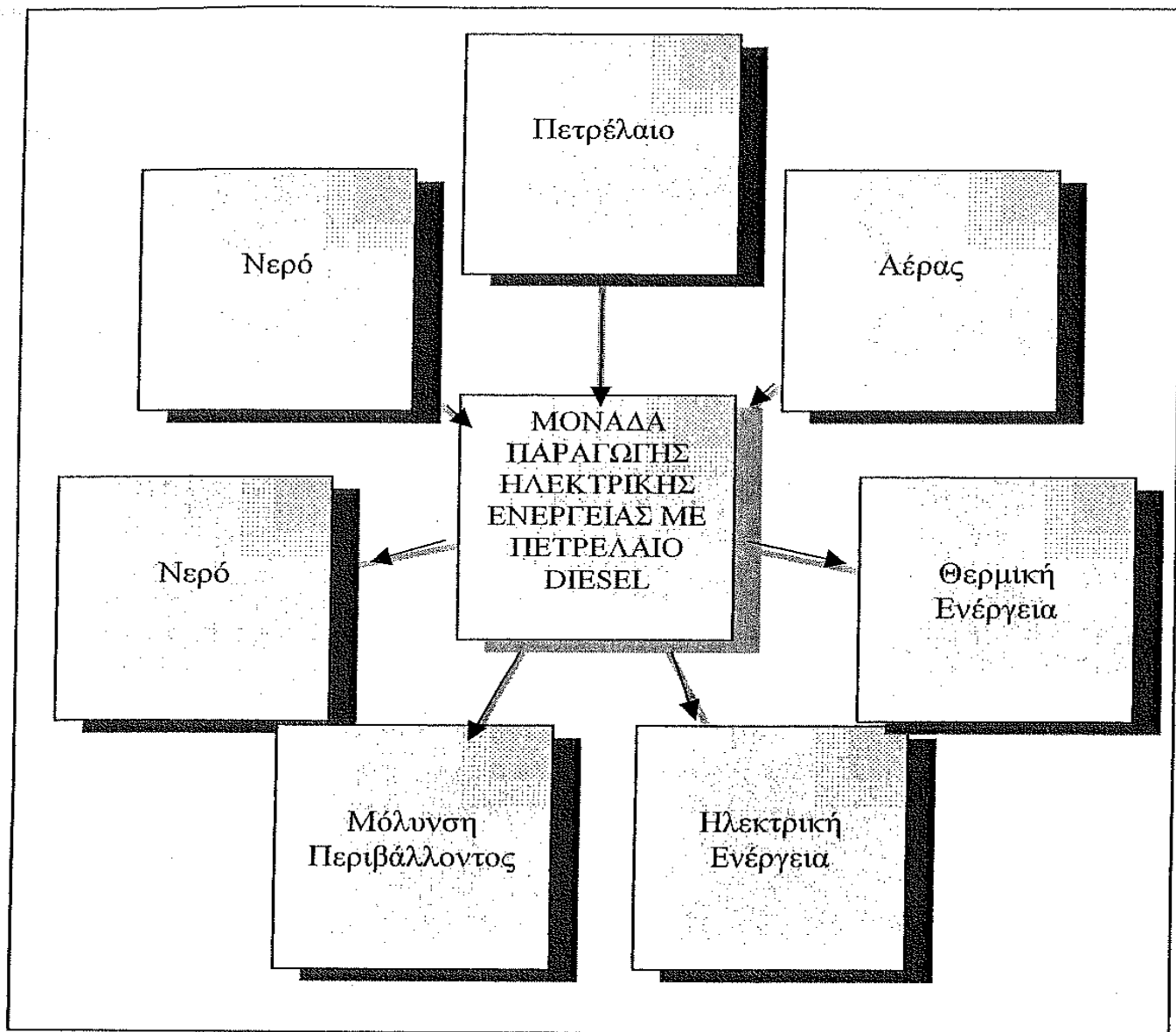
7. Τελική διάθεση – Απόρριψη.

Ασχολείται με την ενέργεια και τα απόβλητα που προκύπτουν από την διάλυση της μονάδας.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω δεν ασχολούμαστε μόνο με τον κύκλο ζωής της παραγωγής Ηλεκτρισμού αλλά και με τον Κύκλο Ζωής της Μονάδας. Για τον λόγο αυτό παρακάτω παραθέτονται ο πίνακας Κύκλου Ζωής της Μονάδας, του κινητήρα και της Παραγωγής Ηλεκτρισμού όπου φαίνονται ξεκάθαρα τα στάδια που ακολουθούνται για το καθ' ένα:

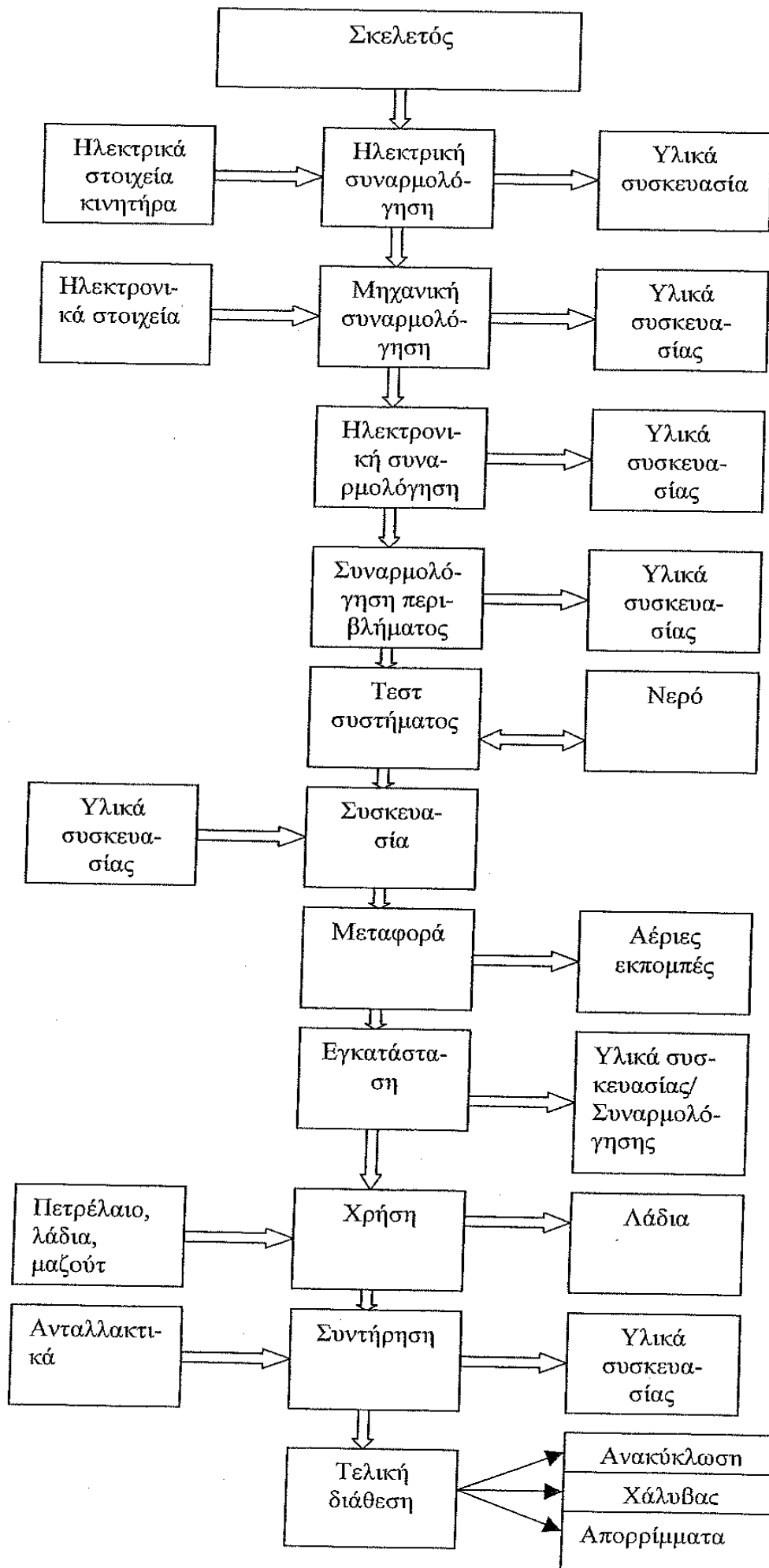


Σχήμα 1.14. Πίνακας Κύκλου Ζωής της Μονάδας.



Σχήμα 1.15. Πίνακας Κύκλου Ζωής της Παραγωγής Ηλεκτρισμού από Πετρέλαιο.

Ακολουθεί το σχήμα 1.16, ο Πίνακας Κύκλου Ζωής του κινητήρα.



1.12. Μεθοδολογία που ακολουθείται

Λαμβανομένου υπόψη του γεγονότος ότι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι ένα εργαλείο σε εξέλιξη, η μεθοδολογία της δεν είναι δυνατό να στηριχθεί σε αυστηρούς κανόνες.

Η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής που προτείνεται από τον SETAC αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης.
2. Αναλυτική απογραφή των δεδομένων.
3. Εκτίμηση επιπτώσεων.
4. Εκτίμηση βελτιώσεων .

Κάθε στάδιο της μεθοδολογίας αυτής ασχολείται πιο συγκεκριμένα με:

1. Προσδιορισμός του στόχου και της έκτασης της μελέτης.

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει κάποια βήματα στο αρχικό στάδιο της μελέτης για να επιτευχθεί πλήρως η κατανόηση της επιδίωξης, να προσδιοριστεί το προς μελέτη σύστημα και να οριστούν οι σχετικές απαιτήσεις για επανεξέταση της από ειδήμονες και συσχέτιση των αποτελεσμάτων της. Ο σκοπός, το αντικείμενο και η μελλοντική εφαρμογή της μελέτης αυτής επηρεάζει την κατεύθυνση, το βάθος της και τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς και της επανεξέτασής της.

Εδώ προσδιορίζεται:

- Η επιδίωξη της μελέτης.

Περιλαμβάνει μια ξεκάθαρη δήλωση της διεξαγωγής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και της επιδιωκόμενης χρήσης των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, για μια μονάδα παραγωγής Ηλεκτρισμού με πετρέλαιο Diesel βασική επιδίωξη είναι η αποτελεσματικότητά της σε σχέση με τα διεθνή πρότυπα, με τον αρχικό σχεδιασμό της όπως και με τις αναμενόμενες και μη επιπτώσεις στον περιβάλλοντα αυτής χώρα.

- Αντικείμενο της μελέτης.

Καθορίζει το σύστημα, τα όρια, τις απαιτήσεις των δεδομένων, τις υποθέσεις και τους περιορισμούς. Πρέπει να προσδιορίζεται με λεπτομέρεια, ώστε να εξασφαλίζει την επάρκεια και την συμβατότητα του εύρους και του βάθους της ανάλυσης με τον διατυπωμένο σκοπό. Αναλυτικότερα, προσδιορίζονται οι διαδικασίες που περιγράφουν την εξεταζόμενη μονάδα «από την κούνια στον τάφο», δηλαδή από τη στιγμή που ξεκινά η κατασκευή της μέχρι τη διάλυση της . Πρέπει επίσης να αναφερθεί και το πόσο λεπτομερής θα γίνει τελικά η μελέτη, δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση κατά πόσο και αν θα πρέπει να εξεταστεί η διαδικασία εξόρυξης, μεταφοράς και επεξεργασίας του πετρελαίου, των διαφόρων μεταλλευμάτων και πετρωμάτων για την κατασκευή της μονάδας και των επιμέρους μηχανικών, ηλεκτρολογικών και δομικών τμημάτων της. Ακόμη κατά πόσο και αν θα πρέπει να εξεταστεί η απαλλοτρίωση και η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου πριν την κατασκευή και μετά τη διάλυση της μονάδας. Βασικό σημείο αναφοράς μιας τέτοιας μελέτης είναι οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις καθώς και οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αυτό καθορίζεται από τον αρχικό σκοπό της και τα δεδομένα που είναι εφικτό να συγκεντρωθούν.

- Ορίζεται η λειτουργική μονάδα.

Αποτελεί θεμελιώδες βήμα για την αποφυγή ασαφειών κατά την διατύπωση του σκοπού. Η λειτουργική μονάδα συντελεί στη δημιουργία μιας βάσης σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών Κύκλων Ζωής προϊόντος και μεταξύ διαφόρων σεναρίων ή υποθέσεων. Ακόμη αποτελεί ένα μέτρο απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον χωρίζονται τα διάφορα υποσυστήματα προκειμένου να διευκολυνθεί η μελέτη μας. Για μια μονάδα μπορούμε να αναφερθούμε χωριστά στον κύκλο παραγωγής ηλεκτρισμού από diesel, τον κύκλο ζωής του ντηζελοκινητήρα και του συνόλου των εγκαταστάσεων της μονάδας.

- Εκτίμηση της ποιότητας των δεδομένων (καθορίζεται η διαδικασία για την ποιοτική εξασφάλιση της μελέτης).

Η ποιότητα των δεδομένων ορίζεται ως ο βαθμός αξιοπιστίας ανάμεσα σε αυτά της εισόδου και της εξόδου ξεχωριστά, στα συνολικά και στις αναφορές που βασίζονται στην χρήση τους. Συνεπώς αφορά την εξέταση της πηγής τους, συλλογής τους, το κατά πόσο ανταποκρίνονται στο

χρόνο και χώρο της μελέτης όπως και της επεξεργασίας που έχουν τελικά υποστεί. Στη περίπτωση της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής εξετάζεται η αξιοπιστία των οργανισμών ή ιδιωτών που έκαναν τις μετρήσεις των ρύπων και συνεπειών, των οικονομοτεχνικών στοιχείων και ποσοτήτων που την αφορούν καθώς και των εργαλείων που μέτρησαν.

2. Αναλυτική απογραφή των δεδομένων.

Κατά την μελέτη αυτή συλλέγονται και παρουσιάζονται δεδομένα στοιχείων εισόδου και εξόδου του συστήματος. Περιλαμβάνει της εξής επιμέρους μελέτες:

- α) Παραγωγή ενέργειας.
- β) Κατασκευή.
- γ) Χρήση.
- δ) Διαχείριση αποβλήτων.

Η αναλυτική απογραφή είναι μια τεχνική διαδικασία ποσοτικοποίησης βασισμένη σε δεδομένα των συνολικών απαιτήσεων σε ενέργεια και Ά ύλες, των ατμοσφαιρικών εκπομπών, των αποβλήτων που μεταφέρονται στο νερό, των στερεών απορριμμάτων και άλλων στοιχείων που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή ενός προϊόντος ή σε μια διεργασία.

Το στάδιο αυτό αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια:

a) Δεδομένα.

Απαιτούνται αναλυτικά δεδομένα με τη μορφή εισροών και εκροών. Διαθέσιμες πηγές δεδομένων είναι:

Σχεδιαστές προϊόντων ή διεργασιών.

Μηχανικοί υπολογισμοί που βασίζονται σε χημικές και τεχνολογικές διεργασίες.

Εκτιμήσεις από παρόμοιες διεργασίες.

Δημοσιεύσεις και εμπορικά διαθέσιμες βάσεις δεδομένων. Ανταγωνιστικά πρότυπα χρήσης προϊόντων.

Διαδικασία υπολογισμού

Κατά την απογραφή δεδομένων υπολογίζεται το συνολικό ισοζύγιο μάζας και η συνεισφορά καθενός υποσυστήματος στο συνολικό σύστημα πολλαπλασιάζοντας όλα τα εξισορροπημένα δεδομένα με την εξερχόμενη μάζα.

Πίνακες απογραφής δεδομένων

Κατά την παρουσίαση των δεδομένων θα πρέπει να προσέξουμε ούτως ώστε να μην παραλείψουμε κάποιο από αυτά για να μην μειωθεί ο βαθμός ανάλυσης.

Μεταβλητότητα δεδομένων και ανάλυση ευαισθησίας

Η έκταση της μεταβλητότητας και της αβεβαιότητας μαζί με της ελλείψεις δεδομένων θα πρέπει να αναφέρονται στη μελέτη καθώς επηρεάζει την το αποτέλεσμα και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Σκόπιμες παραλήψεις

Σε κάθε μελέτη υπάρχουν δεδομένα τα οποία δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμά της. Τέτοιου είδους δεδομένα μπορούμε να τα αποκρύψουμε και να διατηρήσουμε το κόστος της μελέτης σε χαμηλά επίπεδα.

b) Διαδικασίες κατανομής.

Λόγω του ότι σε πολλά υποσυστήματα προκύπτουν υποπροϊόντα η διαχείριση τους πραγματοποιείται ως μια ξεχωριστή λειτουργία. Το στάδιο αυτό αποτελείται από τα εξής υποστάδια:

- I. Δευτερεύοντα προϊόντα
- II. Διαδικασία αντιμετώπισης αποβλήτων
- III. Ανακύκλωση

Σε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας το μόνο προϊόν που παράγεται είναι το ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο δεν ανακυκλώνεται. Απόβλητα που προκύπτουν από τις διαδικασίες χρήσεις επεξεργάζονται πριν εναποτεθούν στο έδαφος, στο υδάτινο περιβάλλον και στην ατμόσφαιρα.

Διαχείριση της ενέργειας των πρώτων υλών.

Εδώ αναφέρουμε όλες τις λειτουργίες που περιλαμβάνονται για την παραγωγή και μετατροπή της ενέργειας, αφού αποτελούν μέρη του συστήματος και συνεισφέρουν στην απογραφή όπως και κάθε άλλο υποσύστημα.

Η ενέργεια τροφοδοσίας υπολογίζεται ως η ανώτερη θερμογόνος δύναμη των πηγών ενέργειας που λαμβάνεται από τα ενεργειακά αποθέματα.

c) Κρίσιμα σημεία κατά την διεξαγωγή της αναλυτικής απογραφής.

Ανάπτυξη αυτόνομων δεδομένων

Αυτόνομα δεδομένα ονομάζεται το σύνολο των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για να τυποποιηθούν ή να κανονικοποιηθούν τις εισροές και τις εκροές της υπομονάδας κάθε υποσυστήματος για το συγκεκριμένο προϊόν ή διεργασία ή δραστηριότητα που αναλύεται. Εδώ επιδιώκονται δύο στόχοι:

Η παρουσίαση δεδομένων για κάθε υποσύστημα εμφανίζοντας την ίδια ποσότητα προϊόντος στην έξοδο κάθε συστήματος

1. Η ανάπτυξη των δεδομένων που αφορούν τον Κύκλο Ζωής μόνο του προϊόντος που εξετάζεται στην αναλυτική απογραφή.

Αφού πρώτα κατανέμουμε τις εισροές και τις εκροές κάθε υποσυστήματος πραγματοποιούμε τις αριθμητικές συσχετίσεις των υποσυστημάτων εντός του συνολικού διαγράμματος ροής του συστήματος.

d) Εφαρμογές μιας αναλυτικής απογραφής δεδομένων.

Τα αποτελέσματα της παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες και συχνά οι περισσότερες μελέτες που διεξάγονται δεν προχωρούν παραπέρα. Οι αναλυτικές απογραφές δεδομένων δεν μπορούν να αποτελέσουν μόνες τους Αναλύσεις Κύκλου Ζωής παρά μόνο ένα στάδιο της ευρύτερης μεθοδολογίας τους.

3. Εκτίμηση επιπτώσεων.

Περιλαμβάνει της εξής μελέτες:

α) Υγεία οικοσυστήματος.

β) Ανθρώπινη υγεία.

γ) Εξάντληση φυσικών πόρων.

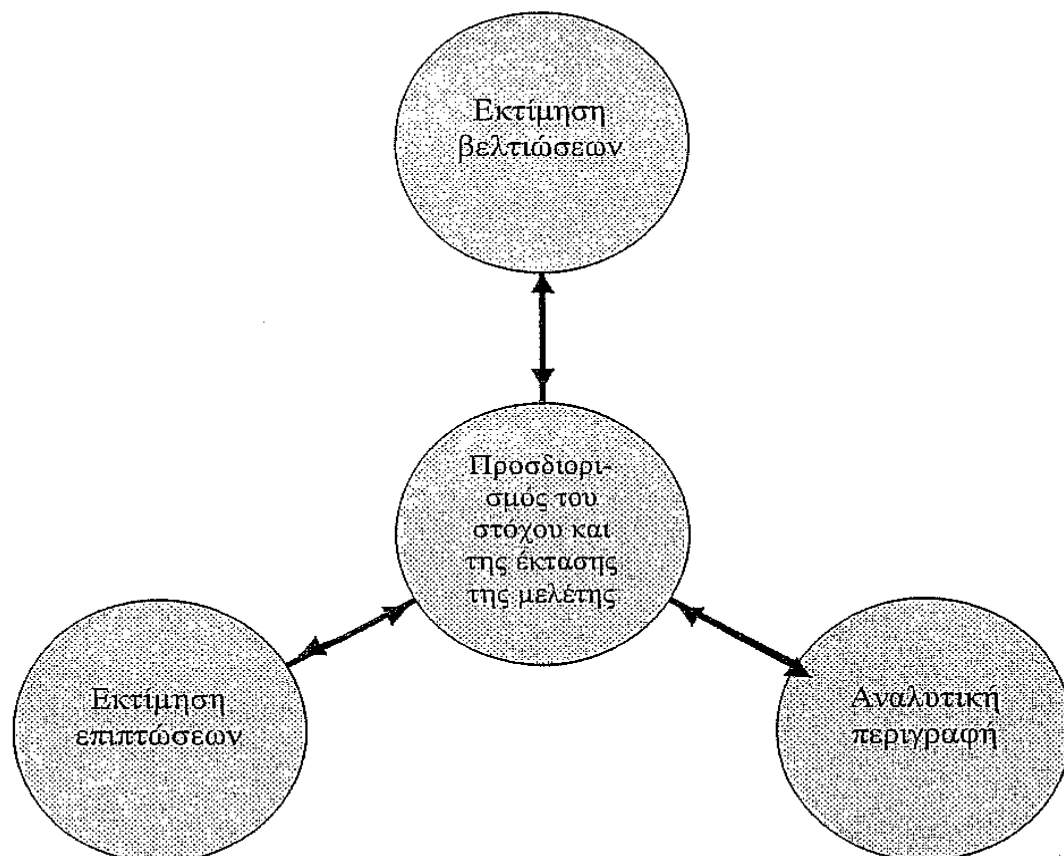
δ) Οικονομικές επιπτώσεις.

Η εκτίμηση επιπτώσεων προστέθηκε στη μεθοδολογία για να δώσει μια προοπτική στα δεδομένα και στις πληροφορίες εισόδου και εξόδου, καθώς είναι δύσκολο να γίνει κατανοητή η σχέση των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος με το περιβάλλον ή το όφελος από την επίτευξη βελτιώσεων στο σύστημα χωρίς την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των απόβλητων και της ελάττωσης των αποθεμάτων.

4. Εκτίμηση βελτιώσεων.

Ενσωματώθηκε στη μεθοδολογία για να δώσει έμφαση στη χρήση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σαν μέσο μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με το υπό μελέτη σύστημα, να εξασφαλίσει ότι ο στόχος μιας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής δεν είναι η χρησιμοποίηση της για την υποστήριξη μόνο του status quo (αυτό που ήδη υπάρχει) και τέλος να αναγνωρίσει ότι όλα τα συστήματα έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον με περιθώριο μείωσης.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής δεν αποτελεί απαραίτητα μια γραμμική διεργασία ή μια βήμα προς βήμα διεργασία και αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου παρουσιάζεται το πλαίσιο μεθοδολογίας.



Σχήμα 1.17. Πίνακας μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.

Το φυσικό αέριο αποτέλεσε το 5,26 % της πρωτογενούς ενέργειας που καταναλώθηκε στην Ελλάδα για το έτος 2002 με ετήσια αύξηση 4,4% σύμφωνα με την BP REPORT 2003. Χρησιμοποιείται για παραγωγή ατμού και θερμότητας σε βιομηχανικές χρήσεις, για θέρμανση κατοικιών και για ηλεκτροπαραγωγή. Σήμερα, περίπου το 15 % της εγχώριας παραγωγής ενέργειας καλύπτεται με χρήση φυσικού αερίου. Ήδη, στα πλαίσια της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας σε εφαρμογή της Οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν χορηγηθεί άδειες για Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας αποκλειστικά με χρήση Φυσικού Αερίου συνολικής ισχύος 3.000 MW. Η υλοποίηση των επενδύσεων αυτών αναμένεται να επιφέρει σημαντική αύξηση στην κατανάλωση Φυσικού Αερίου το 2010 κατά περίπου 2 δις κ.μ. Εξαιτίας της σημασίας του, παραστάθηκε η ανάλυση κύκλου ζωής μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου, η οποία θα μπορεί να συγκριθεί με αντίστοιχες με χρήση άλλων καυσίμων. Η εργασία αυτή θα δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης αυτών των σημαντικών τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής.

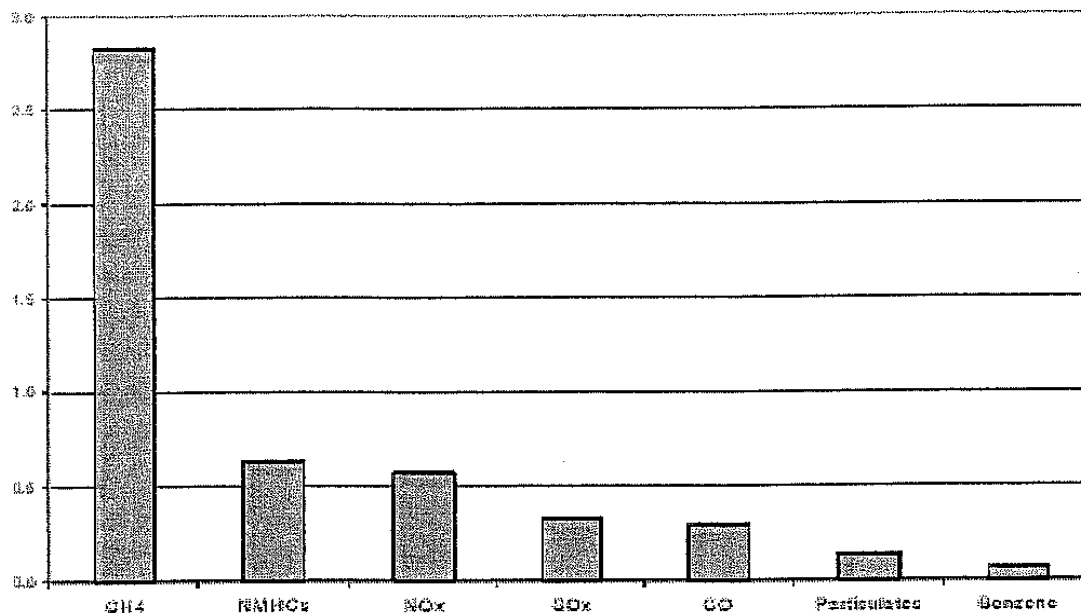
Δεδομένου ότι οι τεχνολογίες upstream μπορούν να αποβούν ιδιαίτερα επιβαρυντικές για το περιβάλλον, η χρήση μεθοδολογιών ανάλυσης κύκλου ζωής είναι σημαντική για την κατανόηση της περιβαλλοντικής επίδρασης σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Το σύστημα που αξιολογήθηκε σε αυτή την εργασία χωρίστηκε στα παρακάτω στάδια: κατασκευή και παροπλισμός του σταθμού παραγωγής, κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου, παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου, παραγωγή αμμωνίας και διανομή για απομάκρυνση NOx και τέλος λειτουργία του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το μέγεθος του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου είναι 505 MW. Ο σταθμός αποτελείται από δύο αεριοστρόβιλους, έναν τριών πιέσεων ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας και έναν στρόβιλο αναθέρμανσης συμπυκνωμένου ατμού. Για να ελαχιστοποιηθούν οι εκλύσεις NOx, ο σταθμός διαθέτει φίλτρα επιλεκτικής καταλυτικής μείωσης NOx, με ψεκαστές νερού. Επιπρόσθετα, η βασική θεώρηση που γίνεται στην ανάλυση κύκλου ζωής είναι η υπόθεση ότι το 1,4 % του συνολικού φυσικού αερίου που εξορύσσεται, χάνεται στην ατμόσφαιρα ως δραπετεύουσες εκλύσεις.

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το 99% κ.β. όλων των αερίων εκπομπών. Το μεθάνιο ακολουθεί με 74% ως αποτέλεσμα των εκλύσεων φυσικού αερίου που διαφεύγουν κατά την παραγωγή και μεταφορά του. Ακολουθούν μη μεθανούχοι υδρογονάνθρακες (NMHCs), NOx, SOx, CO, σωματίδια και το βενζόλιο.

Τα κύρια αέρια που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, CO₂, CH₄, και N₂O, λαμβάνονται υπόψη στο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης (GWP) του συστήματος. Σύμφωνα με την διακυβερνητική ομάδα για την αλλαγή του κλίματος (IPCC) η συνεισφορά από εκλύσεις μεθανίου και διοξειδίου του αζώτου στην παγκόσμια θέρμανση είναι 21 και 310 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα για χρονικό ορίζοντα 100 ετών. Το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης του παρόντος συστήματος είναι 499,1g ισοδύναμου CO₂ /KWh. Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει την αναλογία εκλύσεων για τα διάφορα αέρια του θερμοκηπίου και την συνεισφορά τους στο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης (GWP).

Το δυναμικό GWP του συστήματος μπορεί να χωριστεί περαιτέρω στις επιμέρους λειτουργίες του συστήματος. Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει την συνεισφορά κάθε υποσυστήματος στο συνολικό δυναμικό του συστήματος. Οι εκλύσεις διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής συνεισφέρουν τα μέγιστα στο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης με ποσοστό 64%. Εξαιτίας των εκλύσεων φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα, το υποσύστημα της παραγωγής και μεταφοράς φυσικού αερίου συνεισφέρει σχεδόν όλο το εναπομείναν δυναμικό του συστήματος.

Εκλύσεις αερίων πλην CO₂ (g/KWh)



Σχήμα 2.1. Εκλύσεις αερίων πλην CO₂

Πίνακας 2.1. Εκλύσεις των αερίων του θερμοκηπίου και συνεισφορά στο δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης

	Μέσος όρος εκλύσεων (g/KWh)	Ποσοστό αερίου του θερμοκηπίου στον πίνακα (%)	GWP συνδεδεμένο με το CO ₂	Τιμή GWP (g ισοδύναμου CO ₂ /KWh)	Ποσοστό συνεισφοράς στο GWP (%)
CO ₂	439,7	99,4	1	439,7	88,1
CH ₄	2,8	0,6	24	59,2	11,9
N ₂ O	0,00073	0,0002	310	0,2	0,04

Πίνακας 2.2. Συνεισφορά του GWP για κάθε Συστατικό του Συστήματος

Υποσυστήματα	Τιμή GWP (g ισοδύναμου CO ₂ /KWh)	Ποσοστό συνεισφοράς στο GWP (%)
Λειτουργία του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής	372,2	74,6
Παραγωγή και μεταφορά φυσικού αερίου	124,5	24,9
Κατασκευή και παροπλισμός*	2,0	0,4
Παραγωγή και μεταφορά αμμωνίας	0,4	0,1
Σύνολο	499,1	100,0

*Σημείωση: Το υποσύστημα κατασκευής και παροπλισμού περιλαμβάνει την κατασκευή και παροπλισμό του σταθμού καθώς και την κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου.

Η απόδοση του ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού είναι 48.8%, με βάση την ανώτερη θερμογόνο δύναμη. Αυτή καθορίζεται ως η ενέργεια που προσφέρεται στο ηλεκτρικό δίκτυο διαιρεμένη προς την ενέργεια που εσωκλείει το φυσικό αέριο που τροφοδοτεί τον σταθμό.

Τέσσερις ακόμη βαθμοί απόδοσης έχουν καθοριστεί για την μελέτη των ενεργειακών ανταλλαγών του συστήματος.

Πίνακας 2.3. Ορισμοί Βαθμών Απόδοσης και λόγων Ενέργειας

Απόδοση κύκλου ζωής (%) (α)	Εξεργειακός βαθμός απόδοσης (%) (β)	Καθαρός λόγος ενέργειας (γ)	Εξεργειακός λόγος ενέργειας (δ)
$= \frac{E_g - E_u - E_n}{E_n}$	$= \frac{E_g - E_u}{E_n}$	$= \frac{E_g}{E_{ff}}$	$= \frac{E_g}{E_{ff} - E_n}$
<p>Όπου: E_g= Ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται στο δίκτυο E_u= Ενέργεια καταναλισκόμενη από όλες τις διεργασίες upstream προκειμένου να λειτουργήσει ο σταθμός E_n= Ενέργεια που εσωκλείει το φυσικό αέριο που τροφοδοτεί τον σταθμό E_{ff}= Ενέργεια στερεών καυσίμων καταναλισκόμενη μέσα στο σύστημα (ε)</p>			

(α) Περιέχει την ενέργεια που καταναλώνεται σε όλες τις διεργασίες.

(β) Αποκλείει την ενέργεια που εσωκλείει το φυσικό αέριο που τροφοδοτεί τον σταθμό από την εξίσωση της απόδοσης κύκλου ζωής.

(γ) Δείχνει πόση ενέργεια παράγεται για κάθε μονάδα ενέργειας στερεού καυσίμου που καταναλώνεται.

(δ) Αποκλείει την ενέργεια που εσωκλείει το φυσικό αέριο που τροφοδοτεί τον σταθμό.

(ε) Περιέχει την ενέργεια που εσωκλείει το φυσικό αέριο που τροφοδοτεί τον σταθμό, εφόσον αυτή η πηγή καταναλώνεται στα όρια του συστήματος.

Ο καθαρός λόγος ενέργειας είναι μια πιο ακριβής μέτρηση της καθαρής απόδοσης ενέργειας από το σύστημα σε σχέση με τον εξεργειακό λόγο ενέργειας γιατί υπολογίζει όλες τις ενεργειακές προσόδους των στερεών καυσίμων. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τα αποτελέσματα των βαθμών απόδοσης και λόγων ενέργειας για μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου. Όλες οι αποδόσεις δίνονται σε μια βάση κατώτερης θερμογόνου δύναμης.

Πίνακας 2.4. Ορισμοί βαθμών απόδοσης και λόγων ενέργειας (LHV βάση)

Σύστημα	Απόδοση κύκλου ζωής (%)	Εξεργειακός βαθμός απόδοσης (%)	Καθαρός λόγος ενέργειας	Εξεργειακός λόγος ενέργειας
Φυσικό αέριο συνδυασμένου κύκλου	-70,1%	29,9%	0,4	2,2

Επειδή το φυσικό αέριο είναι μη ανανεώσιμη πηγή, η απόδοση του κύκλου ζωής είναι αρνητική, καταδεικνύοντας ότι περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται από το σύστημα παρά παράγεται με τη μορφή ηλεκτρισμού. (π.χ. αν ως καύσιμο χρησιμοποιούνταν ανανεώσιμη πηγή τότε η απόδοση του κύκλου ζωής και η εξεργειακή απόδοση θα ήταν η ίδια). Επιπλέον, η καθαρή αναλογία ενέργειας στον παραπάνω πίνακα δείχνει ότι για κάθε MJ ενέργειας καυσίμου που καταναλώνεται, παράγονται 0.4 MJ ηλεκτρικής ενέργειας. Χωρίς να περιλαμβάνουμε την κατανάλωση από την τροφοδοσία του φυσικού αερίου, η εξεργειακή απόδοση και ο εξεργειακός λόγος ενέργειας δείχνουν ότι οι διαδικασίες upstream είναι πολύ ενεργοβόρες.

Μη λαμβάνοντας υπόψη την εσωκλείουσα ενέργεια του φυσικού αερίου που τροφοδοτεί τον σταθμό, 98% της συνολικής ενέργειας καταναλώνεται στην παραγωγή και μεταφορά του φυσικού αερίου. Αυτό το υποσύστημα μπορεί να χωριστεί περαιτέρω στην εξαγωγή του, διαχωρισμό, αφυδάτωση, sweetening και μεταφορά του φυσικού αερίου με αγωγό. Από αυτές τις λειτουργίες, η εξαγωγή και η μεταφορά καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια. Η γεώτρηση απαιτεί ηλεκτρισμό, που προμηθεύεται από ντιζελογεννήτριες. Οι συμπιεστές του αγωγού,

μετακινούν το φυσικό αέριο χρησιμοποιώντας συνδυασμό χρήσης ηλεκτρισμού από το δίκτυο και φυσικού αερίου. Σε όρους κατανάλωσης πόρων, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται με την μεγαλύτερη αναλογία, καταλαμβάνοντας το 98% κ.β. όλων των πόρων. Ακολουθεί ο άνθρακας με ποσοστό 1,0% κ.β., μεταλλεύματα σιδήρου και παλιοσίδηρα με 0,7% κ.β., το πετρέλαιο με 0,4% κ.β., και ασβεστόλιθος σε ποσοστό 0,4% κ.β. Πρακτικά, όλος ο σίδηρος και ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και του αγωγού φυσικού αερίου, ενώ η παραγωγή και διανομή φυσικού αερίου καταναλώνει σχεδόν εξολοκλήρου λιγνίτη και πετρέλαιο. Επίσης, οι απαιτήσεις πόρων που σχετίζονται με την κατασκευή του αγωγού είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για την κατασκευή του ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού.

Το σύνολο των υγρών αποβλήτων βρέθηκε ότι ήταν πολύ μικρό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εκλύσεις. Τα κύρια υγρά απόβλητα είναι πετρέλαια και διαλυμένα στερεά, κατέχοντας μέχρι και το 80% κ.β. των συνολικών υγρών αποβλήτων. Τα πετρέλαια προέρχονται κυρίως από την παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου, ενώ τα διαλυμένα στερεά παράγονται κατά την κατασκευή των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή του αγωγού και του σταθμού.

Σε όρους στερεών αποβλήτων, 94% κ.β. του συνολικού συστήματος προέρχεται από το τμήμα της παραγωγής και διανομής φυσικού αερίου. Ένα μεγάλο ποσοστό των αποβλήτων, 65% του συνολικού, προέρχεται από την μεταφορά του αερίου μέσω του αγωγού. Ενώ η πλειοψηφία των συμπιεστών του αγωγού λειτουργούν με παλινδρομικές μηχανές και στροβίλους που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, υπάρχουν κάποιες ηλεκτρικές μηχανές και ηλεκτρικές απαιτήσεις στους σταθμούς επανασυμπίεσης. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρισμού στην Ελλάδα παράγεται από λιγνιτικούς ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, η πλειοψηφία των αποβλήτων είναι με την μορφή τέφρας και απόβλητα καθαρισμού αερίων καπνοδόχου. Σημαντική πηγή αποβλήτων αποτελεί η εξαγωγή του φυσικού αερίου. Η μόνη ροή στερεών αποβλήτων από τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής είναι ένα μικρό ποσό χρησιμοποιημένου καταλύτη που παράγεται κάθε ένα με πέντε χρόνια στην μονάδα επιλεκτικής μείωσης του καταλύτη (SCR).

Μια ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος, καθορισμένη να αλλάζει σε δύο παραμέτρους: απόδοση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και απώλειες του φυσικού αερίου, έχει την μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα. Παρόλο που ο συνδυασμένος κύκλος φυσικού αερίου αποτελεί προς το παρόν την πιο αποδοτική τεχνολογία για μεγάλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού, οποιαδήποτε αύξηση στην απόδοση θα μείωνε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος. Μειώνοντας τις απώλειες του φυσικού αερίου κατά την παραγωγή και διανομή, αυξάνεται το ισοζύγιο καθαρής ενέργειας και μειώνεται το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης.

Το φυσικό αέριο είναι ένα σημαντικό καύσιμο. Χρησιμοποιείται για παραγωγή ατμού και θερμότητας στις βιομηχανικές διεργασίες, για αστική και εμπορική θέρμανση, και για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Παρόλο που ο λιγνίτης είναι η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερο ποσοστό για την παραγωγή ισχύος, λόγω του ότι το φυσικό αέριο είναι ένα από τα καθαρότερα ορυκτά καύσιμα για καύση, ο ρόλος του για την παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός.

Το φυσικό αέριο που καταναλώνεται στην Ελλάδα προέρχεται από εισαγωγές από τη Ρωσία, και σε μορφή LNG από την Αλγερία. Το ρωσικό αέριο μεταφέρεται μέσω αγωγού, από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, ενώ το αλγερινό μεταφέρεται υγροποιημένο με ειδικό δεξαμενόπλοιο στις εγκαταστάσεις της νήσου Ρεβυθούσας, στον κόλπο των Μεγάρων. Η θερμογόνο δύναμη του ρωσικού αερίου κυμαίνεται από 8,600 kcal/Nm³ έως 9,200 kcal/Nm³ και του αλγερινού από 9,640 kcal/Nm³ έως 10,650 kcal/Nm³. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία, η προμήθεια φυσικού αερίου για ηλεκτροπαραγωγή φτάνει σε ετήσια βάση τα 1,5 δις κ.μ. για τις ανάγκες λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών σταθμών στον Αγ. Γεώργιο Κερατσινίου και στο Λαύριο, καθώς και στην νέα μονάδα συνδυασμένου κύκλου στην Κομοτηνή. Το φυσικό αέριο αποτελεί το 13,1% της εγκατεστημένης ισχύος και καλύπτει το 15% περίπου της ηλεκτροπαραγωγής. Από την άλλη μεριά, ο λιγνίτης, η ετήσια παραγωγή του οποίου φτάνει τους 70 εκατομμύρια τόνους, αποτελεί το 44% της εγκατεστημένης ισχύος και παράγει το 64% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμογόνο δύναμη κυμαίνεται από 900 - 1100 kcal/kg

στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 1250-1350 kcal/kg στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 1800-2300 στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας.

Πίνακας 2.5. Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) ανά Τύπο Σταθμού

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΗ Α.Ε. (Ιούνιος 2003)							
	ΘΗΣ				ΥΗΣ	ΑΝ. ΠΗΓΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ
	Λιγνιτικές Μονάδες	Πετρελαϊκές Μονάδες	Μονάδες Φυσικού Αερίου	Σύνολο ΘΗΣ			
Διασυνδεδεμένο	5.288	750	1.581	7.619	3.060	5	10.684
Κρήτη, Ρόδος & λοιπά αυτόνομα νησιά	-	1.352	-	1.352	1	32	1.385
ΣΥΝΟΛΟ	8.971				3.061	37	12.069

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων φυσικού αερίου είναι η υψηλότερης απόδοσης μετατροπή σε σύγκριση με τα εργοστάσια παραγωγής ισχύος που καίνε λιγνίτη. Επειδή η αλλαγή της δομής του ηλεκτρισμού ευνοεί τα λιγότερο εντατικά κεφάλαια, επομένως περισσότερο αποδοτικές διαδικασίες παραγωγής, η παραγωγή ηλεκτρισμού από το φυσικό αέριο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια, αρκεί να προχωρήσουν και οι επενδύσεις για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση φυσικού αερίου, συνολικής ισχύος 3.000 MW έως το 2010.

Αυξανόμενης της χρήσης του φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί το περιβάλλον να ωφεληθεί με ποικίλους τρόπους σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρισμού από τα άλλα ορυκτά καύσιμα. Επειδή το φυσικό αέριο έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο και άζωτο από τον λιγνίτη, η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου θα έχει ως συνέπεια λιγότερες εκπομπές SO_x και NO_x ανά KWh παραγόμενης ισχύος. Επιπρόσθετα, σε αντίθεση με τις μονάδες παραγωγής ισχύος που καίνε κάρβουνο, ένας συνδυασμένος κύκλος φυσικού αερίου (NGCC) δεν παράγει μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Οι περιβαλλοντικές συνέπειες της δραστηριότητας παραγωγής ισχύος, εξαρτώνται όχι μόνο από τις εκπομπές που προέρχονται από τη μονάδα, αλλά επίσης και από δραστηριότητες όπως είναι η παραγωγή καυσίμων και οι μεταφορές.

Η ανάλυση του κύκλου ζωής εκτελέστηκε για να ποσοτικοποιηθούν και να αναλυθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή ηλεκτρισμού από μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου, συμπεριλαμβάνοντας και όλες τις υπόλοιπες απαραίτητες δραστηριότητες. Το σύστημα χωρίστηκε στα ακόλουθα στάδια: κατασκευή και παροπλισμός της μονάδας παραγωγής ισχύος, κατασκευή του συστήματος μεταφοράς με σωληνώσεις του φυσικού αερίου, παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου, παραγωγή αμμωνίας και διανομή της για απομάκρυνση των NO_x, και λειτουργία της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. Στο άμεσο μέλλον, η ανάλυση του κύκλου ζωής της συγκεκριμένης περίπτωσης θα είναι συγκρίσιμη με τις αναλύσεις του κύκλου ζωής που εκτελέστηκαν προηγουμένα για τα άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού, όπως είναι ο συνδυασμένος κύκλος αεριοποίησης της βιομάζας, η παραγωγή ισχύος με καύση λιγνίτη, σύνκαυση βιομάζας σε μονάδες παραγωγής ισχύος με καύση λιγνίτη, και η απ' ευθείας καύση της βιομάζας για την παραγωγή ισχύος. Μια αναφορά που δημοσιεύθηκε το 2000 εξετάζει τα περιβαλλοντικά οφέλη και τα μειονεκτήματα των διαφόρων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρισμού. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή δεν εξαλείφθηκαν λειτουργίες που ήταν κοινές με τα άλλα συστήματα, η ανάλυση του συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου είναι ολοκληρωμένη, και δεν έχει σχέση με τις άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες.

2.1. Περιγραφή του Συστήματος, Εφαρμογή και Σημαντικές Υποθέσεις

Η μεθοδολογία για την ανάλυση του κύκλου ζωής είναι η ίδια με αυτή που εφαρμοζόταν νωρίτερα για την ανάλυση του κύκλου ζωής από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ. Ο συνδυασμένος κύκλος φυσικού αερίου μοντελοποιήθηκε στο GateCycle, ένα λογισμικό πακέτο το οποίο εκτελεί λεπτομερώς τη σταθερή κατάσταση και την εκτός σχεδιασμού ανάλυση των συστημάτων θερμικής ισχύος. Αυτό το λογισμικό από την Enter Software αναπτύχθηκε ειδικά για να βοηθήσει στο σχεδιασμό και την ανάλυση του συνδυασμένου κύκλου και των παλαιών μονάδων παραγωγής ισχύος με λέβητες. Το λογισμικό αναπτύχθηκε για να επιτευχθεί ενεργειακή ισορροπία και κάποια ισορροπία των δεδομένων των υλικών για την ίδια την μονάδα παραγωγής ισχύος (βλέπε το κεφάλαιο 7.0 για λεπτομέρειες σχετικά με τις βασικές περιπτώσεις εκπομπών του στροβίλου). Η μονάδα θεωρείται ότι είναι μονάδα βασικού φορτίου και το μέγεθός της εκλέχθηκε να είναι γύρω στα 500 MW, μέγεθος το οποίο είναι αντίστοιχο με το μέγεθος της μονάδας στην οποία έγινε ανάλυση του κύκλου ζωής από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Το σύστημα σ' αυτή τη μελέτη περιλαμβάνει δύο αεριοστρόβιλους Siemens Westinghouse W501F, έναν ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας τριών πύσσων, και ένα στρόβιλο αναθέρμανσης του ατμού. Σ' αυτή την ανάλυση, οι αεριοστρόβιλοι είναι "data driven" και επομένως χρησιμοποιείται ένα σετ αυτόματων καμπυλών για να προσδιοριστεί η απόδοσή τους για ένα δοσμένο σετ λειτουργικών συνθηκών. Το σχήμα 2.2 δείχνει τη διαμόρφωση του συστήματος η οποία μοντελοποιήθηκε από την GateCycle. Τα δεδομένα από την UDI δείχνουν ότι οι στρόβιλοι Siemens Westinghouse W501F είναι ενδεδειγμένοι για τις μονάδες συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου που είναι επί του παρόντος προς κατασκευή. Αυτοί οι τύποι εκτιμούνται ότι κατέχουν το 34% του συνολικού αριθμού στροβίλων που υπάρχουν στη λίστα της βάσης δεδομένων (η οποία έχει παρθεί από το UDI). Παρόλα αυτά, δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο ποιοί στρόβιλοι θα χρησιμοποιηθούν ως μελλοντικές μονάδες, όταν όλες οι σχεδιαζόμενες μονάδες σ' αυτή τη βάση δεδομένων δεν έχουν καθορισμένο τύπο στροβίλου ή κατασκευαστή. Για να μειωθούν οι εκπομπές των NO_x από τη μονάδα παραγωγής ισχύος, η μονάδα ενσωματώνεται με το σύστημα της εκλεκτικής καταλυτικής μείωσης (SCR) με έγχυση νερού. Οι παράμετροι του συστήματος μπορούν να φανούν στον πίνακα 2.6.

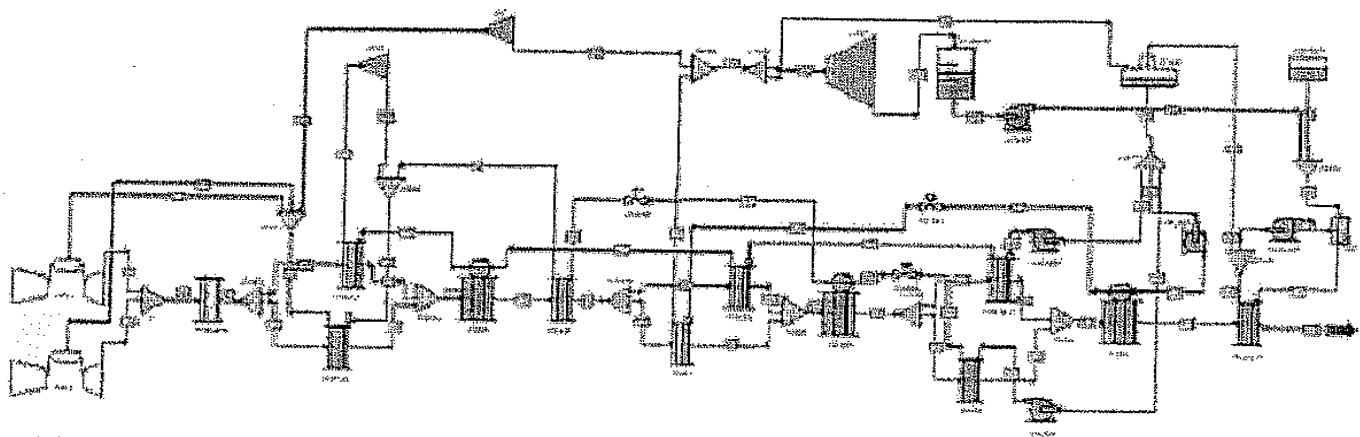
Πίνακας 2.6. Δεδομένα Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής με Φυσικό Αέριο

Παράμετροι Σχεδιασμού	Δεδομένα
Μέγεθος Σταθμού	505MW
Καθαρή ισχύς από αεριοστρόβιλους	337MW
Καθαρή ισχύς από κύκλο ατμού	168MW
Ρυθμός τροφοδοσίας φυσικού αερίου	1,673Mg/μέρα
Απόδοση σταθμού (HHV βάση)	48,8%
Ποσοστό καθαρά παραγόμενης θερμότητας	7,378KJ/KWh
Αναλογία έγχυσης νερού	0,8kg/kg φυσικού αερίου
Βαθμός απομάκρυνσης NO_x	78%
Αναλογία έγχυσης αμμωνίας	0,89 mol NH_3 /mol απομακρυσμένου NO_x
Μέσος συντελεστής χωρητικότητας λειτουργίας	80%

2.2. Όρια του Συστήματος

Το λογισμικό πακέτο χρησιμοποιήθηκε για να παρακολουθήσει τις ροές μάζας και ενέργειας μεταξύ των διεργασιών του συστήματος, ήταν της TEAM (Εργαλεία για Περιβαλλοντική Ανάλυση και Διαχείριση). Το σχήμα 2.3 δείχνει τα όρια του συστήματος. Οι πυκνά τυπωμένες γραμμές στο σχήμα αντιπροσωπεύουν το πραγματικό υλικό και τη ροή ενέργειας και οι στατικές γραμμές δείχνουν τις λογικές συνδέσεις ανάμεσα στα εμπόδια της διαδικασίας. Οι παράγοντες που σχετίζονται με την παραγωγή και την διανομή του φυσικού αερίου, όπως και με την παραγωγή αμμωνίας, έχουν παρθεί από τη βάση δεδομένων της TEAM, τα οποία είναι γνωστά ως Δεδομένα για Περιβαλλοντική Ανάλυση και Διαχείριση (DEAM). Τα στάδια τα οποία σχετίζονται με την προμήθεια του φυσικού αερίου ως πρώτη ύλη είναι η γεώτρηση/εξαγωγή, επεξεργασία, και μεταφορά μέσω του δικτύου σωληνώσεων. Η επεξεργασία περιλαμβάνει αφυδάτωση με γλυκόλη και sweetening του αερίου χρησιμοποιώντας την επεξεργασία με αμίνη κατά την οποία το θείο ανακτάται σαν στοιχειώδες θείο. Οι εκπομπές που συσχετίζονται με τα στάδια της επεξεργασίας του φυσικού αερίου έχουν ληφθεί υπόψη μέσω της μελέτης του Ecobalance και του Gas Research Institute (GRI). Η διαδικασία παραγωγής αμμωνίας γίνεται χωρίς ανάκτηση CO₂. Μαζί με την ύπαρξή του ως πρώτη ύλη για την τροφοδοσία, μια σημαντική ποσότητα του φυσικού αερίου απαιτείται για την παραγωγή αμμωνίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το 60% του συνολικού φυσικού αερίου να χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη ενώ το 40% να καταναλώνεται ως καύσιμο για την παραγωγή αμμωνίας.

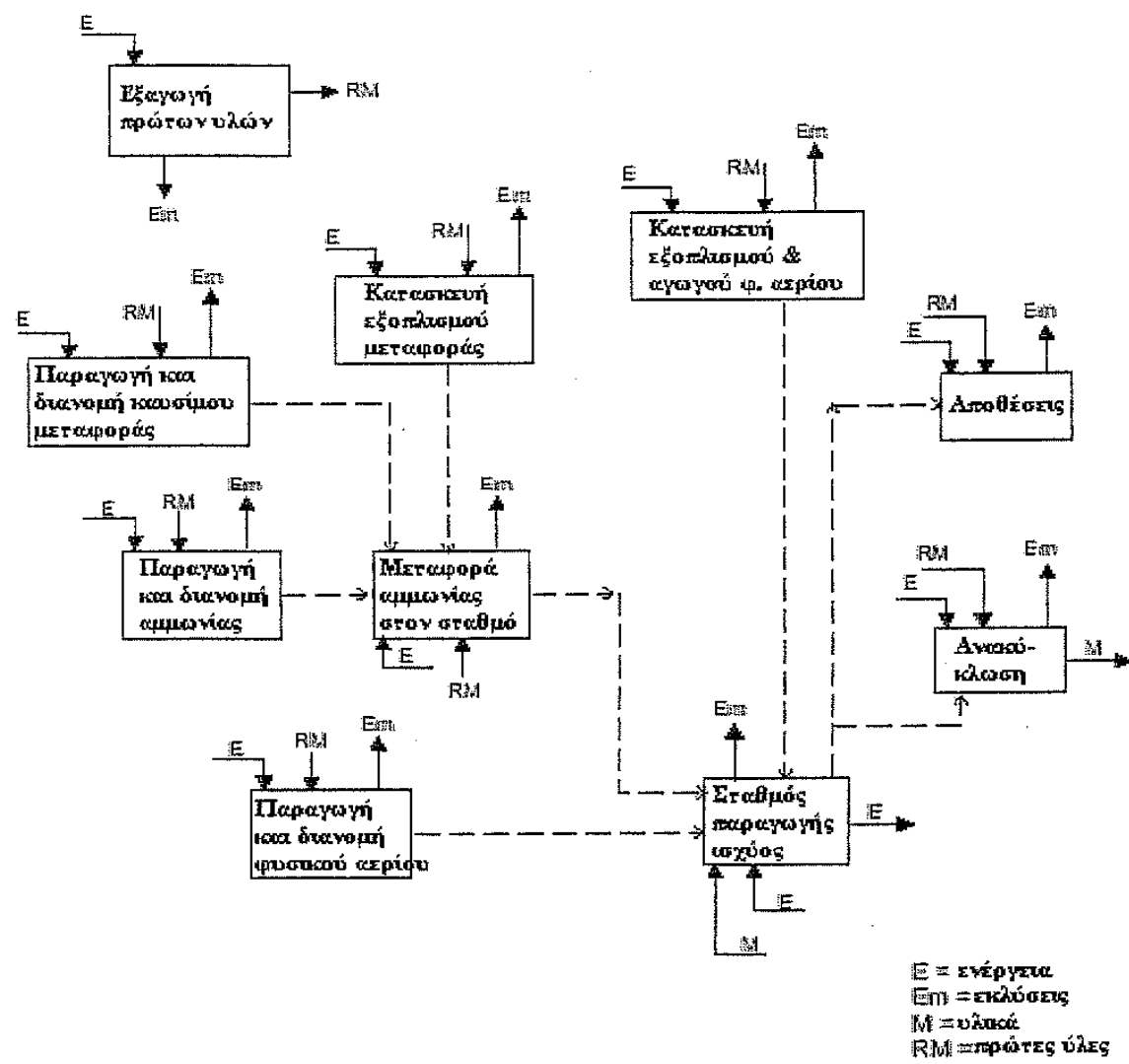
Σχήμα 2.2. Διαμόρφωση του Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής Φυσικού Αερίου Συνδυασμένου Κύκλου



Η αμμωνία πρέπει να μεταφερθεί από το σημείο παραγωγής της στη μονάδα παραγωγής ισχύος. Οι απαιτήσεις μεταφοράς γίνονται με χρήση τρένων και φορτηγών. Το ελαφρύ αερίελλαιο και το diesel χρησιμοποιούνται κατά αντιστοιχία στα τρένα και στα φορτηγά. Οι πηγές, η ενέργεια, και οι εκπομπές που έχουν σχέση με την εξαγωγή του ακατέργαστου πετρελαίου, τη διύλιση, παράγουν ένα χρήσιμο καύσιμο μεταφοράς και συνεισφέρουν στον ανεφοδιασμό σταθμών, συν τις εκπομπές οι οποίες παράγονται κατά τη διάρκεια της καύσης του καυσίμου, που συμπεριλήφθησαν στη συνολική καταγραφή. Αυτά τα δεδομένα έχουν ληφθεί από την DEAM. Τα απαιτούμενα υλικά για κάθε μια από της ποικίλες μεθόδους μεταφοράς χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα περιβαλλοντικά ερεθίσματα που σχετίζονται με την παραγωγή οχημάτων.

Γι' αυτή την μελέτη, η ζωή της μονάδας καθορίστηκε στα 30 χρόνια με 2 χρόνια κατασκευής. Τον πρώτο χρόνο η μονάδα παραγωγής ισχύος αρχίζει να λειτουργεί. Η κατασκευή της μονάδας ξεκινά δυο χρόνια πριν (αρνητικό έτος 2 και αρνητικό έτος 1). Τον πρώτο χρόνο η μονάδα υποτίθεται ότι λειτουργεί στο 40% λόγω των δραστηριοτήτων εκκίνησης (το 50% του έτους με συντελεστή χωρητικότητας 80%). Κατά τα έτη 1 μέχρι 29 η φυσιολογική λειτουργία της μονάδας λαμβάνει χώρα με τη λειτουργία της μονάδας με συντελεστή χωρητικότητας 80%. Στο τριακοστό έτος, η μονάδα παραγωγής ισχύος τίθεται εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια του Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

τελευταίου τετραμήνου. Επομένως, η μονάδα θα είναι σε λειτουργία στο 60% του τελευταίου έτους.



Σχήμα 2.3. Όρια Συστήματος Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής Φυσικού Αερίου Συνδυασμένου Κύκλου

Οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό της κατασκευής της μονάδας και του παροπλισμού της είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε προηγούμενη ανάλυση του κύκλου ζωής. Ο πίνακας 2.7 έχει μια λίστα των απαιτούμενων υλικών κατασκευής της μονάδας παραγωγής ισχύος τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη. Η εκτίμηση αυτών των αξιών βασίστηκε σε μια μελέτη του DynCorp η οποία εξετάζει την παραγωγή ισχύος μέσω ενός αριθμού τεχνολογιών, περιλαμβάνοντας μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου των 200 MW.

Πίνακας 2.7. Απαιτήσεις Υλικών για την Κατασκευή του Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής

Υλικό	Μέσος όρος απαίτησης (kg/MW της χωρητικότητας του σταθμού)
Τσιμέντο	97,749
Ατσάλι	31,030
Σίδηρος	408
Αλουμίνιο	204

Υποτέθηκε επίσης ότι με τη σημαντική ποσότητα του φυσικού αερίου που βρίσκεται σε κατανάλωση, απαιτούνται επιπρόσθετες σωληνώσεις με αντλίες και βαλβίδες για να μεταφερθεί

το φυσικό αέριο από τις πηγές του πετρελαίου ή των υπόλοιπων αερίων στη μονάδα παραγωγής ισχύος. Η Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry αναφέρει ότι οι τυπικές διαμέτροι των σωληνώσεων στη βιομηχανία του φυσικού αερίου είναι 60-110 εκατοστά, ενώ η Kirk-Othmer's Encyclopedia of Chemical Technology θέτει ένα εύρος της διαμέτρου των σωληνώσεων από 36-142 εκατοστά. Γι' αυτή την ανάλυση, το συνολικό μήκος των σωληνώσεων μεταφοράς ορίστηκε να είναι 4000 χιλιόμετρα. Η διάμετρος των κύριων σωληνώσεων ορίστηκε στα 76.2 εκατοστά και ότι αυτή εκτείνεται στο 80% της συνολικής απόστασης, δηλαδή σε απόσταση 3200 χιλιομέτρων. Επειδή η κύρια σωλήνωση διαμοιράζεται σε πολλούς χρήστες, μόνο ένα τμήμα (19.3%) διανέμεται στη μονάδα συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου. Για να καθοριστεί αυτό το ποσοστό, μετρήθηκε η συνολική ροή διαμέσου των 76.2 εκατοστών του σωλήνα σε μια πτώση πίεσης των 0.00035MPa/30 m και η ροή του φυσικού αερίου για τη μονάδα συνδυασμένου κύκλου χωρίστηκε από τη συνολική ροή, απ' όπου προκύπτει μια τιμή της τάξης των 15.4%. Το υπόλοιπο μήκος του συνόλου του δικτύου των σωληνώσεων, τα υπόλοιπα 800 χιλιόμετρα δηλαδή, επίσης μετρήθηκε έτσι η πτώση πίεσης διαμέσου των σωληνώσεων να μην υπερβαίνει τα 0.0035 MPa/30 m. Απ' αυτό προκύπτει ότι απαιτείται μια διάμετρος σωληνώσεων της τάξης των 46 εκατοστών. Έτσι, η συνολική απαίτηση των σωληνώσεων σε χάλυβα για τη μονάδα παραγωγής ισχύος είναι 103.988 τόνοι., υποθέτοντας ένα στάνταρ πάχος τοιχώματος. Η διαδικασία που σχετίζεται με την παραγωγή του χάλυβα συμπεριλαμβάνεται επίσης στην ανάλυση. Λόγω της έλλειψης στοιχείων, δε συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση πρόσθετες εκπομπές για το σκάψιμο και το άπλωμα των σωλήνων.

2.3. Σύνθεση του Φυσικού Αερίου

Γενικά, το φυσικό αέριο παράγεται από τις πηγές πετρελαίου ή άλλου αερίου. Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, καταλαμβάνοντας συνήθως το 80% του όγκου. Το υπόλοιπο του όγκου του καταλαμβάνει το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο, σουλφίδια του υδρογόνου και αδρανή αέρια (άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα, ήλιο). Η ποσότητα αυτών των στοιχείων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την τοποθεσία της πηγής. Το αέριο σχεδόν πάντα υφίσταται επεξεργασία πριν από τη χρήση του, η οποία περιλαμβάνει κυρίως ξήρανση και sweetening. Τις περισσότερες φορές το αέριο είναι κορεσμένο υγρό ή ατμός, επομένως μπορούν να αφυδατώσουν το φυσικό αέριο κάνοντάς το να έχει μια περιεκτικότητα σε υγρασία της τάξης των 8mg/m^3 . Το φυσικό αέριο καθώς περιέχει H_2S περνά από διεργασία sweetening, συνήθως με κατεργασία με αμίνη, έτσι ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση του H_2S σε λιγότερο από 4 ppmv. Για να μειωθεί η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται για τη μεταφορά του φυσικού αερίου, είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν τα επίπεδα του N_2 και του CO_2 . Επιπρόσθετα, το CO_2 μειώνεται σε ποσοστό 1-2% κατ' όγκο για να μειωθεί το ποσό της διάβρωσης στα συστήματα μεταφοράς. Δεν υπάρχει παγκοσμίως αποδεκτή λεπτομερής παρουσίαση για την αγορά του φυσικού αερίου, ωστόσο ορισμένα στάνταρτ φαίνονται στον πίνακα 2.8.

Η βάση αυτής της υπόθεσης για την ανάλυση του κύκλου ζωής χρησιμοποιεί την τυπική σύνθεση του δικτύου σωληνώσεων του φυσικού αερίου όπως είναι στην λίστα του Chemical Economics Handbook, η οποία έχει προσαρμοστεί κατάλληλα ώστε να περιλαμβάνει το H_2S (4 ppmv; που βασίζεται στην παραπάνω λεπτομερή παρουσίαση). Η σύνθεση του φυσικού αερίου του μεταφερόμενου στη μονάδα παραγωγής ισχύος φαίνεται στον πίνακα 2.9.

Εξαιτίας της διαφορετικής σύνθεσης του αερίου από πηγή σε πηγή, ή αλλιώς του διαχωρισμού των υδρογονανθράκων, απαιτούνται διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας, πριν τη διαχείρισή του στο δίκτυο σωληνώσεων. Ξεχωριστά ισοζύγια ενέργειας και μάζας δε θα μπορούσαν να εξασφαλιστούν για τα στάδια της αφυδάτωσης με γλυκόλη και για τη sweetening με αέριο αμίνης. Για αυτόν το λόγο, δεν εκτελέστηκε μια ανάλυση ευαισθησίας η οποία ποικίλει ανάλογα με τη σύνθεση του αερίου από την πηγή. Από τη βάση δεδομένων της DEAM, μια ανάλυση των παραγόντων, δείχνει ότι η πλειονότητά τους προέρχεται από την εξαγωγή και τη μεταφορά στο δίκτυο σωληνώσεων και μόνο ένα μικρό κλάσμα τους είναι αποτέλεσμα του διαχωρισμού, της αφυδάτωσης και της sweetening. Αλλάζοντας το διαχωρισμό των υδρογονανθράκων υψηλότερου μοριακού βάρους σε σχέση με το μεθάνιο, θα αλλάξει ελαφρώς η ισορροπία της Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

δραστηριότητας και του άνθρακα, όμως από τη στιγμή που το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο οι αλλαγές αυτές δε θα είναι αρκετά μεγάλες έτσι ώστε να επηρεάσουν το συνολικό αποτέλεσμα. Για να το ελέγξουμε αυτό, τοποθετήθηκε στο GateCycle φυσικό αέριο του οποίου η σύνθεση περιλαμβάνει 80% κατ' όγκο μεθάνιο και περίπου 20% κατ' όγκο ανώτερους υδρογονάνθρακες (κυρίως αιθάνιο και προπάνιο). Η ισχύς της μονάδας μειώθηκε από τα 504.95 στα 504.25 MW και οι απαιτήσεις σε φυσικό αέριο αυξήθηκαν κατά 1% από 1.673Mg/μέρα σε 1.692Mg/μέρα και οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν περίπου κατά 4%. Επομένως, δε θεωρείται ωφέλιμο να εκτελεστεί μια ανάλυση ευαισθησίας με διαφορετικές αναλογίες CH₄ και ανώτερων υδρογονανθράκων.

Πίνακας 2.8. Χαρακτηριστικά Φυσικού Αερίου στον Αγωγό

Χαρακτηριστικά	Προδιαγραφές
Περιεκτικότητα υγρασίας	64-112 mg/m ³
Σουλφίδια υδρογόνου	5,7 mg/m ³ (4ppmv)
Συνολική θερμογόνος δύναμη	35,4 MJ/m ²
Σημείο δρόσου υδρογόνου στα 5,6 Μρα	264,9 Κ
Περιεκτικότητα μερκαπτάνης	4,6 mg/m ³
Συνολικό θείο	23-114 mg/m ³
Διοξείδιο του άνθρακα	1-3 mol%
Οξυγόνο	0-0,4 mol%

Πίνακας 2.9. Τυπική Σύσταση Φυσικού Αερίου

ΣΥΣΤΑΣΗ	ΡΩΣΙΚΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
Περιεκτικότητα (% κ.ο.) σε :		
Μεθάνιο (C1)	98	91,2
Αιθάνιο (C2)	0,6	6,5
Προπάνιο (C3)	0,2	1,1
Βουτάνιο (C4)	0,2	0,2
Πεντάνιο (C5) και βαρύτερα	0,1	-
Αζωτο (N2)	0,8	1,0
Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,1	-
Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη	από 8,600 kcal/Nm ³ εώς 9,200 kcal/Nm ³	από 9,640 kcal/Nm ³ εώς 10,650 kcal/Nm ³

2.4. Απώλειες του Φυσικού Αερίου

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες η βιομηχανία του φυσικού αερίου προσπάθησε να καλυτερεύσει την ποσοτικοποίηση της ποσότητας των εκπομπών του CH₄ το οποίο χάνεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της εξόρυξης, της επεξεργασίας, της μεταφοράς, της αποθήκευσης και της διαχείρισης του φυσικού αερίου. Υπάρχει μια γενική ομοφωνία ότι οι δραστηρεύουσες εκπομπές αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών, οι οποίες υπολογίζονται περίπου στο 38%

του συνόλου, και έτσι σχεδόν το 90% των δραπετεύουσων εκπομπών είναι αποτέλεσμα της διαφυγής των συμπιεσμένων συστατικών του. Η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CH₄ προέρχεται από την πνευματική διάταξη ελέγχου η οποία υπολογίζεται κατά προσέγγιση στο 20% του συνόλου. Οι πνευματικές διατάξεις ελέγχου είναι η κύρια πηγή εκπομπών στο στάδιο της εξόρυξης. Τα καυσαέρια της μηχανής είναι η τρίτη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CH₄ λόγω της ατελούς καύσης στις παλινδρομικές μηχανές και στους στροβίλους. Επομένως, αυτές οι τρεις πηγές εκπομπών είναι υπεύθυνες για το 75% σχεδόν του συνολικού εκτιμώμενου ποσοστού εκπομπών του CH₄.

Σύμφωνα με το Γραμματεία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (EPA), η μεταφορά και η αποθήκευση κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο των συνολικών εκπομπών CH₄(37%) και ακολουθεί η εξόρυξη με 27%, η διανομή με 24% και η επεξεργασία συμβάλλει λιγότερο από 12%. Αργά στη δεκαετία του 80, ξεκίνησε μια μελέτη η οποία υπολογίζει ότι η ποσότητα του μεθανίου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα από τις λειτουργίες του φυσικού αερίου στις ΗΠΑ είναι της τάξης του 1,4% ± 0,5% από τη συνολική παραγωγή του φυσικού αερίου. Μια άλλη δημοσίευση η οποία περιλαμβάνει διάφορες αναφορές συγγραφέων αναφέρει ότι η διαρροή έχει ένα εύρος από 1-4%. Ακολουθώντας τη μελέτη του US EPA/GRI/AGA το πρόγραμμα Natural Gas STAR ξεκίνησε το 1993. Είναι ένα εθελοντικό πρόγραμμα για τη βιομηχανία του φυσικού αερίου το οποίο σχεδιάστηκε για τη μείωση των εκπομπών CH₄ μέσω των μετρήσεων του λειτουργικού κόστους. Το πρόγραμμα επί του παρόντος έχει περισσότερους από 80 συνεργάτες. Επειδή αυτό το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο για να διατηρεί τις εκπομπές του μεθανίου σ' ένα ελάχιστο επίπεδο, καθώς η βιομηχανία του φυσικού αερίου αναπτύσσεται, το συνολικό ποσό του μεθανίου που χάνεται στην ατμόσφαιρα αναμένεται πραγματικά να μειωθεί. Η βασική υπόθεση της ανάλυσης αυτής του κύκλου ζωής υποδεικνύει ότι το 1,4% του φυσικού αερίου που παράγεται χάνεται στην ατμόσφαιρα λόγω των δραπετεύουσων εκπομπών. Για να προσδιοριστεί ότι οι απώλειες του φυσικού αερίου έχουν επίδραση στο Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης, εκτελέστηκε μια ανάλυση ευαισθησίας. Το μοντέλο παραγωγής φυσικού αερίου της DEAM τροποποιήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να χωρέσει διαφορετικές κατηγορίες απωλειών φυσικού αερίου.

2.5. Έλεγχος των NO_x: έγχυση με νερό και εκλεκτική καταλυτική μείωση

Για να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές των NO_x στην μονάδα παραγωγής ισχύος ενσωματώνεται η εκλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) μαζί με την έγχυση με νερό. Ο ρυθμός έγχυσης του νερού είναι ίσος με 0,8 kg/kg φυσικού αερίου. Ο GateCycle έχει την ικανότητα να μοντελοποιήσει την έγχυση με νερό αλλά όχι τη μέθοδο της εκλεκτικής καταλυτικής μείωσης, έτσι εκτελέστηκαν οι εξωτερικοί υπολογισμοί για να εκτιμηθούν τα επίπεδα NO_x του αερίου της καπνοδόχου. Στη μονάδα SCR η ικανότητα απομάκρυνσης των NO_x εκτιμήθηκε ότι είναι 78% (κατά μέσο όρο σε μια βιομηχανία) και ο γραμμομοριακός λόγος της αμμωνίας που εγχύθηκε για την απομάκρυνση των NO_x είναι ίσος με 0,89 βασισμένος σε δεδομένα από τρεις πηγές.

Η μέθοδος της SCR χρησιμοποιείται συχνά για να μειωθούν οι εκπομπές NO_x του αερίου της καπνοδόχου από τις μονάδες παραγωγής ισχύος. Σε αυτή τη διαδικασία, η αμμωνία εγχύεται στη ροή του αερίου πριν το αέριο εισέλθει στη κλίνη του καταλύτη. Η αμμωνία αντιδρά με τα NO_x με την παρουσία ενός καταλύτη προς σχηματισμό ατμού και αζώτου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιγραφεί με τις ακόλουθες δύο αντιδράσεις: $4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$ και $2NO_2 + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 3N_2 + 6H_2O$. Το κύριο μέταλλο των περισσότερων καταλυτών της SCR είναι είτε βανάδιο είτε πλατίνα ή τιτάνιο. Οι ζεολίτες επίσης έχουν αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικοί καταλύτες. Ο καταλύτης της SCR απαιτεί αντικατάσταση κάθε ένα με πέντε χρόνια ανάλογα με το βαθμό στον οποίο λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις υψηλής θερμοκρασίας, το βούλωμα των πόρων λόγω των στερεών ιζημάτων, και τη δηλητηρίαση από αλκαλικό μίγμα ή SO₃. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας έχουν ξεχωριστές επιλογές για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων καταλυτών. Μπορούν να τους στείλουν σε δραστηριότητες ανάκτησης των μετάλλων για ανακύκλωση, να τους διαθέσουν για υγειονομική ταφή, ή να τους επιστρέψουν στους γνήσιους προμηθευτές καταλυτών. Μπορεί να είναι εφικτό

να αναγεννηθούν οι ζεολιτικοί καταλύτες, ωστόσο η διαδικασία αυτή δεν είναι εμπορική. Επειδή ο σχεδιασμός ενός συστήματος που δίνει την ποσότητα των καταλυτών που απαιτούνται δε θα μπορούσε να ληφθεί υπ' όψη για αυτή την ανάλυση του κύκλου ζωής, δεν συμπεριλήφθησαν η κατασκευή και η διάθεση του καταλύτη. Παρά το γεγονός ότι η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων καταλυτών θα είναι μικρή και δεν θα παράγεται συνέχεια, αυτή είναι η μοναδική ροή στερεών αποβλήτων από τη μονάδα παραγωγής ισχύος.

Γενικά η εκλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) συμβάλλει θετικά στη μετατροπή του SO₂ σε SO₃ με την παρουσία O₂. Το SO₃ μπορεί τότε να αντιδράσει με την υπόλοιπη ποσότητα της αμμωνίας για να σχηματιστεί αμμωνιακό άλας του θειικού οξέος και αμμωνιακό δισουλφίδιο το οποίο εναποτίθεται στους εναλλάκτες θερμότητας παράλληλης ροής προκαλώντας προβλήματα βουλώματός τους. Επομένως, είναι σημαντικό να ελεγχθεί η ποσότητα της αμμωνίας που δεν αντέδρασε. Καθώς ο καταλύτης της εκλεκτικής καταλυτικής μείωσης απενεργοποιείται, η απελευθέρωση της NH₃ (π.χ. η ποσότητα της NH₃ η οποία υπάρχει στη μονάδα SCR) αυξάνεται. Ο καταλύτης συνήθως συντηρείται ή αντικαθίσταται περιοδικά για να συγκρατείται η διαφυγή κάτω από τα 5 ppm έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα και να διατηρηθούν οι εκπομπές κάτω από ένα ρυθμισμένο επίπεδο. Γι' αυτή την ανάλυση, η διαφυγή της αμμωνίας πάρθηκε από τα δεδομένα των μόνιμων εκπομπών των αεριοστροβίλων της EPA's, τα οποία είναι 5,5 ppm γι' αυτό το σύστημα. Έγιναν ξεχωριστές αναλύσεις ευαισθησίας για να εξεταστούν οι διαφορετικές ποσότητες των NO_x από τη μονάδα παραγωγής ισχύος με ή χωρίς έλεγχο των NO_x.

2.6. Βασική Υπόθεση- Εκπομπές της Μονάδας Παραγωγής Ισχύος

Όπως αναφέρθηκε, ο GateCycle χρησιμοποιήθηκε για να εξασφαλιστεί η ισορροπία των δεδομένων του υλικού για τον αεριοστροβίλο. Αυτό το λογισμικό πακέτο δε δίνει μια εκτίμηση για τα NO_x, SO_x ή για την ατελή καύση, για αυτό το λόγο στον πίνακα 2.10 δίδονται πρόσθετα δεδομένα εκπομπών τα οποία αποκτήθηκαν από αναφορές. Για να εξισορροπηθούν τα άτομα του άνθρακα, οι εκπομπές του άνθρακα οι οποίες προέρχονται από την ατελή καύση (CO και CH₄) αφαιρέθηκαν από τις εκπομπές CO₂ του GateCycle. Επιπρόσθετα, οι υδρογονάνθρακες που δεν περιέχουν μεθάνιο (NMHCs) και η φορμαλδεύδη, που προκύπτουν ως συνέπεια της διαδικασίας της εκλεκτικής καταλυτικής μείωσης SCR, επίσης αφαιρέθηκαν από τις εκπομπές CO₂ του GateCycle. Η αμμωνία και τα NO_x είναι οι ενώσεις οι οποίες διαφεύγουν μέσω της μονάδας SCR. Ολόκληρο το θείο στην τροφοδοσία μετατρέπεται σε SO₂.

Επειδή δε θα μπορούσαν να βρεθούν δεδομένα όσον αφορά ξεχωριστές εκπομπές από τη μονάδα παραγωγής ισχύος συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου με έλεγχο των NO_x, χρησιμοποιήθηκαν γι' αυτή τη μελέτη οι μη συμπυκνώσιμες με ξεχωριστά σωματίδια εκπομπές για τους μη ελεγχόμενους στροβίλους. Ο καταλύτης κλίνης της εκλεκτικής καταλυτικής μείωσης SCR θα δρα ως ένα φίλτρο αυτών των ξεχωριστών εκπομπών. Ωστόσο, τα μικρότερα σωματίδια μίγματος του καταλύτη θα έχουν ως συνέπεια την ύπαρξη κάποιων εκπομπών ξεχωριστών σωματιδίων, που ενδεχομένως να καταστρέφουν τη μείωση των ξεχωριστών σωματιδίων στην κλίνη.

Πίνακας 2.10. Εκλύσεις Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής

Συστατικά	Μέσες εκλύσεις (kg/GWh)
Αμμωνία (NH ₃)	21
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	371
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	27
Φορμαλδεύδη (CH ₂ O)	9
Μεθάνιο (CH ₄)	44
Οξείδια αζώτου (NO _x ως NO ₂)	95
Μη μεθανούχοι υδρογονάνθρακες (NHMCs)	10
Σωματίδια	62
Οξείδια του θείου (SO _x ως SO ₂)	2

Γι' αυτή τη μελέτη, οι εκπομπές της μονάδας παραγωγής ισχύος συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου είναι χαμηλότερες από αυτές που ορίζονται από το New Source Performance Standards(NSPS) υπό τον Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών (CFR) για τις μονάδες παραγωγής ισχύος αερίου. Ο πίνακας 2.11 δείχνει τα στάνταρντς της απόδοσης για τις νέες ατμοηλεκτρικές μονάδες της δημόσιας επιχείρησης ηλεκτρισμού με χρήση αερίων συμβατικών καυσίμων (ή αλλιώς αερίων προερχόμενα από το κάρβουνο). Οι νέες μονάδες που χτίστηκαν μετά το 1978 επιβάλλεται να ικανοποιούν αυτά τα στάνταρντς. Επίσης στον πίνακα 2.11 δείχνεται για σύγκριση η βασική υπόθεση των εκπομπών της μονάδας. Τα εύροι των εκπομπών που είναι στη λίστα του CFR μετατράπηκαν σε Kg/Gwh για να υπάρξει σύγκριση με την εκτίμηση της βασικής υπόθεσης που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή την ανάλυση του κύκλου ζωής. Πραγματοποιήθηκαν ξανά ξεχωριστές αναλύσεις ευαισθησίας για να εξεταστούν οι διαφορετικές ποσότητες των NO_x από τη μονάδα παραγωγής ισχύος με ή χωρίς έλεγχο των NO_x .

Πίνακας 2.11. Νέα Δεδομένα Πηγής Λειτουργίας για Σταθμούς Ηλεκτροπαραγωγής με Καύση Αερίου (NSPS)

	NSPS		Βασική υπόθεση εκλύσεων σταθμού
	g/GJ θερμότητα εισόδου, ΑΘΔ (lb/MMBtu)	Για τον συγκεκριμένο σταθμό τα NSPS θα έδιναν μέσες εκλύσεις (kg/GWh)	(kg/GWh)
NO_x	86 (0,2)	634	95
SO_x	86 (0,2)	634	2
Σωματίδια	13 (0,03)	95	62

Προσοχή: Αυτά τα δεδομένα δεν ισχύουν σε αέρια παραγόμενα από άνθρακα

2.7. Αποτελέσματα

Τα παρακάτω κεφάλαια περιέχουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης της βασικής υπόθεσης συμπεριλαμβάνοντας αέριες εκπομπές, ενεργειακές απαιτήσεις, κατανάλωση των ενεργειακών πόρων, υγρά και στερεά απόβλητα. Οι περισσότερες εκτιμήσεις δίνονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας(KWh της καθαρής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τη μονάδα παραγωγής ισχύος), και οι οποίες υπολογίζονται κατά μέσο όρο πάνω από τη διάρκεια ζωής του συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να εξεταστεί το σχετικό ποσοστό επί τοις εκατό των εκπομπών από κάθε ένα επιμέρους υποσύστημα.

2.8. Αέρια του Φαινομένου του Θερμοκηπίου και Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης

Το Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης (GWP) του συστήματος προσδιορίζεται σαν ένας συνδυασμός των ακολούθων αερίων του θερμοκηπίου: CO_2 , CH_4 και N_2O . Οι ικανότητες του CH_4 και του N_2O τα οποία συνεισφέρουν στη θέρμανση της ατμόσφαιρας είναι 21 και 310 φορές αντίστοιχα υψηλότερες από το CO_2 , για έναν χρονικό ορίζοντα των 100 ετών. Έτσι, το Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης του συστήματος μπορεί να κανονικοποιηθεί σε ισοδυναμία του CO_2 , για να περιγραφεί η συνολική του επίδραση στη γενική κλιματική αλλαγή. Ο πίνακας 7 περιέχει το Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης καθώς επίσης και την καθαρή ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου για αυτό το σύστημα παραγωγής ισχύος συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου. Το CO_2 το οποίο εκπέμπεται στη μεγαλύτερη ποσότητα (99% κ.β. του

συνόλου των αερίων του θερμοκηπίου τα οποία φαίνονται στον πίνακα 21 καθώς επίσης και το 99% κ.β. των συνολικών αερίων εκπομπών), είναι υπεύθυνο για το 88.1% του Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης. Παρόλο που το CH₄ που εκπέμπεται απ' αυτό το σύστημα συνεισφέρει μόνο με 0.6% κατά βάρος στο σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου, η υψηλή ακτινοβολία που εκπέμπει φαίνεται ότι είναι υπεύθυνη για το 11.6% του συνόλου του Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης. Σχεδόν όλο αυτό το μεθάνιο είναι αποτέλεσμα των απωλειών του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια της εξόρυξης και της διαχείρισής του.

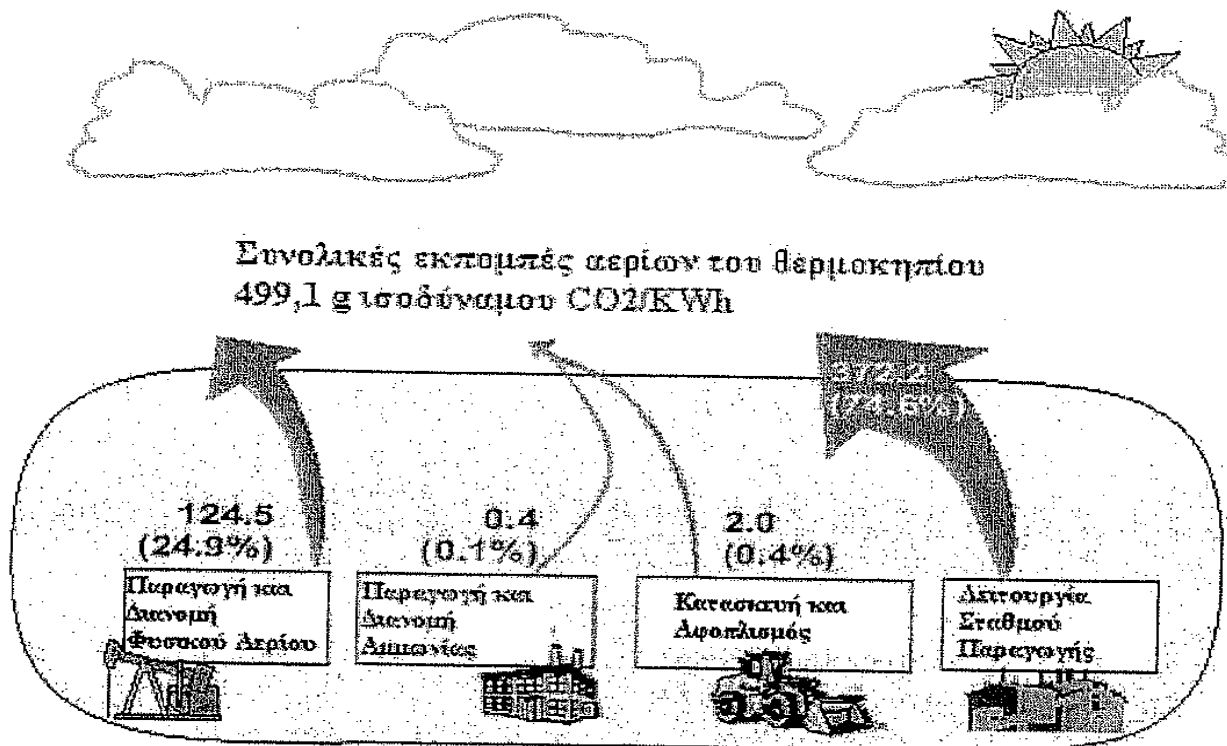
Πίνακας 2.12. Σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου

	Μέσος όρος εκλύσεων (g/KWh)	Ποσοστό αερίου του θερμοκηπίου στον πίνακα (%)	GWP συνδεδεμένο με το CO ₂	Τιμή GWP (g ισοδύναμου CO ₂ /KWh)	Ποσοστό συνεισφοράς στο GWP (%)
CO ₂	439,7	99,4	1	439,7	88,1
CH ₄	2,8	0,6	24	59,2	11,6
N ₂ O	0,00073	0,0002	310	0,2	0,04
Συνολικό σύστημα	N/A	N/A	N/A	499,1	N/A

Μαζί με την εμφάνιση του Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης σε όρους ξεχωριστών αερίων του θερμοκηπίου, το Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης μπορεί επίσης να χωριστεί μεταξύ των διαφορετικών σταδίων των διεργασιών. Γι' αυτή τη μελέτη, το συνολικό σύστημα προετοιμάστηκε για κατασκευή και παροπλισμό, παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου, παραγωγή και διαχείριση της αμμωνίας, και λειτουργία της μονάδας παραγωγής ισχύος. Το σχ.2.4 δείχνει αυτά τα διαφορετικά στάδια της διαδικασίας αυτής και της συνεισφοράς τους στο συνολικό Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης του συστήματος. Οι εκπομπές της μονάδας παραγωγής ισχύος και κυρίως το CO₂, συνεισφέρει με το μεγαλύτερο ποσοστό, δηλαδή με 75%. Εξαιτίας της απώλειας του φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα (η οποία είναι το 1,4% της συνολικής παραγωγής του φυσικού αερίου), η παραγωγή και η διανομή του φυσικού αερίου ευθύνονται για το 25% του Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης του συστήματος. Αλλάζοντας το ποσοστό των απωλειών του φυσικού αερίου, θα υπάρξει σημαντική επίδραση στο Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης.

2.9. Αέριες Εκπομπές

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το CO₂ είναι η αέρια εκπομπή που εκπέμπεται στη μεγαλύτερη ποσότητα. Το μεθάνιο εκπέμπεται στην αμέσως μεγαλύτερη ποσότητα και το 74% κ.β. των συνολικών εκπομπών του μεθανίου είναι οι δραστεύουσες εκπομπές που προέρχονται από την παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου. Ο πίνακας 2.13 περιλαμβάνει μια ταξινόμηση των αερίων εκπομπών και το ποσοστό επί τοις εκατό το οποίο προκύπτει από την κατασκευή και παροπλισμό της μονάδας, την παραγωγή και διανομή του φυσικού αερίου, την παραγωγή και διανομή της αμμωνίας, και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εξαιρώντας το CO₂, το CH₄ υπολογίζεται στο 58% κ.β. των εκπομπών και ακολουθούν οι NMHCs με 13% κ.β., τα NO_x με 12% κ.β., τα SO_x με 7% κ.β. το CO με 6% κ.β.



Σχήμα 2.4. Δυναμικό Παγκόσμιας Θέρμανσης στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής Μονάδας Φυσικού Αερίου Συνδιασμένου Κύκλου

2.10. Κατανάλωση Ενέργειας και Ενεργειακό Ισοζύγιο του Συστήματος

Ο πίνακας 2.14 δείχνει το ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου. Το 80% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται είναι αυτή που περιέχεται στις πρώτες ύλες του φυσικού αερίου. Η ενέργεια των συμβατικών καυσίμων, η οποία υπολογίζεται στο 21% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, συμπεριλαμβάνει την ενέργεια του φυσικού αερίου η οποία χάνεται στην ατμόσφαιρα. Παρά το γεγονός ότι δεν τοποθετείται σε ξεχωριστή λίστα στον πίνακα 9, αυτή η απώλεια ενέργειας είναι ίση με 0.11 MJ/KWh ή ίση με το 1.4% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται από το σύστημα.

Πίνακας 2.13. Μέσες αέριες εκλύσεις

Αέρια έκλυση	Συνολικό σύστημα (g/KWh)	% του ολικού στον πίνακα	% του ολικού στον πίνακα εκτός του CO ₂	% του ολικού στην κατασκευή και παροπλισμός	% του ολικού στην παραγωγή και μεταφορά του φυσικού αερίου	% του ολικού στην παραγωγή και διανομή αμμωνίας	% του ολικού στην παραγωγή ηλεκτρισμού
Αμμωνία (NH ₃)	2.10E-02	< 0.0%	0.4%	0.2%	0.0%	1.6%	98.2%
Βενζόλιο (C ₆ H ₆)	6.32E-02	< 0.0%	1.3%	0.0%	99.9%	0.1%	0.0%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	4.40E+02	98.9%		0.5%	15.0%	0.1%	84.4%
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	2.87E-01	0.1%	5.9%	1.6%	88.6%	0.5%	9.3%
Υδρόθειο (H ₂ S)	1.41E-08	< 0.0%	< 0.0%	100.0%	0.0%	< 0.0%	< 0.0%
Φορμαλδεΰδη (CH ₂ O)	8.57E-03	< 0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
Μεθάνιο (CH ₄)	2.82E+00	0.6%	58.1%	< 0.0%	98.4%	< 0.0%	1.6%
Οξείδια αζώτου (NO _x ως NO ₂)	5.70E-01	0.1%	11.7%	1.6%	81.5%	0.1%	16.7%
Υποξείδιο του αζώτου (N ₂ O)	7.19E-04	< 0.0%	< 0.0%	19.4%	80.2%	0.5%	0.0%
Μη μεθανούχοι υδρογονάνθρακες (NHMC _s)	6.28E-01	0.1%	12.9%	2.3%	95.8%	0.2%	1.6%
Σωματίδια	1.33E-01	< 0.0%	2.7%	38.0%	15.6%	< 0.0%	46.4%
Οξείδια του θείου (SO _x ως SO ₂)	3.24E-01	0.1%	6.7%	15.4%	83.8%	0.2%	0.6%

Πίνακας 2.14: Μέσες Απαιτήσεις Ενέργειας ανά ΚWh καθαρά Παραγόμενου Ηλεκτρισμού με βάση την Κατώτερη Θερμογόνο Δύναμη

	Συνολικό σύστημα (MJ/KWh)	% του ολικού στον πίνακα	% του ολικού στην κατασκευή και παροπλισμός (α)	% του ολικού στην παραγωγή, μεταφορά και χρήση του φυσικού αερίου	% του ολικού στην παραγωγή και διανομή αμμωνίας
Ενέργεια φυσικού αερίου που τροφοδοτεί τον σταθμό	6,7	79,5%	N/A	100%	N/A
Ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα και δεν προέρχεται από την τροφοδοσία (β)	1,7	20,5%	1,4%	97,9%	0,5%
Συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από το σύστημα	8,4	N/A	N/A	N/A	N/A

(α) Το υποσύστημα κατασκευής και παροπλισμού περιέχει την κατασκευή και παροπλισμό του σταθμού, καθώς και την κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου.

(β) Δεν περιέχει την ενέργεια του φυσικού αερίου που τροφοδοτεί τον σταθμό, αλλά περιέχει την ενέργεια του φυσικού αερίου που χάνεται στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή του.

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται εντός του συστήματος μετατοπίστηκε έτσι ώστε η καθαρή παραγωγή ενέργειας να είναι καθορισμένη. Μπορούν να οριστούν ξεχωριστοί τύποι των αποδόσεων για να μελετηθεί το ενεργειακό ισοζύγιο. Όπως καθορίστηκε προηγουμένως, η απόδοση της μονάδας παραγωγής ισχύος αυτού του συστήματος του συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου είναι 48.8%. Αυτή ορίζεται ως η ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος προς την ενέργεια των πρώτων υλών φυσικού αερίου στη μονάδα παραγωγής ισχύος.

2.11. Κατανάλωση Πόρων

Όπως θα περίμενε κανείς, το φυσικό αέριο καταναλώνεται στον μέγιστο βαθμό, καταλαμβάνοντας σχεδόν το 98% κ.β. των συνολικών πόρων. Ακολουθεί ο άνθρακας, μεταλλεύματα σιδήρου και παλιοσίδηρα, το πετρέλαιο και ο ασβεστόλιθος. Ο πίνακας 2.15 δείχνει την ποσότητα των πόρων που καταναλώνεται ανά ΚWh και το ποσοστό από τα διαφορετικά στάδια της διεργασίας.

Στην πράξη, όλος ο σίδηρος και ο ασβεστόλιθος χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του σταθμού και του αγωγού φυσικού αερίου ενώ η συντριπτική πλειοψηφία του άνθρακα και του πετρελαίου καταναλώνεται κατά την παραγωγή και μεταφορά του φυσικού αερίου. Οι πόροι που καταναλώνονται κατά την διάρκεια της κατασκευής και παροπλισμού μπορούν να χωριστούν

περαιτέρω στα στάδια που απαιτούνται για την κατασκευή και παροπλισμό του σταθμού και στην κατασκευή του αγωγού του φυσικού αερίου.

Πίνακας 2.15. Μέση κατανάλωση μη ανανεώσιμων πόρων ανά KWh καθαρά παραγόμενου ηλεκτρισμού

Πηγή (α)	Συνολικό σύστημα (MJ/KWh)	% του ολικού στον πίνακα	% του ολικού στην κατασκευή και παροπλισμός (β)	% του ολικού στην παραγωγή και μεταφορά του φυσικού αερίου	% του ολικού στην παραγωγή και διανομή αμμωνίας
Φυσικό αέριο*	169,2	97,6%	0,0%	99,9%	0,1%
Λιγνίτης*	1,8	0,4%	33,8%	65,5%	0,7%
Πετρέλαιο*	0,6	0,4%	32,2%	67,7%	0,2%
Παλιοσίδερα	0,6	0,4%	100,0%	0,0%	<0,0%
Σίδηρος (Fe, μεταλλεύματα)	0,6	0,3%	100,0%	0,0%	<0,0%
Ασβεστόλιθος*	0,6	0,4%	100,0%	0,0%	<0,0%

* (στο έδαφος)

(α) Περιεκτικότητες <0,0% δεν είναι μηδαμινές, αλλά είναι πολύ μικρές

(β) Το υποσύστημα κατασκευής και παροπλισμού περιέχει την κατασκευή και παροπλισμό του σταθμού, καθώς και την κατασκευή του αγωγού φυσικού αερίου.

Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης φαίνονται στον πίνακα 2.16. Εκτός από τον ασβεστόλιθο και το πετρέλαιο, η πλειονότητα των πόρων καταναλώνεται στην κατασκευή του αγωγού. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες απαιτήσεις σε σίδηρο για το δίκτυο αγωγών (94,336 Mg), σε αντίθεση με τις απαιτήσεις σε σίδηρο του σταθμού, που είναι αρκετά μικρές σε σχέση με τις συνολικές απαιτήσεις υλικών (σκυρόδεμα, σίδηρος, χάλυβας, αλουμίνιο) του σταθμού. (15,639 Mg σιδήρου και 65,213 Mg συνολικά υλικών). Ένα μεγάλο ποσό ασβεστόλιθου καταναλώνεται για την παρασκευή τσιμέντου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του σταθμού.

Πίνακας 2.16. αποτελέσματα ανάλυσης κατανάλωσης πόρων για τον σταθμό και τον αγωγό

Πόροι	% του ολικού στην κατασκευή και παροπλισμό του σταθμού	% του ολικού στην κατασκευή του αγωγού
Φυσικό αέριο*	<0,0%	<0,0%
Λιγνίτης*	6,0%	27,7%
Πετρέλαιο*	25,1%	7,1%
Παλιοσίδερα	5,5%	94,5%
Σίδηρος (Fe, μεταλλεύματα)	5,7%	94,3%
Ασβεστόλιθος*	91,1%	8,9%

* (στο έδαφος)

2.12. Υγρά Απόβλητα

Οι συνολικές ποσότητες υγρών αποβλήτων είναι μικρές σε σχέση με άλλες εκλύσεις. Τα συνολικά υγρά απόβλητα για αυτή την εργασία είναι 0,01g/KWh. Οι δύο κύριοι ρυπαντές νερού είναι πετρέλαια και διαλυμένα στερεά, καταλαμβάνοντας 57% κ.β. και 23% κ.β. αντίστοιχα των συνολικών υγρών αποβλήτων. Τα πετρέλαια προέρχονται κυρίως από την παραγωγή και

διανομή του φυσικού αερίου, ενώ τα διαλυμένα στερεά παράγονται κατά την κατασκευή των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή του αγωγού και του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

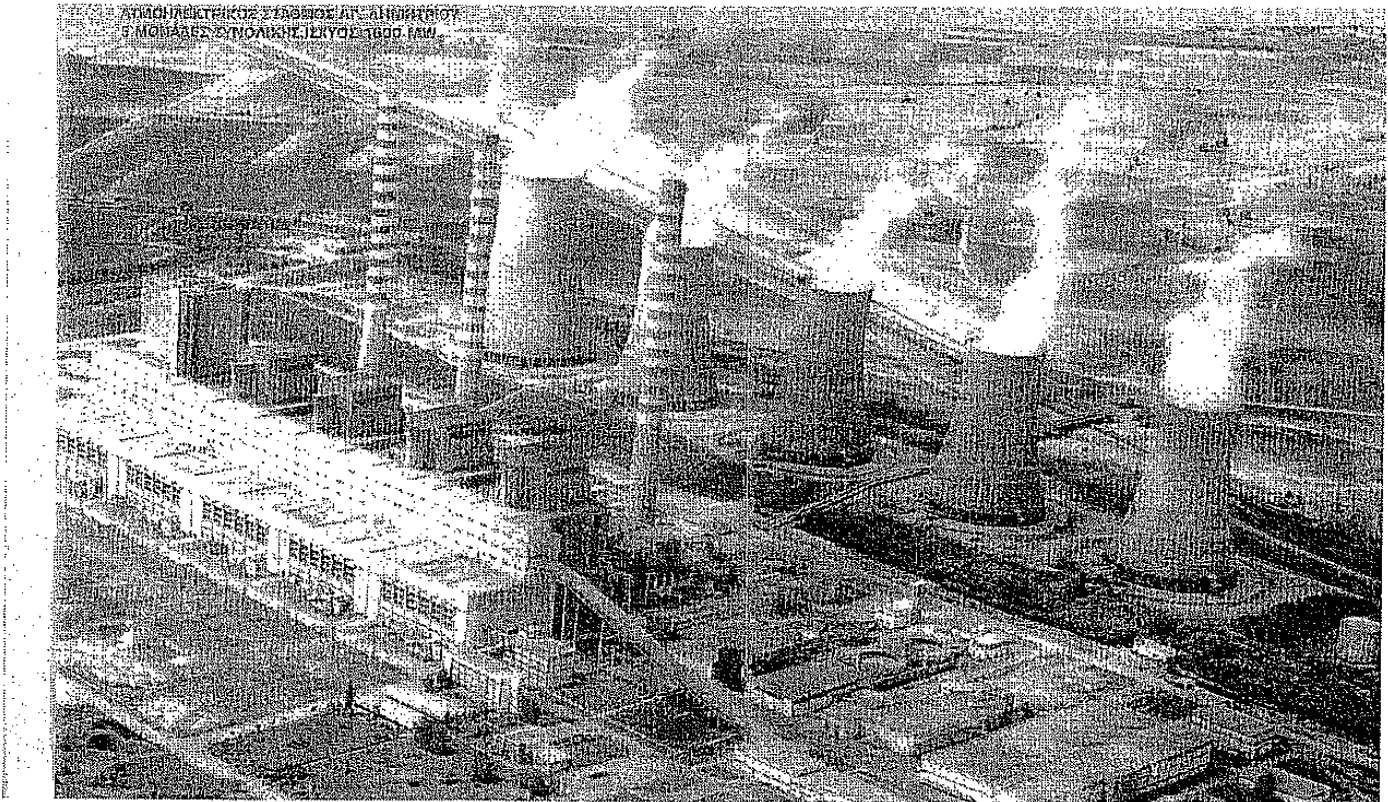
2.13. Στερεά Απόβλητα

Περίπου 94% κ.β. των συνολικών αποβλήτων του συστήματος, προέρχεται από το τμήμα της παραγωγής και διανομής του φυσικού αερίου. Με περαιτέρω εξέταση, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο μέρος των στερεών αποβλήτων (65% των συνολικών) προέρχεται από την μεταφορά του αερίου μέσω του αγωγού και το δεύτερο μεγαλύτερο από την εξαγωγή του (29% των συνολικών αποβλήτων). Αν και η πλειονότητα των συμπιεστών στον αγωγό λειτουργούν με παλινδρομικές μηχανές και στροβίλους που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο, υπάρχουν κάποιες ηλεκτρικές μηχανές και κάποιες ηλεκτρικές απαιτήσεις στους σταθμούς επανασυμπίεσης. Τα απόβλητα από την μεταφορά είναι αποτέλεσμα αυτής της ηλεκτρικής απαίτησης. Δεδομένου ότι, το μέγιστο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ελλάδα προέρχεται από σταθμούς καύσης λιγνίτη, η πλειονότητα των αποβλήτων θα είναι με την μορφή τέφρας και απόβλητα καθαρισμού αερίων καπνοδόχου. Αν και στην συγκεκριμένη εργασία δεν υπολογίστηκαν στερεά απόβλητα από τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, πρέπει να σημειωθεί ότι η μόνη ροή στερεών αποβλήτων από τον σταθμό είναι ένα μικρό ποσό χρησιμοποιημένου καταλύτη που παράγεται κάθε ένα με πέντε χρόνια στην μονάδα επιλεκτικής μείωσης του καταλύτη (SCR).

3. ΑΝΘΡΑΚΑΣ-ΛΙΓΝΙΤΗΣ

3.1. Εισαγωγή

Ο Ατμοηλεκτρικός Σταθμός (ΑΗΣ) Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένος σε υψόμετρο 678 m από την επιφάνεια της θάλασσας, κοντά στην εθνική οδό Κοζάνης – Θεσσαλονίκης και σε απόσταση 18 km από την πόλη της Κοζάνης. Μια άποψη του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου φαίνεται στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1. : Ο Ατμοηλεκτρικός Σταθμός του Αγίου Δημητρίου.

Τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου αποτελούν πέντε (5) Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 1595 MW. Είναι ο μεγαλύτερος Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα και έγινε στην περιοχή λόγω της ανεύρεσης κοιτασμάτων λιγνίτη. Αναλυτικά, αποτελείται από τα εξής τμήματα :

- Μονάδα πρόθραυσης του λιγνίτη, όπου σπαστήρες τύπου «Μύλοι με σφυριά» μειώνουν το μέγεθος των τεμαχίων του λιγνίτη σε διαστάσεις κάτω των 40 mm.
- Πέντε κύριες εγκαταστάσεις που κάθε μια περιλαμβάνει :
 - i. Το λέβητα ατμοποίησης,
 - ii. Τη στροβιλογεννήτρια,
 - iii. Τον πύργο ψύξης,
 - iv. Όλο τον αναγκαίο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό,
 - v. Τα κυκλώματα νερού –ατμού, αέρα καύσης και καυσαερίων.

Για τις τέσσερις πρώτες μονάδες υπάρχει ανά δυο εγκαταστάσεις μία καπνοδόχος, ενώ στην πέμπτη Μονάδα η εγκατάσταση έχει τη δική της καπνοδόχο.

- Πέντε συστήματα συλλογής και αποκομιδής ιπτάμενης και υγρής τέφρας. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν:
 - i. Τα ηλεκτροστατικά φίλτρα ιπτάμενης τέφρας,
 - ii. Τα σιλό αποθήκευσης,
 - iii. Τις διατάξεις ύγρυνσης και εκφόρτωσης της τέφρας σε ταινιόδρομους,
 - iv. Το σύστημα αποκομιδής της υγρής τέφρας από την τροφολεκάνη του λέβητα
 - v. Τα συστήματα μεταφοράς της τέφρας προς την τελική απόθεση.
- Τρία ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής αφαιρωμένου και αποσκληρυμένου νερού

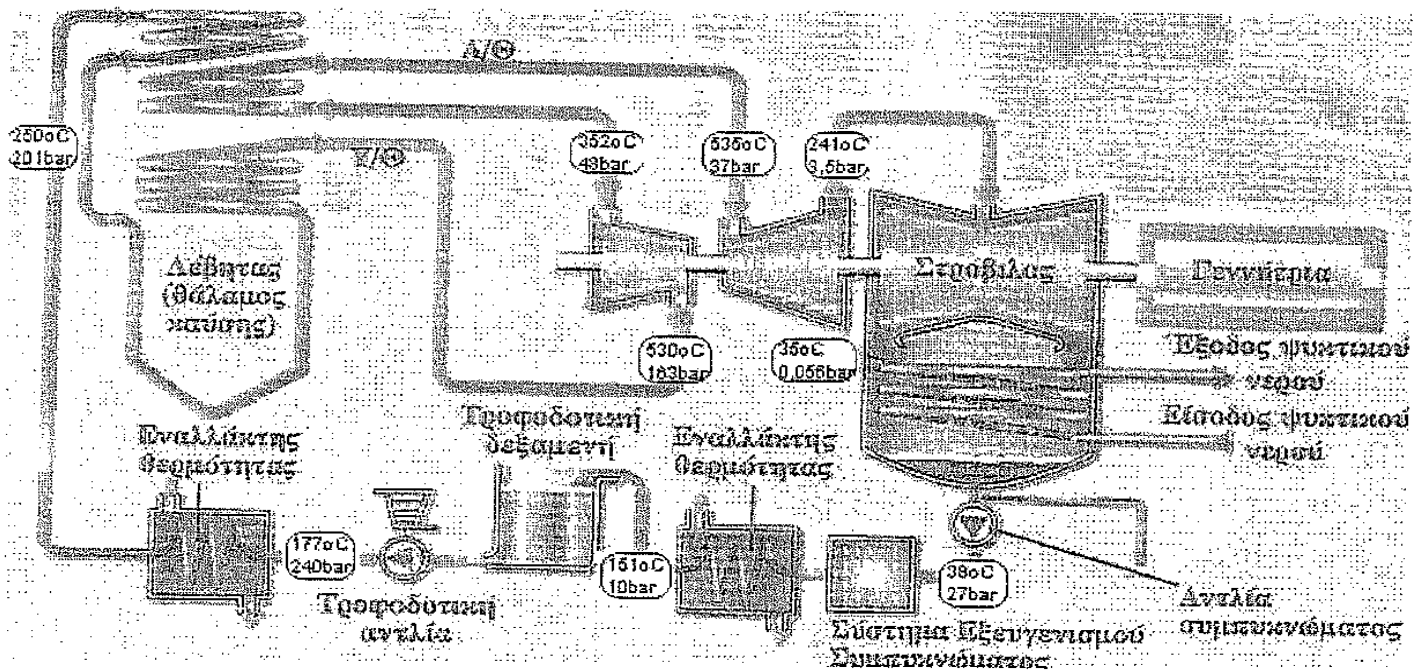
(τα πρώτα δύο εξυπηρετούν ανά δύο τις Μονάδες I-IV ενώ το τελευταίο την V-Μονάδα).

- Δεξαμενές νερού (αφαλατωμένου, αποσκληρυσμένου, πόσιμου) και υγρών καυσίμων(Diesel oil)
- Βοηθητικές εγκαταστάσεις όπως :
 - i. Υπαίθριες αποθήκες λιγνίτη και ταινιόδρομους μεταφοράς του.
 - ii. Τα συστήματα κατεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων.
 - iii. Μηχανουργείο – Ηλεκτρολογείο – Ξυλουργείο –Συνεργείο οχημάτων.
 - iv. Εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης προσωπικού.

3.2. Εξόρυξη Λιγνίτη

3.2.1 Γενικό διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ροής αποβλήτων.

Η όλη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού σε έναν λιγνιτικό σταθμό ξεκινά από την εξόρυξη του ορυκτού καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί, από το Ορυχείο. Ακολουθεί η μεταφορά του στον Σταθμό όπου αφού κονιοποιηθεί στο επιθυμητό μέγεθος εισάγεται στον θάλαμο καύσης μαζί με αέρα, που αναρροφάται από το περιβάλλον. Η καύση του λιγνίτη γίνεται στο Λέβητα (θάλαμος καύσης) και η χημική ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμική που θερμαίνει το αφαλατωμένο νερό, το οποίο ρέει στους αυλούς εσωτερικά του λέβητα, με αποτέλεσμα την ατμοποίηση του και την δημιουργία υπέρθερμου ατμού. Έτσι παράγεται υψηλής πίεσης ατμός ο οποίος εκτονώνεται στα πτερύγια του στροβίλου, προκαλώντας την περιστροφή του άξονα του και ενεργοποιώντας την γεννήτρια. Ακολούθως ο ατμός οδηγείται εκ νέου στον λέβητα για αναθέρμανση κι έπειτα στο στρόβιλο Μέσης και Χαμηλής Πίεσης όπου εκτονώνεται παράγοντας πάλι έργο. Για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, ο ατμός εξόδου καθώς βγαίνει από το στρόβιλο συμπυκνώνεται από ψυκτικό νερό στον συμπυκνωτή. Στην συνέχεια μέσω των τροφοδοτικών αντλιών κι αφού προθερμανθεί σε εναλλάκτες θερμότητας οδηγείται και πάλι στο λέβητα για να ολοκληρώσει το θερμικό κύκλο. Η θερμική ενέργεια που απάγεται από το ψυκτικό νερό, αποβάλλεται στον Πύργο Ψύξης με καταιονισμό για να επιστρέψει με χαμηλότερη θερμοκρασία στον συμπυκνωτή, κλείνοντας έτσι το ψυκτικό κύκλο. Η ενεργοποίηση της γεννήτριας οδηγεί στην μετατροπή της κινητικής ενέργειας του στροβίλου σε ηλεκτρισμό, ο οποίος μέσω μετασχηματιστών ανόρθωσης τάσης τροφοδοτείται στο Εθνικό Δίκτυο. Τα καυσαέρια από το λέβητα πριν οδηγηθούν στην καπνοδόχο και απορριφθούν, χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση του αέρα καύσης. Η λειτουργία των Μονάδων του Σταθμού δίνεται στο διάγραμμα 3.2.



Διάγραμμα 3.2. : Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας Μονάδας.

Η παραπάνω διαδικασία συνοδεύεται από ροές αποβλήτων. Απόβλητα άμεσα αποδιδόμενα στη διαδικασία παραγωγής ενέργειας περιλαμβάνουν ατμοσφαιρικές εκπομπές από NOx, SOx, CO₂ και ιπτάμενη τέφρα, υγρά απόβλητα περιλαμβάνοντας απορρίψεις ψυκτικού νερού, υδρατμών και στερεά απόβλητα όπως τέφρα από τον πάτο του λέβητα και ιλύς. Τα παραπάνω παράγονται σε μια επαναλαμβανόμενη βάση εξαρτώ-μενα από το επίπεδο παραγωγής ενέργειας. Άλλα, που δεν είναι εξαρτώμενα από το επίπεδο της παραγωγής ενέργειας, περιλαμβάνουν νερό βροχοπτώσεων ή λιωμένων χιονιών από αποστραγγίσεις της Αυλής, απόβλητα συντήρησης και καθαρισμού των εγκαταστάσεων και υγειονομικά απόβλητα. Αν επεκταθεί κανείς πέρα του ορίου του εργοστασίου πολλοί άλλοι τύποι αποβλήτων παράγονται από τις λειτουργίες του ορυχείου.

3.2.2 Αποθέματα - Εξοπλισμός Ορυχείου – Διαδικασία της εξόρυξης.

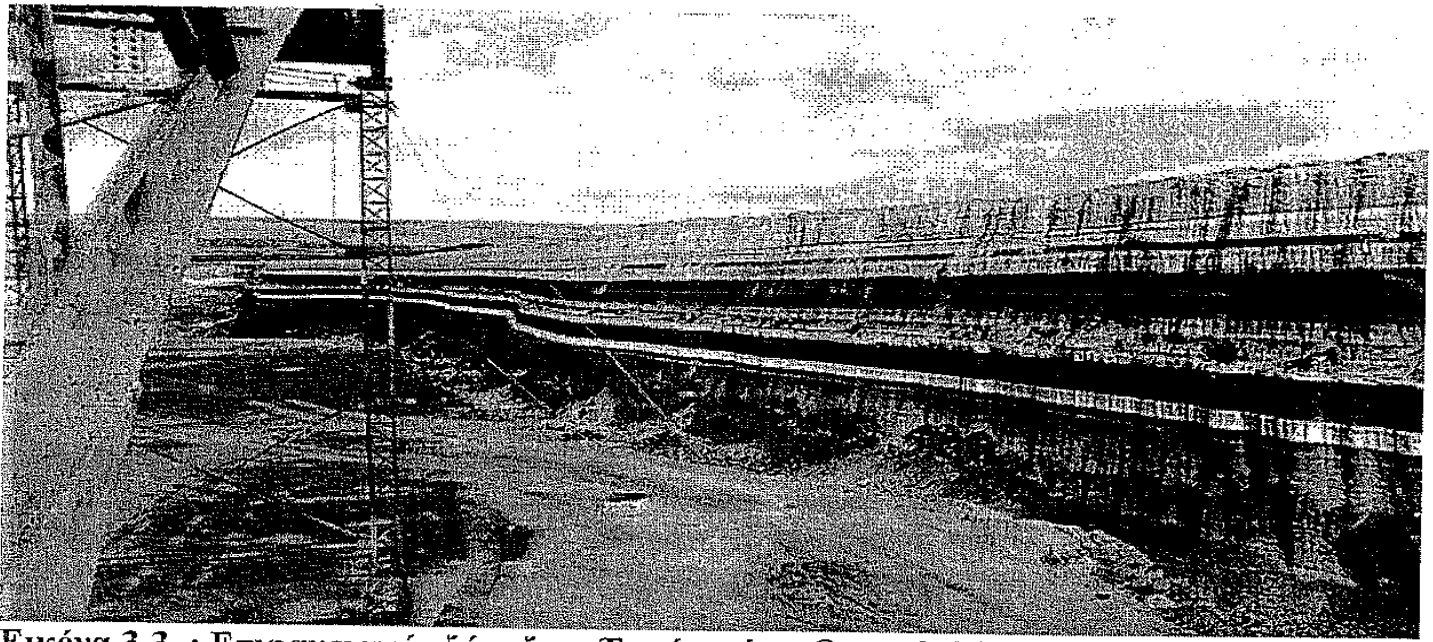
Ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου και εκτιμάται ότι οι διεργασίες τελείωσαν πριν 1 εκατομμύριο χρόνια. Οι κλιματολογικές συνθήκες ευνόησαν τη μεγάλη βλάστηση, υδρόφιλων φυτών (βρύα, καλάμια). Με το χρόνο τα φυτά αυτά συγκεντρώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στον πυθμένα των λιμνών και καλύφθηκαν από γαιώδη υλικά. Έτσι οι οργανικές ύλες των φυτών, ευρισκόμενες υπό πίεση και με την επίδραση διαφόρων μικροοργανισμών, μετατράπηκαν με το χρόνο σε στρώματα λιγνίτη. Πάνω από αυτά επικάθισαν γαιώδη υλικά, άμμος, αμμοχάλικα, μαλακός ασβεστόλιθος και άργιλος, τα λεγόμενα «υπερκείμενα» ή στείρα. Έτσι προέκυψαν λιγνιτικά κοιτάσματα μορφής Zebra.

Αλλά και το κοίτασμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο διότι μέσα σε αυτό υπάρχουν λεπτά στρώματα γαιωδών υλικών, που ονομάζονται «ενδιάμεσα». Έτσι στην περιοχή Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο, το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου (Λ.Κ.Π.-Α.) όπου λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: Το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου που τροφοδοτεί κυρίως τον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό του Αγ. Δημητρίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου. Η κατανομή των ορυχείων στην περιοχή Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου σε συνδυασμό με τους ΑΗΣ φαίνεται στην εικόνα 3.2.

Η επιλογή της μεθόδου εξόρυξης βασίζεται κύρια σε δύο μεταβλητές το πάχος της φλέβας του λιγνίτη και το βάθος αυτού. Για την περίπτωση του Ορυχείου του Νοτίου Πεδίου εφαρμόζεται η επιφανειακή εξόρυξη με την μορφή της συνεχούς εκσκαφής, μεταφοράς, και απόθεσης, γνωστής ως «Γερμανική μέθοδος». Ο λιγνίτης βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος που κυμαίνεται από 60 – 250 m περίπου και για να εξορυχτεί πρέπει πρώτα να διακινηθούν τα υλικά που βρίσκονται πάνω από αυτόν, δηλαδή τα υπερκείμενα.



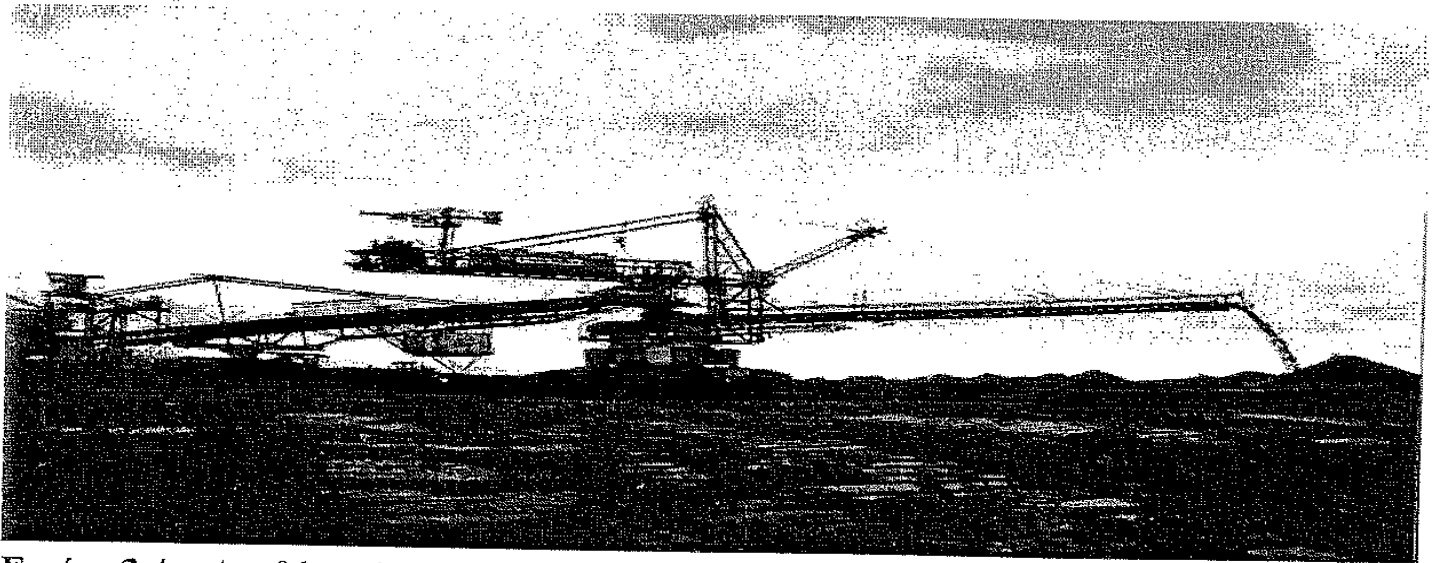
Εικόνα 3.2. : Κατανομή Ορυχείων και ΑΗΣ στην περιοχή Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου. Αποψη της επιφανειακή εξόρυξης φαίνεται στην εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3. : Επιφανειακή εξόρυξη – Τομή από το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου.

Η εξόρυξη των υπερκειμένων και στη συνέχεια του λιγνίτη, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα τους καδο-φόρους εκσκαφείς.

Από τα υλικά που εξορύσσονται, ο μιν λιγνίτης μεταφέρεται στον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό, τα δε υπερκείμενα και ενδιάμεσα υλικά, μεταφέρονται και αποτίθενται κυρίως στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, γίνεται κυρίως με ταινιόδρους οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν, συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις, μεγάλες ποσότητες υλικών ενώ για μικρές ποσότητες γίνεται με φορτηγά αυτοκίνητα.

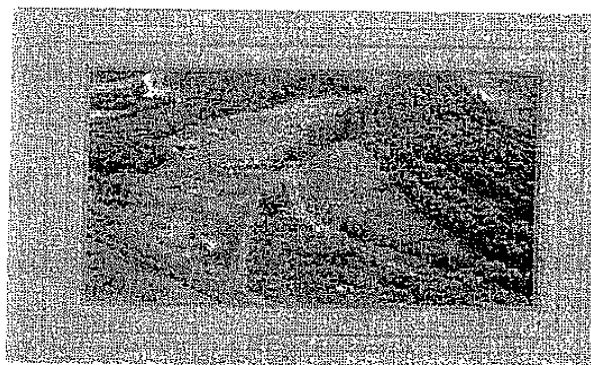


Εικόνα 3.4. : Αποθέτης λιγνίτη.

Τέλος, η απόθεση του λιγνίτη στην αυλή και των στείρων υλικών στις περιοχές όπου έχει αποληφθεί ο λιγνίτης, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα – τα συνεχούς λειτουργίας που ονομάζονται αποθέτες. Ένας τέτοιος αποθέτης φαίνεται στην εικόνα 2.5. Αυτός είναι ο κύκλος για την εξόρυξη και εκμετάλλευση του λιγνίτη. Στη διαδικασία συμμετέχουν και άλλα μικρότερα βοηθητικά μηχανήματα (φορτωτές) που υποστηρίζουν τα ηλεκτροκίνητα στη λειτουργία τους.

3.2.3. Εναλλακτικές λύσεις για την περιοχή του Ορυχείου.

Η Επιφανειακή εξόρυξη του λιγνίτη επιδρά αρνητικά όχι μόνο στην αισθητική της τοποθεσίας αλλά και στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Αυτές οι επιδράσεις εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους και του λιγνίτη. Ως πιθανή πηγή ρύπανσης του αέρα μπορούν να ληφθούν οι αναθυμιάσεις κατά την εκσκαφή και εξόρυξη του λιγνίτη και τα αιωρούμενα σωματίδια με τη μορφή σκόνης κατά την μεταφορά του μέσα και έξω από την περιοχή του ορυχείου. Επίσης ρυπαντές του αέρα, έμμεσα, μπορούν να θεωρηθούν οι εκπομπές κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για λειτουργίες σχετικές με την εξόρυξη του λιγνίτη. Σημαντικός παράγοντας για την ποσότητα διαφυγής της σκόνης στην γύρω περιοχή αποτελεί η ποσότητα – συχνότητα - διάρκεια των βροχοπτώσεων και η ύπαρξη βλάστησης στα περίχωρα, όλα στοιχεία που μπορούν να περιορίσουν τη διαφυγή της στον περιβάλλοντα χώρο. Ένας περιβαλλοντικός έλεγχος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του αέρα από την εξόρυξη του λιγνίτη είναι η καταστολή της σκόνης με διαβροχή αυτής ή ψεκασμό. Όμως, το περιβαλλοντικό μέτρο που λαμβάνει την μεγαλύτερη απήχηση είναι τα έργα αποκατάστασης και αναβάθμισης της γης που χρησιμοποιήθηκε για εξόρυξη. Το έδαφος του εξαντλημένου ορυχείου πρέπει να «ξαναγεμίσει» στο αρχικό του σχήμα, με τα υπερκείμενα και ενδιάμεσα εδάφη τοποθετημένα ανάμεικτα ή διαδοχικά. Ακολουθούν στην εικόνα 3.5, παραδείγματα αποκατάστασης και αναβάθμισης της επιφάνειας που χρησιμοποιήθηκε για επιφανειακή εξόρυξη λιγνίτη.



Εικόνα 3.5. : Τεχνητός υγροβιότοπος (αριστερά), γεωργική αξιοποίηση (δεξιά).

3.3. Μεταφορά και Απόθεση Λιγνίτη

Το ορυχείο Νοτίου Πεδίου που χρησιμοποιεί ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου για την τροφοδότηση του με καύσιμο βρίσκεται σε απόσταση 16,5 km από αυτόν. Ο λιγνίτης φθάνει στο Σταθμό από το Ορυχείο μέσω συστήματος ταινιόδρομων με ονομαστική ικανότητα παραλαβής 6000 tn/h. Εκεί παραλαμβάνεται από τρία (3) αυτόματα μηχανήματα (Απολήπτες – Αποθέτες) ικανότητας 3500 tn/h το καθένα.

Η χημική σύσταση του λιγνίτη επί ξηρού δείγματος ως βασικού καυσίμου για κάθε Μονάδα στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου δίνεται στον πίνακα 3.1. Η θερμοκρασία Μαλάκυνσης της τέφρας είναι σημαντική γιατί καθορίζει το ανώτατο σημείο που μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία καύσης. Πρέπει πάντα $\theta_{καύσης} < \theta_{μαλ. τέφρας}$ ώστε η μαλακή τέφρα να μην επικάθεται στους αυλούς του λέβητα και μειώνεται έτσι η μετάδοση θερμότητας προς το ρευστό. Το πολύ χαμηλό ποσοστό S (θείου) αποδεικνύει την φυσική αποθείωση που επιτυγχάνεται λόγω των αλκαλικών συστατικών της τέφρας του λιγνίτη. Είναι αυτονόητο ότι η αυλή μέσα στο χώρο του Σταθμού χρησιμεύει ως χώρος προσωρινής απόθεσης του λιγνίτη λίγο πριν αυτός οδηγηθεί στη μονάδα πρόθραυσης. Πρέπει επομένως να υπάρχει στην αυλή ένα σταθερό απόθεμα λιγνίτη ώστε να εξασφαλίζει συνεχώς την παροχή καυσίμου. Η εικόνα 3.1. δίνει μια άποψη της αυλής του λιγνίτη στο Σταθμό, όπου φαίνονται και τα τρία μηχανήματα Απολήπτες – Αποθέτες.

Η μεταφορά του λιγνίτη, όπως αναφέρθηκε, γίνεται με ταινιόδρομους, κυρίως, και με φορτηγά σε μικρότερο βαθμό. Οι ταινιόδρομοι που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά είναι από τις πλέον κατάλληλες μεθόδους στην Ευρώπη, έχοντας το πλεονέκτημα ότι είναι σχετικά

ελεύθερες από συντήρηση ενώ η κίνηση τους γίνεται με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τον Σταθμό.

Πίνακας 3.1. : Χημική σύσταση συμβατικού καυσίμου για κάθε Μονάδα.

Καύσιμο		I	II	III	IV	V
Υγρασία	%	57,2	57,2	57,2	57,2	54
Τέφρα	%	13	13	13	13	14,60
Άνθρακας	%	18,2	18,2	18,2	18,2	18
H ₂	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,45
O ₂	%	8,8	8,8	8,8	8,8	8,50
N ₂	%	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
S	%	0,35	0,35	0,35	0,35	0,44
CO ₂	%	0,55	0,55	0,55	0,55	2,51
A.Θ.I	Kcal/Kg	1.696	1.696	1.696	1.696	1.696
K.Θ.I	Kcal/Kg	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
Θερμοκρασία Μαλ. τέφρας	°C	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150

Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις από την μεταφορά και τη διακίνηση του λιγνίτη παρατίθενται παρακάτω.



Εικόνα 3.6. : Η Αυλή του λιγνίτη στον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Ο λιγνίτης στο στάδιο αυτό έχει υψηλό ποσοστό υγρασίας κι έτσι δεν δημιουργούνται μεγάλες ποσότητες σκόνης από την διακίνηση του, εκτός των σημείων φόρτωσης, εκφόρτωσης όπου λόγω ρευμάτων παρασύρεται σκόνη. Οι ενδεχόμενες εκπομπές μικρών ποσοτήτων σκόνης από την αυλή του λιγνίτη, σε περίπτωση ισχυρών ρευμάτων αέρα, λόγω της σχετικά μεγάλης διαμέτρου των σωματιδίων κατακάθονται μέσα στα όρια του οικοπέδου του Σταθμού και αποτελούν εντελώς τοπικό φαινόμενο. Οι ανωτέρω αέριες περιβαλλοντικές επιδράσεις χαρακτηρίζονται ως άμεσα παραγόμενες. Έμμεσα παραγόμενες περιβαλλοντικές επιδράσεις από την μεταφορά του λιγνίτη προέρχονται από την καύση καυσίμου για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας για την ίδια την μεταφορά. Στις αέριες εκπομπές πρέπει να προστεθούν και εκείνες από την καύση του πετρελαίου που χρησιμοποιούν τα οχήματα για την κίνηση τους.

Ως υγρά απόβλητα κατά την φάση αυτή πρέπει να αναφερθούν τα νερά της βροχής που πέφτουν στην επιφάνεια της αυλής του λιγνίτη και συμπαρασύρουν κάποιο μέρος της σκόνης και κολλοειδή λιγνίτη. Έτσι στην αυλή υπάρχει ξεχωριστό δίκτυο συλλογής των νερών της βροχής, που καταλήγει στο σύστημα καθαρισμού των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Εκεί τα νερά καθαρίζονται πριν τη διάθεση τους προς τους υδροφόρους ορίζοντες. Συγκεκριμένα περιβαλλοντικά μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης κατά την μεταφορά του λιγνίτη δεν υπάρχουν. Για την αντιμετώπιση μιας υπερβολικής ποσότητας σκόνης μπορεί να γίνει διαβροχή του λιγνίτη κατά την μεταφορά του, κάτι που όμως εξαρτάται από τον ίδιο τον λιγνίτη αφού αν έχει αρκετή υγρασία δεν θα δίνει μεγάλες ποσότητες σκόνης. Το νερό που θα απαιτηθεί μπορεί να επανακυκλοφορεί συνεχώς διατηρώντας έτσι και το νερό και τον λιγνίτη. Αρνητικό σημείο στην πρακτική αυτή είναι η πτώση της Κ.Θ.Ι κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό. Άλλη λύση θα μπορούσε να ήταν η χρήση χημικών προσθέτων που θα μείωνε την παραγωγή σκόνης, θα ανέβαζε την θερμοαντική ικανότητα του λιγνίτη αλλά θα έδινε ανεπιθύμητους ρυπαντές κατά την καύση.

3.4. Ατμοηλεκτρικός Σταθμός Αγ. Δημητρίου

3.4.1 Πρώτες ύλες – προϊόντα.

Ο λιγνίτης του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου είναι το βασικό καύσιμο που χρησιμοποιεί ο ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν και λιγνίτης ιδιωτικών ορυχείων (ξυλίτης). Η ετήσια κατανάλωση πρώτων υλών δίνεται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2. : Ετήσια καταγραφή πρώτων υλών και για τον ΑΗΣ Αγ.Δημητρίου.

Πρώτες Ύλες		I	II	III	IV	V	Σύνολο
Λιγνίτης-basic	t/h	552	552	552	552	616	2.824
Πετρέλαιο diesel	m ³						5.000
Ορυκτέλαια	kg/έτος	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	20.000
Λιπαντικά	kg/έτος	500	500	500	500	400	2.400

Προϊόν της λειτουργίας του Σταθμού είναι ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσης 400 KV. Η ισχύς του ΑΗΣ είναι 1595 MWe. Παράγονται όμως και θερμικές MWh. Έτσι, η καθαρή ηλεκτρική ισχύς του Σταθμού καθώς και η παραγόμενη θερμική ενέργεια δίνονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 : Κατανομή του προϊόντος της λειτουργίας του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου για κάθε μορφή ενέργειας.

Προϊόν		I	II	III	IV	V	Σύνολο
Ηλεκτρική Ισχύς	(MWe)	300	300	310	310	375	1595
Καθαρή ηλεκτρική Ισχύς	(MWe)	272	272	282	282	323	1431
Τηλεθέρμανση	(MWth)	-	-	70	70	70	210

3.4.2. Παραλαβή και διακίνηση λιγνίτη.

Το καύσιμο που προωθείται από τους Απολήπτες – Αποθέτες οδηγείται στην μονάδα πρόθραυσης (σύστημα Σπαστήρων), όπου θρυμματίζεται σε κομμάτια μεγίστης διαμέτρου 40 mm για να μεταφερθεί ακολούθως στα σιλό λιγνίτη των Μονάδων. Ο αριθμός των σιλό είναι ίσος με τον αριθμό των μύλων, δηλαδή οκτώ (8) σε κάθε Μονάδα με γεωμετρικό όγκο εκάστου 350 m³. Η χωρητικότητα του κάθε σιλό πρέπει να είναι αρκετή για 3 ώρες πλήρους λειτουργίας της Μονάδας με τους μύλους να λειτουργούν στην ονομαστική τους ισχύ και με το χειρότερο καύσιμο. Στο διάγραμμα 4.1. δίνεται η διακίνηση του λιγνίτη για το 2001. Χαρακτηριστική είναι η καμπύλη του αποθέματος, όπου είναι εμφανή η σταθερότητα που επιδιώκεται με ένα εύρος 200.000 tn λιγνίτη, ενώ η κατανάλωση και η παραλαβή εναλλάσσονται στα μέγιστα. Το παράδοξο, η κατανάλωση να υπερέχει της παραλαβής δικαιολογείται από την ύπαρξη του αποθέματος που καλύπτει τη διαφορά. Ακολουθεί το διάγραμμα 4.2. του δείκτη καταναλώσεως τόνων λιγνίτη ανά παραγόμενη MWh, που χαρακτηρίζεται από σταθερότητα. Η απόκλιση από την σταθερότητα αυτή για το μήνα Αύγουστο δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο σταθμός τροφοδοτήθηκε από καύσιμο χαμηλότερης Θερμαντικής Ικανότητας, γεγονός που προκάλεσε την αύξηση της καταναλώσεως, όπως δείχνει και το διάγραμμα 4.3. Υγρά και στερεά απόβλητα στη φάση αυτή δεν παράγονται.

3.4.3 Καύση λιγνίτη.

Από τα σιλό αποθήκευσης ο λιγνίτης μέσω κλειστών μεταλλικών τροφοδοτών οδηγείται στους μύλους του λέβητα, οι οποίοι αλέθουν, ξηραίνουν και προωθούν το υλικό στην εστία του λέβητα. Η άλεση υποβοηθείται από θερμά καυσαέρια που αναρροφώνται από το χώρο της εστίας και μειώνουν την υγρασία του λιγνίτη που αλέθεται. Από την έξοδο των μύλων ο λιγνίτης έχοντας θερμοκρασία 600 °C διαχωρίζεται σε δύο ρεύματα το ισχυρό, με τα χονδρόκοκκα σωματίδια που τροφοδοτούνται στο κατώτερο μέρος της εστίας και το ασθενές, με τα λεπτόκοκκα σωματίδια, που τροφοδοτούνται στο ανώτερο μέρος της εστίας. Έτσι επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα θερμοκρασιών στην εστία στην έναρξη της καύσης που διευκολύνουν την απελευθέρωση των πτητικών. Το μίγμα που τελικά δημιουργείται στους μύλους και οδηγείται στην εστία του λέβητα είναι :

$$\boxed{\text{Μίγμα} = \text{Σκόνη λιγνίτη} + \text{καυσαέρια} + \text{αέρας}}$$

Στην εστία καταθλίβεται τελικά αέρας που για τις Μονάδες I – IV είναι σε περίσσεια 27% της απαιτούμενης και η θερμοκρασία καύσης 1000⁰C, ενώ στην Μονάδα V το ποσοστό είναι 29% και η θερμοκρασία καύσης 1100⁰C.

Όπως αναφέρθηκε, προϊόν του Σταθμού είναι και θερμικές MWh που αναφέρονται στην Τηλεθέρμανση της πόλη της Κοζάνης. Στον ΑΗΣ Αγίου Δημητρίου είναι εγκατεστημένα τρία

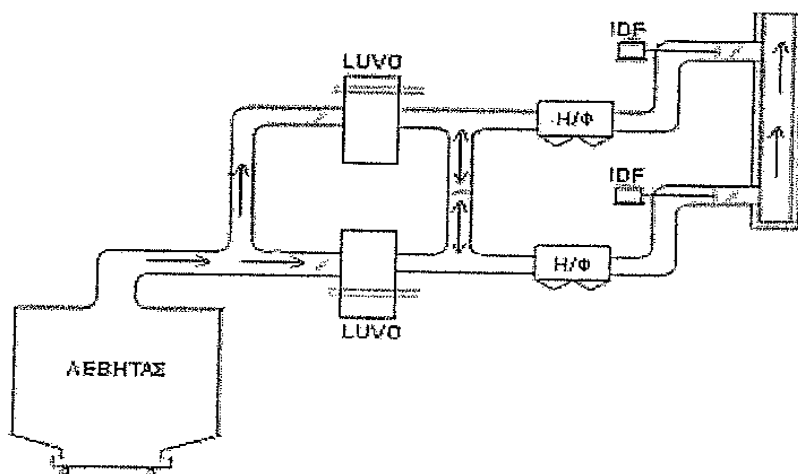
ανεξάρτητα συγκροτήματα παραγωγής θερμού νερού. Τα συγκροτήματα αυτά είναι το καθένα ισχύος 70 MW (θερμικών), τροφοδοτούνται από διαφορετικές Μονάδες (III, IV, V) για λόγους εφεδρείας, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται πάντοτε η Τηλεθέρμανση της πόλης της Κοζάνης ακόμα και στην περίπτωση που δύο από τις παραπάνω Μονάδες τεθούν εκτός λειτουργίας. Κάθε συγκρότημα περιλαμβάνει δύο εναλλάκτες θερμότητας, οι οποίοι τροφοδοτούνται με ατμό από απομαστεύσεις του Στροβίλου Μέσης Πίεσης και θερμαίνουν το νερό που έρχεται από το κλειστό κύκλωμα Τηλεθέρμανσης της πόλης, από τους 50 °C στους 120°C σε πίεση λειτουργίας 10 bar.

Το διάγραμμα 4.4. αποτελεί μια καλή σύγκριση μεταξύ των μεγεθών των παραγόμενων ενεργειών.

Η παραγωγή του τελικού προϊόντος- ηλεκτρικό ρεύμα- του Σταθμού στηρίζεται στην θερμική ενέργεια των προϊόντων της καύσης, που είναι:

- Καυσαέρια : με κύρια συστατικά το N_2 , O_2 , SO_2 , NO_x , CO_2 και υδρατμοί.
- Ιπτάμενη τέφρα : αποτελείται από τα ανόργανα συστατικά του λιγνίτη που συμπαρασύρονται με τα καυσαέρια. Η ποσότητα αυτή είναι της τάξης 80 t/h ανά Μονάδα.
- Υγρή τέφρα : αποτελεί το μικρό ποσοστό λιγνίτη που δεν έχει καεί, δεν παρασύρεται από τα καυσαέρια και λόγω βαρύτητας συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος του λέβητα. Η ποσότητά της είναι της τάξης των 6 t/h για κάθε Μονάδα. Η υγρή τέφρα για τις Μονάδες I-IV συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος της εστίας του λέβητα σε δεξαμενή γεμάτη με νερό (τεφρολεκάνη) όπου γίνεται αποπυράκτωση των τεμαχίων αυτών. Στη μονάδα-V μεσολαβεί μία σχάρα πριν την τεφρολεκάνη. Στη σχάρα αυτή συμπληρώνεται η καύση ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του ποσοστού των ακαύστων σωματιδίων και αύξηση του βαθμού απόδοσης του λέβητα. Οι ποσότητες της υγρής τέφρας, που έχουν παραληφθεί από τις τεφρολεκάνες μαζί με της ιπτάμενης, που έχουν συγκρατηθεί στα Η/Σ Φίλτρα, μέσω ταινιόδρομων μεταφέρονται και αποτίθενται στα Ορυχεία.

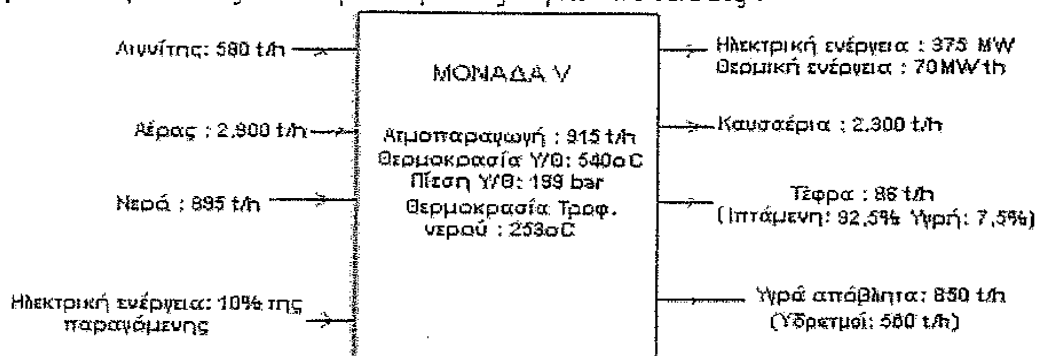
Τα εκ της καύσης προερχόμενα καυσαέρια εξερχόμενα από το λέβητα οδηγούνται στους δύο κλάδους ενός δικτύου που καταλήγει στην καμινάδα της Μονάδας και εικονίζεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7. : Δίκτυο καυσαερίων.

Τα καυσαέρια αναρροφώνται από ανεμιστήρες (I.D.F.), αφού προθερμάνουν τον αέρα καύσης σε έναν περιστροφικό εναλλάκτη θερμότητας (LUVO). Ο κάθε προθερμαντής έχει δυνατότητα αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα από τους 25°C στους 240°C με χρήση ροής καυσαερίων, των οποίων η θερμοκρασία μειώνεται από τους 300°C στους 170°C. Έπειτα αυτά διέρχονται μέσα από τα Η/Σ Φίλτρα όπου γίνεται συγκράτηση του μεγίστου ποσοστού της ιπτάμενης τέφρας. Ενδεικτικά δίνεται στο διάγραμμα 4.5. το ενεργειακό ισοζύγιο της Μονάδας V με βάση μέσες ετήσιες τιμές. Η επιλογή της Μονάδας αυτής έγινε επειδή είναι η τελευταία που εγκαταστάθηκε και χρησιμοποιεί την πιο σύγχρονη και περιβαλλοντικά βέλτιστη

τεχνολογία. Έτσι τυχόν παρεμβάσεις σε αυτήν μαζί με αυτές που ήδη εφαρμόζει θα αποτελέσει πρότυπο για νέες και υφιστάμενες εγκαταστάσεις.



Διάγραμμα 3.8. Ενεργειακό ισοζύγιο της Μονάδας V.

3.4.4. Ανάλυση λέβητα.

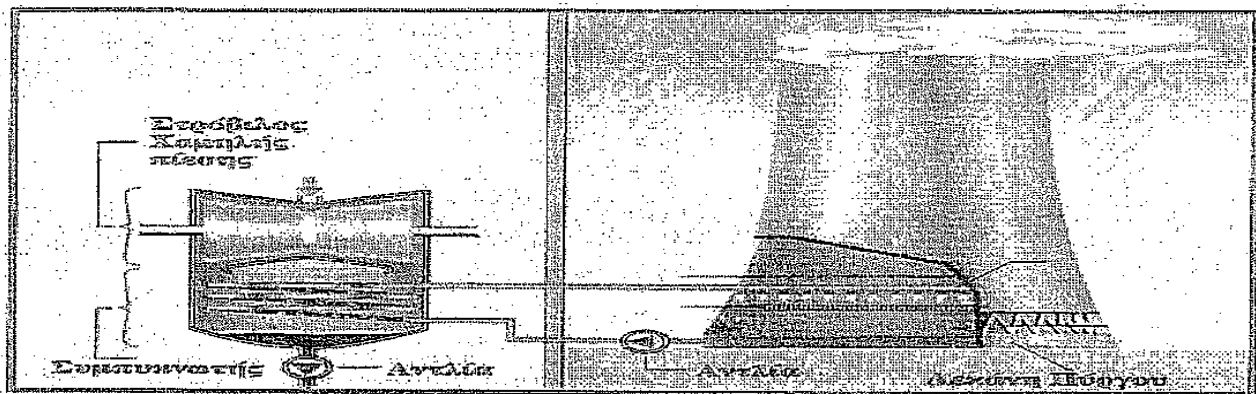
Η καύση του λιγνίτη πραγματοποιείται στην εστία του λέβητα όπου καταθλίβεται και αναμιγνύεται με τον απαιτούμενο αέρα καύσης. Η θερμική ενέργεια, που παράγεται, απορροφάται από το αφαιρωμένο νερό που κυκλοφορεί βεβιασμένα στους αυλούς του λέβητα. Αφού θερμανθεί το νερό αυτό, οδηγείται στο διαχωριστή, για να ξεχωρίσει το νερό από τον ατμό. Από τον διαχωριστή ο ατμός οδηγείται μέσω συλλεκτών στους αυλούς Υπέρθερμου Ατμού (Υ/Θ). Μετά την υπερθέρμανση και την εκτόνωση στον στρόβιλο Υψηλής Πίεσης ο ατμός οδηγείται εκ νέου στους αυλούς του αναθερμαντή για να κατευθυνθεί και πάλι στο στρόβιλο Μέσης Πίεσης. Στο τέλος της διαδρομής των καυσαερίων του λέβητα βρίσκονται οι αυλοί του Οικονομητήρα, όπου γίνεται η πρώτη προθέρμανση του νερού, προτού οδηγηθεί στους αυλούς ανόδου. Οι λέβητες είναι εφαιπτομενικής καύσης (με καυστήρες κονιοποιημένου λιγνίτη υπό γωνία) και είναι αναρτημένοι, για λόγους διαστολών, από την οροφή του λεβητοστασίου. Οι τέσσερις πλευρές του λέβητα είναι κατάλληλα θερμομονωμένες ενώ η εσωτερική πλευρά του χώρου καύσης είναι επενδυμένη με πυρίμαχα υλικά. Στον εσωτερικό χώρο του λέβητα επικρατεί υπό πίεση, την οποία δημιουργούν οι ανεμιστήρες ελκυσμού. Από το ύψος των 42 m έως και τα 70 m βρίσκονται οι σερπαντίνες υπερθέρμανσης και αναθέρμανσης του ατμού καθώς και οι αυλοί του οικονομητήρα. Στο κάτω μέρος της εστίας του λέβητα βρίσκεται η τειρολεκάνη γεμάτη με νερό, στην οποία συγκεντρώνεται η υγρή τέφρα του λιγνίτη και η οποία απομακρύνεται με μια μεταλλική ταινία. Η χοάνη του κάτω μέρους του λέβητα είναι βυθισμένη στο νερό της τειρολεκάνης για λόγους στεγανοποίησης της εστίας. Εκτός από λιγνίτη, ως καύσιμο χρησιμοποιείται και πετρέλαιο diesel κρατικών προδιαγραφών κυρίως για τις εκκανήσεις της Μονάδας, μέχρι η εστία καύσης του λέβητα να αποκτήσει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 600°C, ή για την υποβοήθηση της φλόγας, όταν λόγω κακής ποιότητας λιγνίτη κινδυνεύει να σβήσει η εστία καύσης.

3.4.5. Ατμοπαραγωγή και ψύξη.

Ο ατμός στην έξοδο του από τη βαθμίδα χαμηλής πίεσης του στροβίλου έχοντας ελάχιστο ποσοστό ενέργειας οδηγείται στο Κύριο ψυγείο (συμπυκνωτής), όπου συμπυκνώνεται υπό κενό. Ο συμπυκνωτής αποτελείται από δύο ανεξάρτητους θαλάμους. Το ψυκτικό νερό κυκλοφορεί σε αυτό με δυο αντλίες. Το συμπύκνωμα έπειτα επιστρέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί ο θερμικός κύκλος.

Η συμπύκνωση του ατμού στο Κύριο ψυγείο του στροβίλου γίνεται με τη βοήθεια ψυκτικού νερού, το οποίο παραλαμβάνει τη θερμότητα υγροποίησης του ατμού. Ψυκτικό νερό χρησιμοποιείται και για την ψύξη των βοηθητικών μηχανημάτων (ψυγεία Η₂, Μύλοι, ψυγεία λαδιού στροβίλου και λοιπά μηχανήματα) της κάθε Μονάδας. Το κύκλωμα αυτό είναι ο ψυκτικός κύκλος και βασικό στοιχείο του είναι ο Πύργος Ψύξης. Το κύκλωμα ψύξης της Μονάδας είναι τύπου ανοικτής κυκλοφορίας. Δηλαδή, το ψυκτικό νερό θερμαίνεται ψύχοντας τον ατμό και τα διάφορα μηχανήματα και οδηγείται στον Πύργο Ψύξης, όπου εκτίθεται σε Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

αντίθετα διερχόμενο ρεύμα ατμοσφαιρικού αέρα που εισέρχεται από την βάση του Πύργου (φυσικός ελκυσμός) κι έτσι ψύχεται με καταιονισμό και εξάτμιση. Το νερό τότε συγκεντρώνεται στη λεκάνη του Πύργου και από εκεί παραλαμβάνεται από τις αντλίες κυκλοφορίας και επαναχρησιμοποιείται. Το κύκλωμα του ψυκτικού νερού φαίνεται στην εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9. : Ο κύκλος του ψυκτικού νερού.

Στον πίνακα 3.4. δίνεται η τεχνική περιγραφή των Πύργων Ψύξης κάθε Μονάδας του Σταθμού.

Όπως είναι φυσικό, κατά τη λειτουργική διαδικασία του θερμικού κύκλου υπάρχει απώλεια νερού, είτε υπό μορφή υδρατμών, είτε υπό τη μορφή νερού. Όμοια, απώλειες υπάρχουν και στο νερό του ψυκτικού κύκλου, αφού η ψύξη του γίνεται με μερική εξάτμιση αυτού. Επειδή όμως η εξάτμιση αυτή προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων αλάτων του ψυκτικού νερού, ένα μέρος αυτού πρέπει να απομακρύνεται από το κύκλωμα.

Πίνακας 3.4. : Κατασκευαστικά-Λειτουργικά στοιχεία Πύργων Ψύξης.

ΜΟΝΑΔΕΣ		I	II	III	IV	V
Ροή ψυκτικού νερού	m ³ /h	27.860	27.860	29.160	29.160	39.000
Θερμοκρ. νερού εισ.	°C	34,1	34,1	33,73	33,73	35
Θερμοκρασία νερού εξόδου	°C	22	22	22	22	22
Διάμετρος βάσης	m	95	95	95	95	95
Ολικό ύψος	m	95	95	104	104	130

Για το λόγο αυτό μια ποσότητα ψυκτικού νερού αποβάλλεται από το κύκλωμα (στρατσάνα -blow down- του Πύργου Ψύξης). Οι απώλειες αυτές αναπληρώνονται με επιφανειακό νερό της λίμνης Πολυφύτου. Από αυτό το ακατέργαστο νερό η μεγαλύτερη ποσότητα χρησιμοποιείται για την συμπλήρωση των απωλειών των κυκλωμάτων ψύξης, αφού προηγουμένως υποστεί μερική αποσκλήρυνση, με αποβολή της παροδικής του σκληρότητας με υδράσβεστο. Η αποσκλήρυνση (απομάκρυνση των ανθρακικών αλάτων) του ψυκτικού νερού είναι απαραίτητη για να μην δημιουργηθούν καθαλατώσεις στις σωληνώσεις του ψυκτικού κυκλώματος. Μέρος της ποσότητας του αποσκληρυνμένου νερού τροφοδοτεί και το σύστημα αφαλάτωσης (απιονισμού) που λειτουργεί με τη χρήση ιοντοεναλλακτικών ρητίνων για την

Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

παραγωγή αφαλατωμένου νερού για την κάλυψη των απωλειών του θερμικού κύκλου των μονάδων του Σταθμού.

3.5. Απόβλητα

3.5.1 Γενικά

Οι παραπάνω διεργασίες της ηλεκτροπαραγωγής παράγουν απόβλητα που μπορούν να είναι επιβαρυντικές για το περιβάλλον και να κατηγοριοποιηθούν ως εξής :

- i. Αέριες εκπομπές.
- ii. Υγρά απόβλητα.
- iii. Στερεά απόβλητα.

3.5.2. Αέριες εκπομπές.

Κατά την λειτουργία του Σταθμού αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα καυσαέρια που προέρχονται από την καύση του λιγνίτη και υδρατμοί που προέρχονται από τον πύργο ψύξης του ανοικτού κυκλώματος ψύξης. Οι δύο αυτές κατηγορίες αποτελούν τις αέριες εκπομπές. Τα καυσαέρια εκπέμπονται από την καπνοδόχο ύψους 200 m. Μαζί με αυτά εκπέμπεται και μια ποσότητα ιπτάμενης τέφρας που δεν κατακρατείται στα Η/Σ φίλτρα. Στις αέριες εκπομπές συγκαταλέγονται κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα σωματίδια (PM-Particulate Matter) υπό μορφή ιπτάμενης τέφρας. Σκόνη, ακόμη, μπορεί να δημιουργηθεί σε ορισμένες εγκαταστάσεις των Μονάδων όπως το σύστημα αποκομιδής της ιπτάμενης τέφρας, το κτίριο των Η/Σ φίλτρων και την περιοχή γύρω από το σταθμό υποδοχής της τέφρας. Επίσης στις αέριες εκπομπές συγκαταλέγεται και η θερμότητα που αποβάλλεται με τα καυσαέρια και διαχέεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή θερμικού ανοδικού ρεύματος. Θερμικά ανοδικά ρεύματα σχηματίζονται και επάνω από τους πύργους ψύξεως.

Το διάγραμμα 5.1. αναπαριστά την εξέλιξη των εκπομπών της Μονάδας V σε σχέση με τα ανάλογα επιτρεπόμενα όρια για τους ρύπους NO_x, SO₂. Η καταγραφή των εκπεμπόμενων ρύπων γίνεται καθημερινά για την Μονάδα V με τη βοήθεια ειδικών οργάνων εγκατεστημένων στην καπνοδόχο. Η αντίστοιχη καταγραφή για τις Μονάδες I-IV δεν υπάρχει επί καθημερινής βάσεως. Αντίθετα γίνονται τέσσερις μετρήσεις το έτος και προκύπτουν οι μέσες τιμές του πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5. : Εκπομπές NO_x και SO₂ των Μονάδων I-IV για το 2001.

Ρύπος		I	II	III	IV
NO _x	t/h	1,769	1,769	1,769	1,769
	kg/MWh	5,9	5,9	5,71	5,71
SO ₂	t/h	1,336	1,336	1,336	1,336
	kg/MWh	4,45	4,45	4,31	4,31

Έτσι η Μονάδα V αν και καίει τις περισσότερες ποσότητες λιγνίτη λόγω της μεγαλύτερης ενέργειας που παράγει, εντούτοις έχει χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην καλύτερη τεχνολογία καύσης που χρησιμοποιεί.

Όπως αναφέρθηκε, στην ατμόσφαιρα αποβάλλονται και υδρατμοί που προέρχονται από τον πύργο ψύξης του ανοικτού κυκλώματος ψύξης. Η θερμοκρασία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί σε συνθήκες περιβάλλοντος είναι 22,24⁰C και σε ακραίες συνθήκες θέρους είναι 41,73⁰C, ενώ η ποσότητα τους αντίστοιχα φαίνεται στον πίνακα 3.6

Πίνακας 3.6. : Εκπομπές υδρατμών στην ατμόσφαιρα από τον ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

ΜΟΝΑΔΕΣ	I	II	III	IV	V
Υδρατμοί (t/h) σε συνθ.περ/τος	364	364	364	364	430
Υδρατμοί (t/h) σε συνθ. θέρους	627	627	627	627	707
Μέση ετήσια	474	474	474	474	560

Κατά την λειτουργία κάθε Μονάδας του Σταθμού μια ελάχιστη ποσότητα ιπτάμενης τέφρας, που δεν μπορεί να συγκρατηθεί από τα Η/Σ φίλτρα, εκπέμπεται από την καπνοδόχο, παρασυρόμενη από το ρεύμα των εξερχόμενων καυσαερίων Μονάδες το 2001, όπου η Μονάδα V έχει τη χαμηλότερη εκπομπή γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο ποσοστό συγκράτησης ιπτάμενης τέφρας στα τελευταίας τεχνολογίας Η/Σ φίλτρα που διαθέτει σε σχέση με τις άλλες Μονάδες. Το διάγραμμα 5.3. δίνει τις εκπομπές των σωματιδίων που δεν συλλέγονται από τα Η/Σ φίλτρα για κάθε Μονάδα.

Στο Διάγραμμα αυτό αποδεικνύεται ότι η Μονάδα V κινείται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα εκπομπής σωματιδίων από ότι οι άλλες Μονάδες του Σταθμού. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι το όριο εκπομπής σωματιδίων για την Μονάδα V είναι 50 mg/m^3 , γεγονός που οφείλεται στην σύγχρονη τεχνολογία με την οποία είναι εξοπλισμένη. Για τις υπόλοιπες Μονάδες του Σταθμού το όριο είναι στα 150 mg/m^3 , δεδομένου ότι πρόκειται για πιο παλιές Μονάδες και άρα και τεχνολογίας. Στο διάγραμμα 5.4. γίνεται μια σύγκριση ως προς τη θερμαντική ικανότητα του λιγνίτη και της υγρής τέφρας, δηλαδή της τέφρας που καταπίπτει στον πυθμένα του λέβητα. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι ότι η υγρή τέφρα η οποία χαρακτηρίζεται ως παραπροϊόν και απορρίπτεται, έχει θερμικό περιεχόμενο πλησίον του λιγνίτη! Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υγρή τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με βελτιώσεις, ως καύσιμο.

Οι οριακές τιμές των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων βασίζονται στις παρακάτω Νομοθεσίες:

1. «Όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες», Φ.Ε.Κ. 264B/93.
2. «Οδηγία 80/779/ΕΟΚ, όσον αφορά τις οριακές τιμές και τις καθοδηγητικές τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας για το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια», Επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L 201/53/14.7.89.
3. «Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του αζώτου» Φ.Ε.Κ. 52A/88

3.5.3 Υφιστάμενη υποδομή για την αντιμετώπιση των αέριων εκπομπών.

Ο ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου εφαρμόζει πλήθος μέτρων που κρατούν τις αέριες εκπομπές κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια που έχει θεσπίσει η Νομοθεσία και συμβάλλει στην προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος επεμβαίνοντας τόσο πριν και κατά τη διαδικασία παραγωγής, όσο και μετά αυτής, στην επεξεργασία των διαφόρων ειδών αποβλήτων.

Τα μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος που έχουν ληφθεί είναι τα ακόλουθα:

1. Τα καυσαέρια θα εκπέμπονται από καπνοδόχους διπλού τοιχώματος ύψους 200 m, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή διάχυση τους στα υψηλά στρώματα της ατμόσφαιρας. Η εσωτερική διάμετρος της κορυφής των καπνοδόχων είναι 7,3 m και η ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων είναι 20 m/sec σε θερμοκρασία 153°C .

2. Στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος συμβάλλει το σύστημα φυσικής αποθείωσης, δηλαδή το πολύ υψηλό ποσοστό δέσμευσης του παραγόμενου από την καύση του λιγνίτη SO_2 από τα αλκαλικά συστατικά της τέφρας, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

σημαντικά η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε αυτόν τον ρύπο . Σε περίπτωση όμως που το σύστημα φυσικής αποθείωσης δεν επαρκεί, υπάρχει εγκατεστημένο στην καπνοδόχο της Μονάδας V σύστημα μερικής αποθείωσης καυσαερίων.

3. Η εγκατάσταση καυστήρων χαμηλών NO_x, η ανακυκλοφορία των καυσαερίων και η ποιότητα του καιγόμενου λιγνίτη συντελούν ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία της φλόγας χαμηλή με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων NO_x.

4. Υψηλού βαθμού αποδόσεως ηλεκτροστατικά φίλτρα για την κατακράτηση σωματιδίων υπό μορφή ιπτάμενης τέφρας σε ποσοστό 99,5% για τις Μονάδες I-IV και 99,925% για την νεότερη Μονάδα V. Μία άποψη των Η/Σ φίλτρων του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου φαίνεται στην εικόνα 5.1.

5. Συστήματα αναρρόφησης σκόνης που εξυπηρετούν εγκαταστάσεις οι οποίες σχετίζονται με όλες τις λειτουργίες της παραγωγικής διαδικασίας από την αποθήκευση και τη θραύση του λιγνίτη μέχρι την αποκομιδή της τέφρας μετά την καύση του και τα οποία εξασφαλίζουν υγιεινές συνθήκες εργασίας.



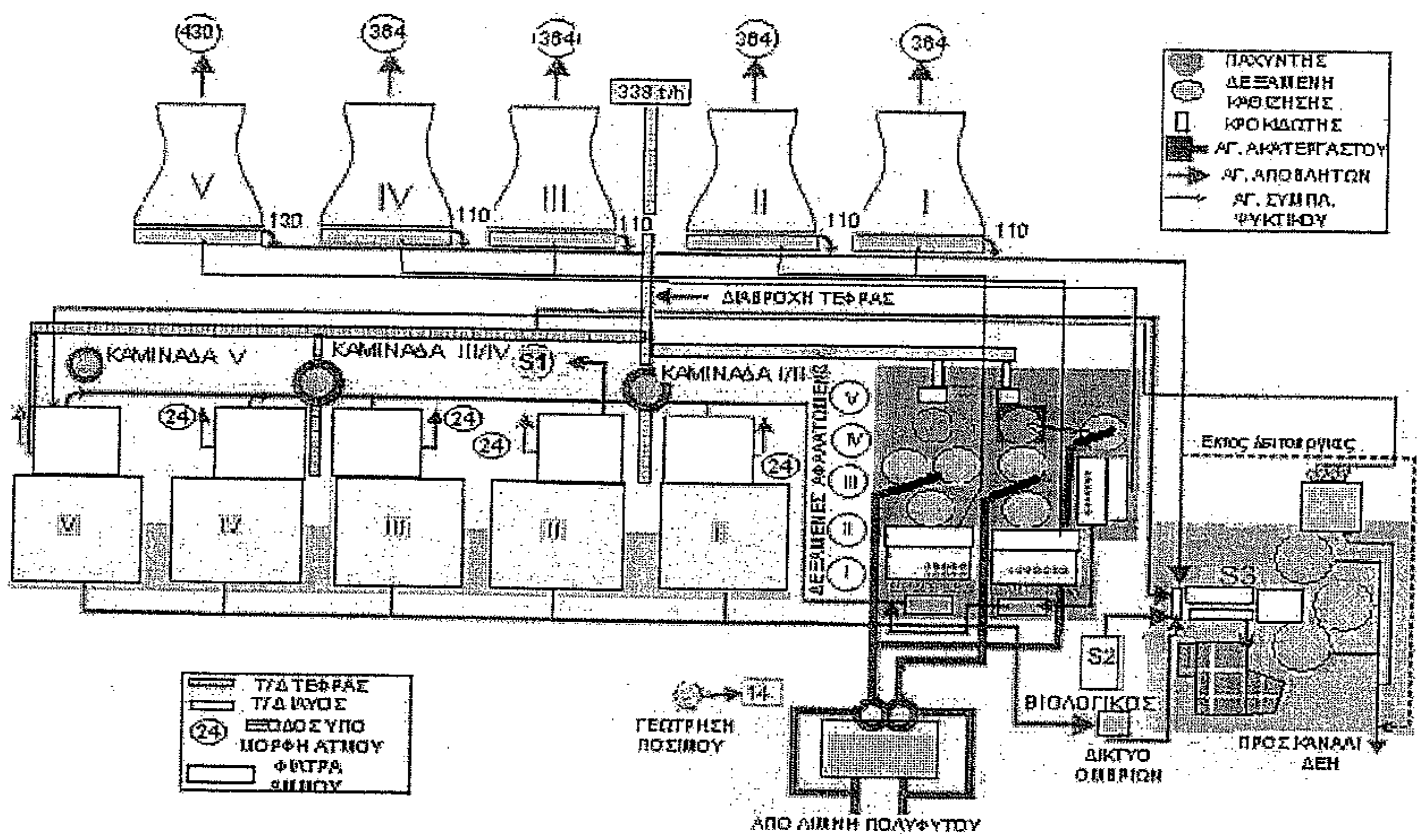
Εικόνα 3.10. : Τομή ενός συστήματος Η/Σ φίλτρων του ΑΗΣ .

3.5.4. Υγρά απόβλητα.

Το νερό που χρησιμοποιεί ο Σταθμός προέρχεται από δύο πηγές. Η τροφοδοσία πόσιμου νερού γίνεται από τα ήδη υπάρχοντα αρτεσιανά φρέατα και η τροφοδοσία νερού για βιομηχανική χρήση γίνεται από την λίμνη Πολυφύτου με το υπάρχον αντλιοστάσιο. Το ακατέργαστο νερό αποθηκεύεται στη δεξαμενή ακατέργαστου νερού του Σταθμού. Στην εικόνα 3.11. δίνεται το διάγραμμα ισοζυγίου νερών του Σταθμού. Οι τιμές του διαγράμματος εκφράζουν παροχές σε t/h. Τα υγρά απόβλητα του σταθμού πριν την απόρριψη τους στους υδροφόρους ορίζοντες απαιτούν ειδική επεξεργασία σε κατάλληλα συστήματα. Τα είδη των υγρών αποβλήτων φαίνονται στον πίνακα 3.7.

3.5.5. Υφιστάμενη υποδομή για τα υγρά απόβλητα.

Όταν οργανικές ουσίες διοχετευθούν σε έναν υδάτινο φορέα, χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στα απόβλητα ή στο φορέα τις χρησιμοποιούν σαν τροφές, καταναλώνοντας παράλληλα το διαλυμένο οξυγόνο του φορέα. Όταν ο ρυθμός κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου ξεπεράσει την ικανότητα επανοξυγόνωσης του φορέα και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή, ανατρέπεται η ισορροπία του οικοσυστήματος του φορέα.



Εικόνα 3.11.: Ισοζύγιο νερών του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου.

Πίνακας 3.7. : Ταξινόμηση υγρών αποβλήτων του ΑΗΣ

A/A Είδος υγρών αποβλήτων

1. Απόβλητα από τις αναγεννήσεις των ιοντοεναλλακτικών ρητίνων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αφαλατωμένου (απιονισμένου) νερού και τον καθαρισμό του συμπυκνώματος των Μονάδων σε ποσότητα που φτάνει τα $17,2 \text{ m}^3/\text{h}$.
2. Αστικά λύματα. (S2)
3. Νερά που υπερχειλίζουν από τις τεφρολεκάνες της υγρής τέφρας. (S1)
4. Νερά από το συγκρότημα αποκομιδής της ιπτάμενης τέφρας. (S1)
5. Τα εξουδετερωμένα βιομηχανικά απόβλητα, που προηγούμενα έχουν εξουδετερωθεί στην εγκατάσταση εξουδετέρωσης και προέρχονται από τα συστήματα αφαλάτωσης και τα καθαριστήρια συμπυκνωμάτων των Μονάδων. (S1)
6. Τα νερά πλύσης των προθερμαντών του αέρα από την πλευρά των καυσαερίων. Ο καθαρισμός γίνεται περίπου μια φορά το χρόνο. (S1)
7. Τα απόβλητα από το χημικό καθαρισμό των λεβήτων του Σταθμού από την πλευρά του νερού. Ο καθαρισμός γίνεται περίπου ανά πενταετία. (S1)
8. Τα νερά της βροχής από την πλευρά των καπνοδόχων. (S1)
9. Τα νερά της βροχής από τα κτίρια του Σταθμού. (S1)
10. Τα προκατεργασμένα απόβλητα που προέρχονται από το συγκρότημα κατεργασίας απονέρων. (S3)
11. Τα καθαρισμένα λύματα του συγκροτήματος βιολογικού καθαρισμού. (S3)
12. Τα νερά της βροχής από την περιοχή των εγκαταστάσεων των σπαστήρων του λιγνίτη. (S3)
13. Τα νερά της βροχής από την αυλή του λιγνίτη. (S3)
14. Τα νερά από την συνεχή εξαγωγή των πύργων ψύξης. (S3)

Σαν μέτρο των οργανικών συστατικών χρησιμοποιείται η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδώσει πλήρως τα οργανικά του συστατικά. Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου εκφράζεται με παραμέτρους όπως το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD). Το BOD είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου από μικροοργανισμούς σε αερόβιες συνθήκες. Άλλη παράμετρος είναι το COD, που ορίζεται ως η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός αποβλήτου σε CO₂ και H₂O από ισχυρό οξειδωτικό μέσο και σε όξινες συνθήκες. Η μέτρηση των ανόργανων συστατικών των υγρών αποβλήτων αναφέρεται στον υπολογισμό της αλκαλικότητας τους (mg/l CaCO₃), του PH και τοξικών συστατικών (βαρέα μέταλλα). Τα υγρά απόβλητα χαρακτηρίζονται και από βιολογικής φύσης χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην ύπαρξη μικροοργανισμών που περιέχονται σε αυτά και αφορούν τον έλεγχο των στερεών που περιέχουν, τη θερμοκρασία και το χρώμα τους.

Η υφιστάμενη υποδομή του σταθμού διαθέτει τα παρακάτω συστήματα κατεργασίας καθαρισμού του συνόλου των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων αντίστοιχα:

1. Συγκρότημα εξουδετέρωσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων προερχόμενα από τις αναγεννήσεις των ιοντοεναλλακτικών ρητίνων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του αφαιρωμένου νερού και τον καθαρισμό του συμπυκνώματος των Μονάδων.

2. Συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων (S2), που αποτελείται από δύο όμοιους κλάδους, συνδεδεμένους παράλληλα, που να μπορούν να δουλεύουν, είτε ταυτόχρονα, είτε χωριστά όταν ο ένας συντηρείται. Κάθε κλάδος έχει ικανότητα επεξεργασίας μέχρι 100 m³/ημέρα.

3. Συγκρότημα κατεργασίας βιομηχανικών υγρών αποβλήτων -απόβερων (S1).

4. Συγκρότημα τελικής επεξεργασίας των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων (S3), ικανότητας 2.000 m³/h.

Στα διαγράμματα 5.5. και 5.6. δίνεται η εξέλιξη μερικών από τους βασικούς δείκτες ποιότητας νερού ή παράμετροι ρύπανσης, όπως η ενεργός οξύτητα ή συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH), η αγωγιμότητα που εκφράζει τη συνολική περιεκτικότητα αλάτων, τα ολικά διαλυμένα στερεά ή δείκτης T.D.S, τα ολικά αιωρούμενα στερεά ή δείκτης T.S.S, η θερμοκρασία και το χρώμα στην έξοδο του συστήματος υγρών αποβλήτων S3, σε σύγκριση με τα επιτρεπόμενα όρια.

Οι οριακές τιμές των υγρών αποβλήτων βασίζονται στα παρακάτω Νομοθετήματα:

1. Υγειονομική Διάταξη Ε1β /221/221.65 (Φ.Ε.Κ. 138B/65) «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων».

2. Νόμος 555/26.3.90 (Φ.Ε.Κ. 297B/90) «Διάθεση λυμάτων και υγρών αποβλήτων στον Νομό Φλώρινας».

3.5.6. Στερεά απόβλητα.

Κατά την λειτουργία των Μονάδων του Σταθμού παράγονται στερεά απόβλητα που περιλαμβάνουν ιλύες και σωματίδια συλλογής από τα σιλό των Η/Σ φίλτρων. Επίσης πρέπει να προστεθούν και τα άκαυστα των τειρολεκάνων που αποτελούν την υγρή τέφρα. Η ετήσια ποσότητα παραγωγής των σωματιδίων συλλογής είναι 325 t/h, ενώ των ιλύων ποσότητα από τα συγκροτήματα αποσκλήρυνσης του ψυκτικού νερού είναι 0,73 t/h.

3.5.7. Υφιστάμενη υποδομή για την αντιμετώπιση των στερεών απόβλητων.

Το μόνο από τα στερεά απόβλητα που μπορεί να προκαλέσει ρύπανση με σκόνες είναι η ιπτάμενη τέφρα κατά τη διακίνησή της από τις Μονάδες στο χώρο απόθεσης. Υπάρχει λοιπόν, το σύστημα αποκομιδής τέφρας, όπου η συλλεγόμενη ιπτάμενη τέφρα από τα σιλό των Η/Σ φίλτρων, οδηγείται, με τη χρήση συστήματος αέρα, σε ένα κεντρικό «σιλό» από σκυρόδεμα. Στη βάση αυτού είναι εγκατεστημένο ένα σύστημα υγραντών, το οποίο αφού διαβρέξει την τέφρα σε

ποσοστό 15% περίπου, την οδηγεί σε κλειστούς ταινιόδρομους, στους οποίους αποτίθεται και η υγρή τέφρα και μεταφέρονται τελικά στους χώρους των ορυχείων, όπου θάβονται. Λόγω των ποζολανικών ιδιοτήτων της τέφρας έχει επιδειχθεί ενδιαφέρον από τις βιομηχανίες του κλάδου τσιμέντου για τη χρήση της. Έτσι στο σταθμό υπάρχουν και εγκαταστάσεις φόρτωσης της τέφρας σε κλειστά σιλοφόρα αυτοκίνητα για την πώληση της στις τσιμεντοβιομηχανίες.

3.6. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

3.6.1 Γενικά

Οι αέριες εκπομπές και τα στερεά απόβλητα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός ενεργειακού συστήματος με σαφώς καθορισμένα όρια. Στην παρούσα περίπτωση, ως τέτοιο σύστημα λαμβάνεται ο σταθμός του Α.Η.Σ. Αγ. Δημητρίου, ενώ εξετάζονται οι επιπτώσεις αυτού που επηρεάζουν μόνο το φυσικό περιβάλλον. Η παροχή ενέργειας, είτε με τη μορφή ηλεκτρισμού, είτε με τη μορφή θερμότητας είναι η κύρια θετική επίπτωση. Γενικά, για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων χρησιμοποιούνται αντίστοιχες ορολογίες που χαρακτηρίζουν ή καθεμία διαφορετικές διαδικασίες και είναι η αποτίμηση, η κανονικοποίηση και η αξιολόγηση. Τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι απόρροια των συντελεστών αξιολόγησης της μεθόδου Eco-Indicator 95. Οι τιμές της κανονικοποίησης που χρησιμοποιούνται αντιστοιχούν στην Ολλανδική και Ευρωπαϊκή ζώνη.

3.6.2. Ανάλυση Κύκλου Ζωής.

Η αποτίμηση των επιπτώσεων δείχνει από πού προέρχονται συγκεκριμένες ουσίες στην παραγωγή κάποιου προϊόντος ή κάποιας διεργασίας. Η εμβάθυνση στον τρόπο με τον οποίο οι ουσίες αυτές επηρεάζουν το περιβάλλον είναι δυνατή μέσω της χρήσης διαφόρων μεθόδων που υπολογίζουν την συμβολή της κάθε ουσίας. Για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος της αποτίμησης πρέπει να προηγηθούν η ταξινόμηση και ο χαρακτηρισμός των επιπτώσεων. Η ταξινόμηση εκχωρεί δεδομένα σε διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων. Με βάση τις αέριες εκπομπές, οι αντίστοιχες κατηγορίες των επιπτώσεων είναι:

- i. Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας (φαινόμενο θερμοκηπίου)
- ii. Όξινη βροχή
- iii. Ευτροφισμός
- iv. Φαινόμενο χειμερινής αιθαλομίχλης

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας της αποτίμησης, ο χαρακτηρισμός, έχει σαν στόχο την ποσοτικοποίηση και συνάθροιση των ενδεχόμενων επιπτώσεων, χρησιμοποιώντας ισοδύναμους παράγοντες (συντελεστές) για τις διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό αυτό χρησιμοποιείται το παράδειγμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, ως επεξήγηση. Έτσι, οι ξεχωριστές εκπομπές των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου ανάγονται στην ισοδύναμη ποσότητα g ή kg CO_2 και προκύπτουν οι αντίστοιχοι συντελεστές αξιολόγησης. Έπειτα, πολλαπλασιάζοντας κάθε εκπομπή κάποιου ενδεχόμενου αερίου του θερμοκηπίου με τον αντίστοιχο συντελεστή μπορούν εύκολα να αθροιστούν οι τιμές που λήφθηκαν. Τα αποτελέσματα από κάθε πολλαπλασιασμό μπορούν επομένως να εκφραστούν στην ισοδύναμη μάζα του CO_2 και συνεπώς να αθροιστούν, κάτι το οποίο καταλήγει σε μια συνολική τιμή για το φαινόμενο αυτό. Μια αντίστοιχη διαδικασία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και των άλλων κατηγοριών των επιπτώσεων. Αναφορικά τα κυριότερα φαινόμενα που προκύπτουν από τις εκπομπές των ρύπων δίνονται παρακάτω:

- i. *Ισοδύναμες εκπομπές CO_2 και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.*

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι τα αέρια εκείνα που συμβάλλουν στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και γενικότερα στην αλλαγή του κλίματος στον πλανήτη. Καθένα από τα αέρια αυτά συμβάλλει με διαφορετικό τρόπο στην εξέλιξη του φαινομένου αυτού, αφού

Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

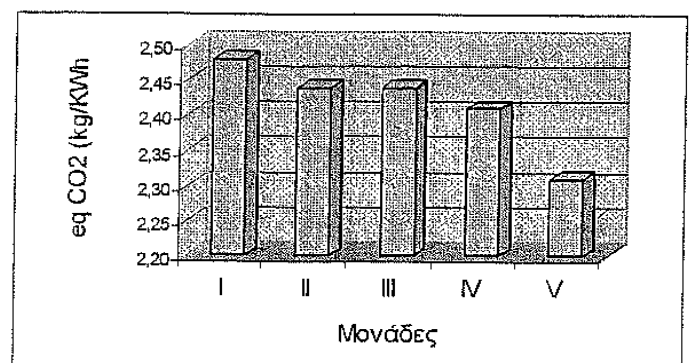
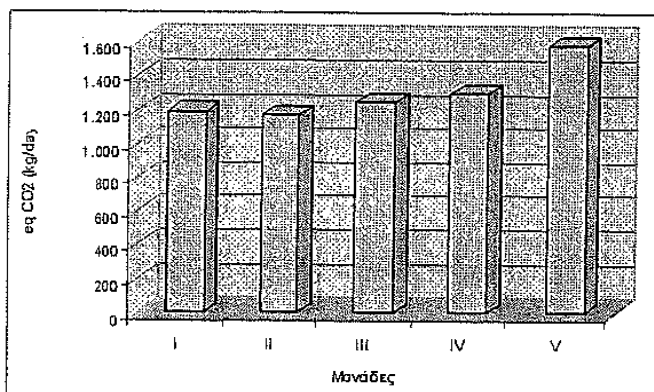
έχει διαφορετική υπέρυθη απορροφητική ικανότητα και διαφορετικό χρόνο ζωής. Οι εκπομπές CO₂ καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην αύξηση της θερμότητας του πλανήτη που προέρχεται από τον άνθρωπο. Στον πίνακα 3.8. δίνονται οι εκπομπές που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς επίσης και οι ισοδύναμοι συντελεστές τους.

Πίνακας 3.8. : Εκπομπές και συντελεστές αξιολόγησης (kg_i/kgCO₂) του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Εκπομπές	Συντελεστής αξιολόγησης	Εκπομπές	Συντελεστής αξιολόγησης
CO ₂	1	HALON – 1301	4.900
1,1,1 - τριχλωροαιθάνιο	100	HCFC – 123	90
CFC (σκληρό)	7.100	HCFC – 124	440
CFC (μαλακό)	1.600	HCFC – 141b	580
CFC – 11	3.400	HCFC – 142b	1.800
CFC – 113	4.500	HCFC – 22	1.600
CFC – 114	7.000	HFC – 125	3.400
CFC – 115	7.000	HFC – 134a	1.200
CFC – 116	6.200	HFC – 143a	3.800
CFC – 12	7.100	HFC – 152a	150
1.1.1. CFC – 13	13.000	Μεθάνιο CH ₄	11
CFC – 14	4.500	N ₂ O	270
Διχλωρομεθάνιο	15	Τετραχλωρομεθάνιο	1.300
HALON – 1211	4.900	Τριχλωρομεθάνιο	25

Έτσι, οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ σε ημερήσιες τιμές και ανά μονάδα καυσίμου για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ. παρουσιάζονται στα διαγράμματα 3.12 και 3.13. Από αυτά συνάγεται το συμπέρασμα ότι σε ημερήσιες τιμές η Μονάδα V συμβάλλει στο μέγιστο στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται, αφενός στην μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου έναντι των υπολοίπων Μονάδων και αφετέρου στην μεγαλύτερη περίσσεια αέρα με την οποία γίνεται η καύση. Από την άλλη πλευρά σε επίπεδο ισοδύναμων εκπομπών CO₂ ανά μονάδα καυσίμου η Μονάδα V συμβάλλει τα ελάχιστα στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου, γεγονός που οφείλεται στην μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έναντι των άλλων Μονάδων.

Διαγράμματα 3.12 και 3.13 : Ισοδύναμες εκπομπές CO₂ σε ημερήσιες τιμές (kg/day) ανά μονάδα καυσίμου (kg/KWh) για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ.



ii. *Ισοδύναμες εκπομπές SO_4 ή (SO_x) και το φαινόμενο της όξινης βροχής.*

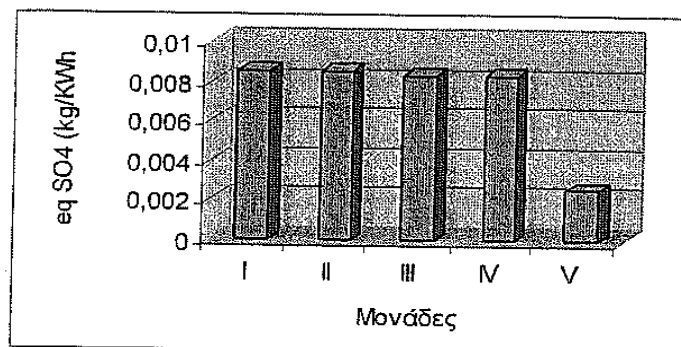
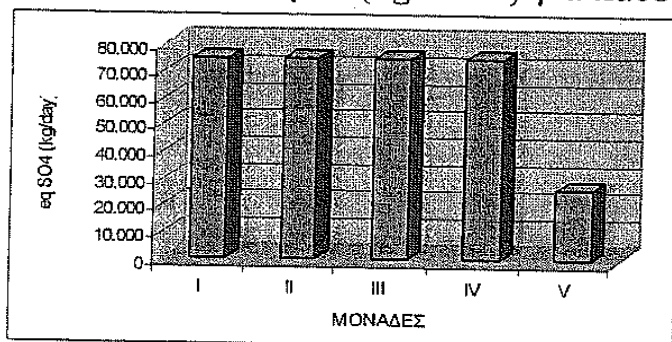
Οι δυο τύποι συστατικών που εμπλέκονται κύρια στο φαινόμενο αυτό είναι τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Επίσης στο φαινόμενο συμβάλλουν και χημικά συστατικά όπως η NH_3 , το HF και το HCl . Οι συντελεστές αξιολόγησης υπολογίζονται ως kg ισοδύναμου SO_4 και δίνονται στον πίνακα 6.2. μαζί με τις αντίστοιχες εκπομπές.

Πίνακας 3.9. : Εκπομπές και συντελεστές αξιολόγησης (kg/kg SO_4) του φαινομένου της όξινης βροχής.

Εκπομπές	Συντ.αξιολόγησης
NH_3	1,88
HCl	0,88
HF	1,6
NO	1,07
NO_x (όπως NO_2)	0,7
SO_x (όπως SO_2)	1

Ομοίως, οι ισοδύναμες εκπομπές SO_4 σε ημερήσιες τιμές και ανά μονάδα καυσίμου για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου παρουσιάζονται στα διαγράμματα 3.14&3.15

Διαγράμματα 3.14&3.15: Ισοδύναμες εκπομπές SO_4 σε ημερήσιες τιμές (kg/day) και SO_4 ανά μονάδα καυσίμου (kg/KWh) για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ.



Από την μελέτη και των δύο αυτών διαγραμμάτων είναι φανερή η μικρότερη συμβολή της Μονάδος V στο φαινόμενο της Όξινης βροχής, γεγονός που οφείλεται στους καυστήρες χαμηλών NO_x (LNBs), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την καύση του λιγνίτη.

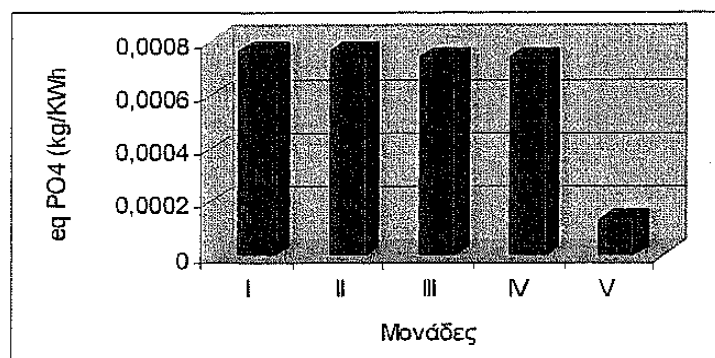
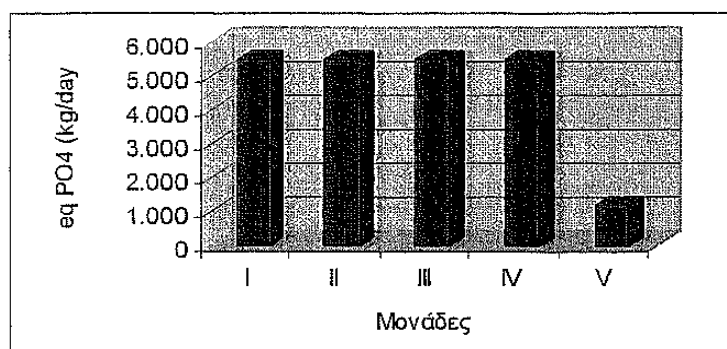
iii. *Ισοδύναμες εκπομπές φωσφορικών αλάτων και το φαινόμενο του ευτροφισμού.*

Το φαινόμενο του ευτροφισμού αναφέρεται στον εμπλουτισμό των χερσαίων οικοσυστημάτων με θρεπτικά συστατικά, όπως το άζωτο και ο φώσφορος που είναι δυνατό όμως να επιφέρουν ανεπιθύμητη αλλαγή στην σύνθεση των ειδών του. Στον πίνακα 6.3. δίνονται οι εκπομπές που συμβάλλουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού, καθώς επίσης και οι ισοδύναμοι συντελεστές τους. Έτσι στα διαγράμματα 6.5 και 6.6 δίνονται οι ισοδύναμες εκπομπές PO_4 σε ημερήσιες τιμές και ανά μονάδα καυσίμου για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Και στην περίπτωση του φαινομένου του ευτροφισμού η Μονάδα V προκαλεί την μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον, γεγονός που και πάλι οφείλεται στους καυστήρες χαμηλών NO_x (LNBs), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την καύση του λιγνίτη.

Πίνακας 3.10. : Εκπομπές και συντελεστές αξιολόγησης ($\text{kg}_i/\text{kg}_{\text{PO}_4}$) του φαινομένου του ευτροφισμού.

Εκπομπές	Συντελεστής αξιολόγησης
Αμμωνία	0,33
Νιτρικά άλατα	0,1
Φωσφορικά άλατα	1
NO	0,2
NO _x (όπως NO ₂)	0,13
P	3,06

Διαγράμματα 3.16&3.17: Ισοδύναμες εκπομπές PO₄ σε ημερήσιες τιμές (kg/day) και ανά μονάδα καυσίμου (kg/KWh) για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ.



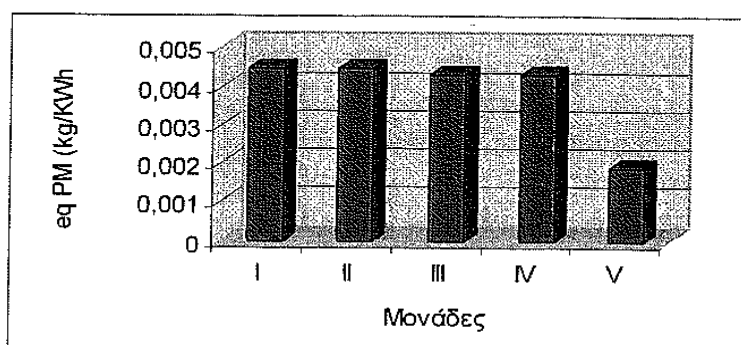
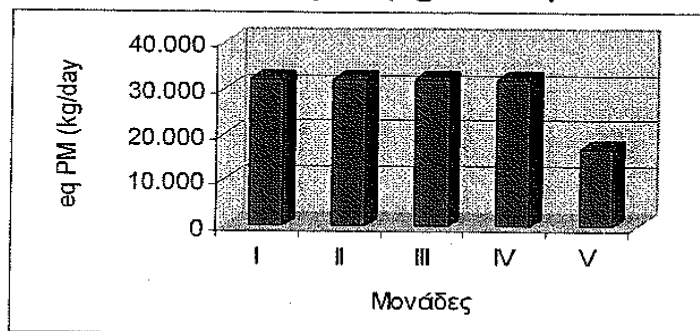
iv. Ισοδύναμες εκπομπές σωματιδίων (PM) και το φαινόμενο της χειμερινής αιθαλομίχλης.

Σε αυτή την περίπτωση, ως ισοδύναμο χημικό συστατικό χρησιμοποιούνται τα στερεά σωματίδια ύλης ή το SO₂. Στον πίνακα 3.11 δίνονται οι εκπομπές που συμβάλλουν στο φαινόμενο της αιθαλομίχλης, καθώς επίσης και οι ισοδύναμοι συντελεστές τους. Στα διαγράμματα 3.16&3.17, δίνονται για το φαινόμενο της αιθαλομίχλης οι ισοδύναμες εκπομπές PM σε ημερήσιες τιμές και ανά μονάδα καυσίμου για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου. Και στην περίπτωση του φαινομένου της αιθαλομίχλης η Μονάδα V έχει την μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον έναντι των υπολοίπων Μονάδων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι στην Μονάδα αυτή πραγματοποιείται καλύτερα η καύση λόγω του μεγαλύτερου λόγου αέρα λ.

Πίνακας 3.11 : Εκπομπές και συντελεστές αξιολόγησης ($\text{kg}_i/\text{kg}_{\text{PM}}$) του φαινομένου της αιθαλομίχλης.

Εκπομπές	Συντελεστής αξιολόγησης
άνθρακας (σκόνη)	1
σκόνη (PM)	1
SO ₂	1
αιθάλη	1

Διάγραμματα 3.18, 3.19: Ισοδύναμες εκπομπές PO₄ σε ημερήσιες τιμές (kg/day) και ανά μονάδα καυσίμου (kg/KWh για κάθε Μονάδα του Α.Η.Σ.



Σύμφωνα με τον ορισμό της, η κανονικοποίηση, που είναι ένα προαιρετικό στοιχείο, συσχετίζει όλες τις τιμές των διαφόρων περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος στις τιμές των επιπτώσεων μιας κατάστασης αναφοράς. Η κατάσταση αναφοράς μπορεί να διαφέρει ανά κατηγορία επιπτώσεων. Η κανονικοποίηση έχει σαν στόχο την συσχέτιση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που προέρχεται από ένα προϊόν με την επιβάρυνση στο περιβάλλον του. Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της κανονικοποίησης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος.

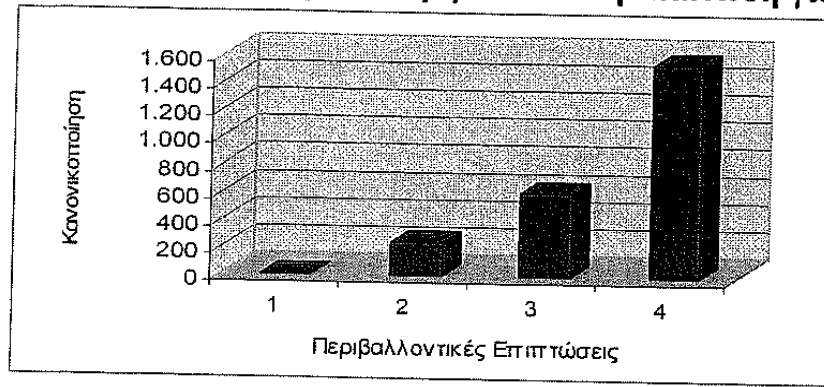
$$Ni = Si/Ai$$

Με τον τρόπο αυτό αποδεικνύεται και ο άνωθεν ορισμός της κανονικοποίησης (N) ως ο λόγος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενός προϊόντος (S) προς την κατάσταση αναφοράς (A). Στον πίνακα 6.5. δίνονται οι συντελεστές κανονικοποίησης και αποτίμησης ανά περιβαλλοντική επίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.12 : Συντελεστές κανονικοποίησης και αποτίμησης ανά περιβαλλοντική επίπτωση.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Κανονικοποίηση (συντελεστής)	Αποτίμηση (συντελεστής)
Φαινόμενο θερμοκηπίου	0,0000742	2,5
Όξινη βροχή	0,00888	10
Ευτροφισμός	0,0262	5
Αιθαλομίχλη χειμώνα	0,0106	5

Οι συντελεστές αποτίμησης ή αξιολόγησης που αναφέρονται στον πίνακα 3.12 εκφράζουν την σημασία και τη βαρύτητα που έχει το αποτέλεσμα της κάθε επίπτωσης. Η ανάγκη χρήσης των παραγόντων αυτών έγινε γιατί η κανονικοποίηση απλά καθορίζει το μέγεθος των επιπτώσεων και δεν μπορεί να εκφράσει την σπουδαιότητα της καθεμίας. Στο διάγραμμα 3.20 παρουσιάζεται η κανονικοποίηση για το προϊόν του Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου –το ηλεκτρικό ρεύμα- ανά κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι ο σταθμός επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον στην περίπτωση του φαινομένου της αιθαλομίχλης.



3.7. Εξεργειακή ανάλυση Μονάδος V.

Η ενέργεια διατηρείται, σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο. Αυτό που δεν διατηρείται είναι η εξέργεια της, η οποία αποτελεί το ωφέλιμο δυναμικό έργο της ενέργειας. Όταν η εξέργεια χαθεί δεν μπορεί ποτέ να ανακτηθεί. Η ενέργεια αντιθέτως μετατρέπεται σε μια άλλη λιγότερο ωφέλιμη μορφή, σε μια μορφή λιγότερης εξέργειας. Η εξέργεια λοιπόν, όντας το ωφέλιμο έργο ενός συστήματος σε μια καθορισμένη κατάσταση, είναι μια ιδιότητα που σχετίζεται με την κατάσταση αυτού και του περιβάλλοντος, πίεσης P_0 και θερμοκρασίας T_0 . Από την άλλη το αντιστρεπτό έργο είναι το μέγιστο ωφέλιμο έργο που μπορεί να παραχθεί από ένα σύστημα που εκτελεί διεργασία μεταξύ δυο καθορισμένων αρχικών και τελικών καταστάσεων. Όπως είναι φανερό, υπάρχει διαφορά ανάμεσα στο αντιστρεπτό και το ωφέλιμο έργο κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, που εκφράζεται με τον όρο αναντιστρεπτότητα. Η αναντιστρεπτότητα εκφράζει την εξέργεια που καταστρέφεται. Η εξεργειακή ανάλυση έχει σαν στόχο να εντοπίσει την τοποθεσία, την πηγή και το μέγεθος των πραγματικών θερμοδυναμικών αναντιστρεπτοτήτων. Έτσι μπορεί να δώσει τις οδηγίες για την ελάττωση τους και την βελτίωση της λειτουργίας της Μονάδας. Ο παράγοντας που, από θερμοδυναμικής άποψης, αποτελεί το κριτήριο για την βέλτιστη λειτουργία της ίδιας της Μονάδας ή των επιμέρους τμημάτων της, είναι ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης. Αυτός εκφράζει το ποσοστό της εξέργειας του προϊόντος που αναλογεί στην εξέργεια του καυσίμου που παρέχεται. Σύμφωνα με τους ορισμούς που δίνονται από τους Tsatsaronis & Lazzaretto (1996), ως «καύσιμο» αναφέρονται οι καθαρές πηγές εξέργειας που καταναλώνονται για την παραγωγή του προϊόντος. Έτσι ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης για ένα επιμέρους τμήμα της Μονάδας ορίζεται ως

$$\varepsilon_i = \frac{E_{p,i}}{E_{f,i}}$$

ενώ σε επίπεδο Μονάδας εξεργειακός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως

$$\varepsilon_{tot} = \frac{W}{E_{fuel} + E_{air}}$$

Κατά την εξεργειακή ανάλυση ενδιαφέρουν οι ποσότητες της εξέργειας που καταστρέφεται και οι οποίες προκαλούνται από τις αναντιστρεπτότητες. Οι τελευταίες σχετίζονται με φαινόμενα όπως η χημική αντίδραση, η μεταφορά θερμότητας, η ανάμιξη, ο στραγγαλισμός, η τριβή και η ελεύθερη εκτόνωση, τα οποία συμβαίνουν κατά την λειτουργία της Μονάδας. Οι αναντιστρεπτότητες μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μέσω ενός εξεργειακού ισοζυγίου, το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$E_{D,i} = E_{f,i} - E_{p,i} \quad \text{ή} \quad E_{D,i} = E_{in,i} - E_{out,i}$$

Εξίσου σημαντικός με τον εξεργειακό βαθμό απόδοσης είναι ο λόγος της εξέργειας που καταστρέφεται προς την ολική εξέργεια που προσδίνεται και που ορίζεται ως εξής:

$$\Psi_{D,i} = \frac{E_{D,i}}{E_{F,TOT}}$$

Η εξεργειακή ανάλυση που ακολουθεί αναφέρεται στην Μονάδα V του ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου, η οποία τροφοδοτείται με λιγνίτη παροχής 580 t/h και παράγει ηλεκτρικό ρεύμα

καθαρής ισχύος 323 MW. Θα ληφθεί όμως ως τιμή παραγόμενης ισχύος η τιμή στο πλήρες φορτίο, οπότε $W_{NET} = 375$ MW. Η κατά βάρος ποσοστιαία σύσταση του λιγνίτη που χρησιμοποιεί η Μονάδα V δίνεται στον πίνακα 3.13.

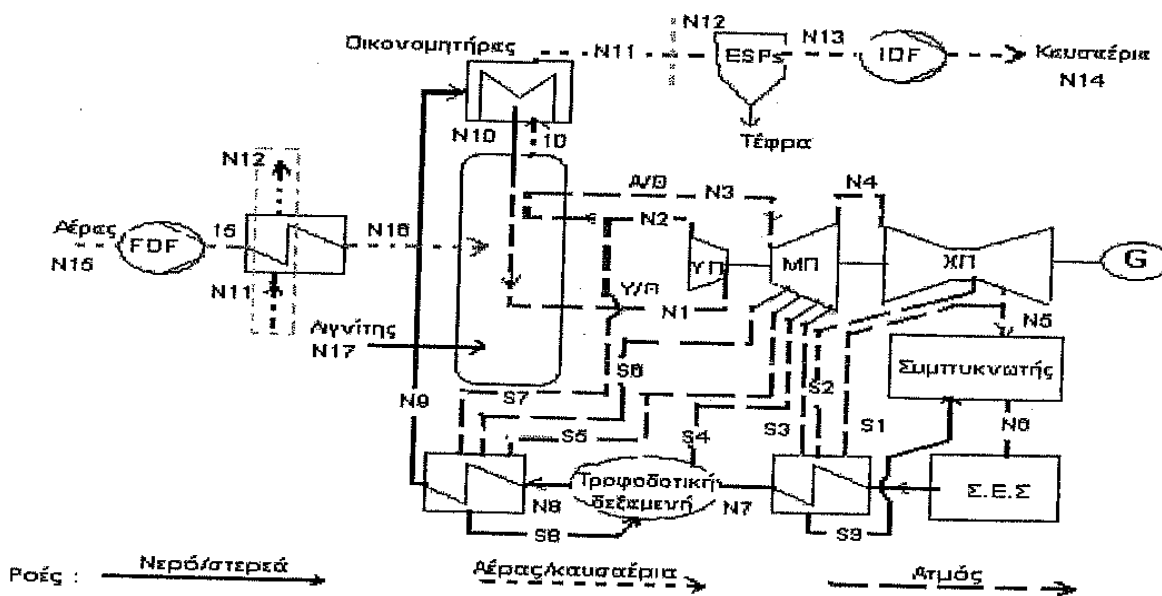
Πίνακας 3.13...: Σύσταση λιγνίτη Μονάδος V Αγ. Δημητρίου

Συστατικό	(μονάδα)	Τιμή	Συστατικό	(μονάδα)	Τιμή
c	%	18	o	%	8,5
h	%	1,45	w	%	54
n	%	0,5	a	%	14,6
s	%	0,44	ΚΘΙ	KJ/kg	5.443

Οι συνθήκες ατμού για τον ατμοπαραγωγό είναι 199 bar / 540°C / 540°C. Το τροφοδοτικό νερό θερμαίνεται στους 253°C σε ένα σύστημα προθερμαντών 7-σταδίων. Ο βαθμός απόδοσης της Μονάδας με βάση την ΚΘΙ του λιγνίτη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\eta = \frac{W}{m * Hu} * 100\% \quad \text{και έχει τιμή } \eta = 42,7\%.$$

Για την εύρεση της εξέργειας σε κάθε σημείο του διαγράμματος ροής είναι απαραίτητη η γνώση της πορείας των διαφόρων ροών που δίνεται στο σχήμα 7.1. και των αντίστοιχων τιμών της ενθαλπίας και εντροπίας.



Σχήμα 3.21. : Διάγραμμα ροής Μονάδος V Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου.

Οι τιμές των μεγεθών αυτών συναρτήσει των θερμοδυναμικών στοιχείων παροχής, πίεσης και θερμοκρασίας για κάθε σημείο δίνονται στον πίνακα 7.3.

Αναλυτικά, για τον ατμό στην κατάσταση Υπέρθερμου και Ανάθερμου (σημεία N1-N5) με δεδομένα την πίεση και τη θερμοκρασία υπολογίστηκαν τα καταστατικά μεγέθη ειδικής ενθαλπίας (h) και ειδικής εντροπίας (s) με χρήση των ανάλογων πινάκων του Hans Dieter Baehr. Ως κατάσταση αναφοράς (πλήρους εξαντλήσεως) ελήφθησαν $T_0 = 25$ °C και $P_0 = 1,013$ bar. Η εξέργεια για μόνιμη ροή ρευστού δίνεται από την σχέση:

$$\dot{E} = \frac{m_{\text{ατμού}}}{3600} * [(h-h_0) - T_0 * (s-s_0)] \quad [\text{MW}]$$

Ομοίως, για τον υπολογισμό της εξέργειας του τροφοδοτικού νερού (σημεία N6 – N10) χρησιμοποιήθηκε η ίδια σχέση.

Η εξέργεια του καυσίμου υπολογίζεται με βάση την κατά βάρος σύσταση του λιγνίτη και την σχέση (Kotas T.J. 1995):

$$\dot{E} = \frac{m_{\text{λιγνίτη}}}{3600} * [(Hu + 2.442 * w) * \varphi_{\text{dry}} + 9.417 * s] \quad [\text{MW}]$$

όπου η τιμή φ_{dry} για βιομηχανικά στερεά καύσιμα με λόγο ο/σ < 0,667 δίνεται από την σχέση (Kotas T.J. 1995):

$$\varphi_{\text{dry}} = 1,0437 + 0,1882 * (h/c) + 0,061 * (o/c) + 0,0404 * (n/c)$$

Τα καυσαέρια που προκύπτουν από την καύση του λιγνίτη περιλαμβάνουν CO₂, H₂O (υδρατμός), SO₂, O₂, N₂ και στο διάγραμμα ροής αναφέρονται στα σημεία 10-N14. Για τις μάζες των συστατικών του καυσαερίου που αναφέρονται στη μάζα του καυσίμου χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις:

$$\begin{aligned} m_{\text{CO}_2} &= 3,664 * c && \rightarrow m_{\text{CO}_2} = 0,6595 \text{ kg/kg}_b \\ m_{\text{H}_2\text{O}} &= 8,937 * h && \rightarrow m_{\text{H}_2\text{O}} = 0,6696 \text{ kg/kg}_b \\ m_{\text{SO}_2} &= 1,998 * s && \rightarrow m_{\text{SO}_2} = 0,0088 \text{ kg/kg}_b \\ m_{\text{O}_2} &= 0,232 * (\lambda - 1) * I_{\text{min}} && \rightarrow m_{\text{O}_2} = 0,1495 \text{ kg/kg}_b \\ m_{\text{N}_2} &= 0,768 * \lambda * I_{\text{min}} + n && \rightarrow m_{\text{N}_2} = 2,2059 \text{ kg/kg}_b \end{aligned}$$

Επειδή η καύση του λιγνίτη γίνεται με περίσσια αέρα 29% συνεπάγεται ότι ο λόγος αέρα θα είναι $\lambda = 1,29$. Η ειδική ανάγκη σε οξυγόνο, δηλαδή η ελάχιστη μάζα οξυγόνου (kg) που αναφέρεται στη μάζα του καυσίμου (kg) είναι ίση με

$$o_{\text{min}} = 2,664 * c + 7,937 * h + 0,998 * s - o \rightarrow o_{\text{min}} = 0,5154 \text{ kg/kg}_b$$

ενώ η ειδική ανάγκη σε αέρα, δηλαδή η ελάχιστη μάζα αέρα (kg) που αναφέρεται στη μάζα του καυσίμου (kg) είναι ίση με

$$I_{\text{min}} = o_{\text{min}} / 0,232 \rightarrow I_{\text{min}} = 2,2216 \text{ kg/kg}_b$$

Η ειδική μάζα του καυσαερίου, η οποία λαμβάνεται από το ισοζύγιο μάζας κατά την καύση του λιγνίτη δίνεται από την σχέση: $m_v^* = 1 - a + \lambda * I_{\text{min}} \rightarrow m_v^* = 3,7 \text{ kg/kg}_b$

Ανάλογα υπολογίζονται τα ποσοστά μάζας ξ_i και τα μοριακά ποσοστά ψ_i για κάθε συστατικό στο καυσαέριο από τις σχέσεις: $\xi_i = m_i / m_v^*$ και $\psi_i = \frac{M_v}{M_i} * \xi_i$

όπου M_i : η γραμμομοριακή μάζα του κάθε συστατικού και

M_v : η γραμμομοριακή μάζα του καυσαερίου και δίνεται ως ο λόγος της παγκόσμιας σταθεράς των αερίων $R = 8,314 \text{ KJ/kg} * \text{K}$ προς τη σταθερά του κάθε συστατικού του καυσαερίου, αφού αυτό λαμβάνεται ως μίγμα ιδανικών αερίων. Έτσι $M_v = R / R_i$ [kg/kmol]. Από την επεξεργασία των σχέσεων προκύπτει ο πίνακας 3.14.

Πίνακας 3.14.: Σύνθεση καυσαερίου κατά την καύση του λιγνίτη.

Ουσία	M_i kg/kmol	R_i KJ/kg*K	m_i kg/kg _b	ξ_i	ψ_i
CO ₂	44,01	0,189	0,6595	0,1786	0,110
H ₂ O	18,02	0,462	0,6696	0,1813	0,274
SO ₂	64,06	0,130	0,0088	0,0024	0,001
O ₂	32	0,260	0,1495	0,0405	0,034
N ₂	28,01	0,297	2,2059	0,5973	0,580
Σύνολο	-	-	3,693	1,000	1,000

Η παραπάνω σύνθεση καυσαερίου δίνει την σταθερά των αερίων $R_v = \sum_i \xi_i * R_i \rightarrow$

$$R_v = 0,306 \text{ KJ/kg} * \text{K}$$

Για την περίπτωση των καυσαερίων, αν και η κατάσταση περιβάλλοντος είναι $T_o = 25^\circ \text{C}$ και $P_o = 1,013 \text{ bar}$, εντούτοις για την αποφυγή διαβρώσεων της καπνοδόχου με τη δημιουργία θειϊκού οξέος, πρέπει η θερμοκρασία αναφοράς να είναι μεγαλύτερη από το σημείο δρόσου του οξέος. Για το λόγο αυτό η θερμοκρασία κυμαίνεται σε ένα εύρος $100 - 150^\circ \text{C}$. Στον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση και των απόλυτων εντροπιών στην κατάσταση πλήρους εξάντλησης θεωρήθηκε η θερμοκρασία των 110°C . Συνεπώς με βάση τις

τιμές των $[Cp]_o^T$ από τους αντίστοιχους πίνακες του Hans Dieter Baehr προκύπτει η ειδική ενθαλπία του κάθε σημείου του διαγράμματος ροής από την σχέση:

$$h = \left(\sum_i [Cp]_o^T * \xi_i \right) * T_i \quad [\text{KJ/kg}]$$

ενώ για την κατάσταση περιβάλλοντος από την σχέση:

$$h_o = \left(\sum_i [Cp]_o^{110^\circ\text{C}} * \xi_i \right) * T_o \quad [\text{KJ/kg}]$$

Η ειδική εντροπία του καυσαερίου για την κατάσταση περιβάλλοντος δίνεται από την σχέση:

$$s_o = \sum_i \xi_i * [s_i]_o^{110^\circ\text{C}} + \Delta s_m \quad [\text{KJ/kg}]$$

όπου η ποσότητα $\Delta s_m = - \sum_i R_v * \psi_i * \ln \psi_i$ αναφέρεται στην ενθαλπία αναμίξεως. Ανάλογα

η ειδική εντροπία για κάθε σημείο δίνεται από την σχέση:

$$s = \sum_i \xi_i * [s_i]_o^{110^\circ\text{C}} - R_v * \ln(P_i / P_o) + \Delta s_m \quad [\text{KJ/kg}]$$

Από τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζεται η εξέργεια του καυσαερίου σε κάθε σημείο 10-N14 με βάση τη σχέση:

$$\dot{E} = \frac{m_{\text{καυσαέριο}}}{3600} * [(h-h_o) - T_o * (s-s_o)] \quad [\text{MW}]$$

Αρχικά, ο αέρας λαμβάνεται ως ιδανικό αέριο και όχι ως μίγμα ιδανικών αερίων (O_2 , N_2 , H_2O , Ar , CO_2) για ευκολία στους υπολογισμούς. Η εξέργεια του αέρα επειδή αυτός προθερμαίνεται διαφοροποιείται από την τιμή μηδέν που θα ήταν αν απλώς αναρροφείτο από το περιβάλλον. Η ειδική ενθαλπία του για τα σημεία N15-N16 δίνεται από την σχέση:

$$h = [Cp]_o^T * T \quad [\text{KJ/kg}]$$

ενώ η ειδική εντροπία του ισούται με τη διαφορά της απόλυτης ειδικής εντροπίας του αέρα σε κάθε διαφορετική θερμοκρασία μείον το γινόμενο $R * \ln(P/P_o)$.

$$s = s_o(t, p=1,013\text{bar}) - R * \ln(P/P_o) \quad [\text{KJ/kg}]$$

Οπότε η εξέργεια του αέρα για τα σημεία N15-N16 δίνεται από την σχέση: $\dot{E} =$

$$\frac{m_{\text{αέρας}}}{3600} * [(h-h_o) - T_o * (s-s_o)] \quad [\text{MW}]$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν τα τελικά δεδομένα του πίνακα 8., όπου ο εξεργειακός βαθμός απόδοσης της Μονάδας θα είναι:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{E_{N16} + E_{N17}} * 100\% \rightarrow \varepsilon_{\text{tot}} = 30,3\%$$

Αναλυτικά, η εξέργεια που καταστρέφεται και το ποσοστό αυτής που αντιστοιχεί στην εξέργεια του καυσίμου του κάθε επιμέρους τμήματος του συστήματος δίνονται στον πίνακα 3.15.

Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τους τύπους που δόθηκαν αρχικά για την εξέργεια που καταστρέφεται (E_D). Επίσης ελήφθησαν υπ' όψιν και οι ισχύς των αντλιών και ανεμιστήρων που παρεμβάλλονται στο διάγραμμα ροής και δίνονται στον πίνακα 3.16

Πίνακας 3.15. : Απώλειες εξέργειας και ποσοστό απωλειών της Μονάδας V.

Σύστημα	\dot{E}_D (MW)	$\frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,TOT}}$ (%)
Λέβητας	294	24,7
Καυσαέρια	551,2	46,21
Συμπυκνωτής	1,4	0,12
Ατμοστρόβιλος	37,2	3,12
Σύστημα προθέρμανσης αέρα	10,3	0,86
Σύστημα Προθέρμανσης Τρ.νερού	-15,83	1,13
Σύνολο	878,27	76,14

Πίνακας 3.16 : Είδη-μεγέθη συσκευών καταναλώσεως ισχύος.

Τύπος	Ισχύς (MW)
Ανεμιστήρες αναρρόφησης (F.D.F)	2 x 2,3
Ανεμιστήρες ελκυσμού (I.D.F)	2 x 2,7
Τροφοδοτικές αντλίες	2 x 6,5
Αντλία συμπυκνώματος Α' σταδίου	0,27
Αντλία συμπυκνώματος Β' σταδίου	0,66
Αντλία ψυκτικού υγρού	1,2

3.8. Εφαρμογή

Η εξεργειακή ανάλυση χρησιμοποιείται και για την σύγκριση δύο μεγάλων παραγωγικών Μονάδων, ως μέτρο της ποιότητας της ενέργειας που δαπανάται. Για την σύγκριση χρησιμοποιείται μια συμβατική Μονάδα που καίει κονιοποιημένο καύσιμο και παράγει ηλεκτρικό ρεύμα ισχύος 580 MW και μια υπερκρίσιμη Μονάδα που καίει ίδιας ποιότητας καύσιμο και παράγει ηλεκτρική ενέργεια της ίδιας ισχύος. Οι δυο Μονάδες χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιθάνθρακα, του οποίου η κατά βάρος σύνθεση δίνεται στον πίνακα 7.7. Επίσης, γίνεται η υπόθεση ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος είναι θερμοκρασία 15° C, πίεση 1,013 bar και σχετική υγρασία $\varphi = 60\%$, ενώ η κατ' όγκο σύσταση του αέρα δίνεται στον πίνακα 7.8. Μερικές ακόμη παραδοχές που έγιναν είναι οι παρακάτω:

- Μόνιμη ροή και λειτουργία στο πλήρες φορτίο.
- Το καύσιμο καίγεται με απόδοση 99,5% ενώ ένα ποσοστό 0,5% παραμένει ως άκαυστο.
- Ο βαθμός απόδοσης (β.α) της γεννήτριας είναι 98,7%.
- Η πτώση πίεσης στον ατμοπαραγωγό είναι της τάξης του 10%.
- Η πτώση πίεσης στον αναθερμαντή του συμβατικού λέβητα είναι της τάξης του 10%.
- Η πτώση πίεσης στον πρώτο και δεύτερο αναθερμαντή του υπερκρίσιμου λέβητα είναι της τάξης του 5% και 10%, αντίστοιχα.
- Η καύση γίνεται με περίσσεια αέρα 28,8%.
- Τα καυσαέρια εξέρχονται από τον λέβητα (στην είσοδο των ESPs) με $\vartheta = 143,3^\circ\text{C}$.
- Η συμπύκνωση του ατμού στο κύριο ψυγείο γίνεται σε πίεση 0,083 bar.

Πίνακας 3.17. : Χημική ανάλυση λιθάνθρακα Illinois No.6.

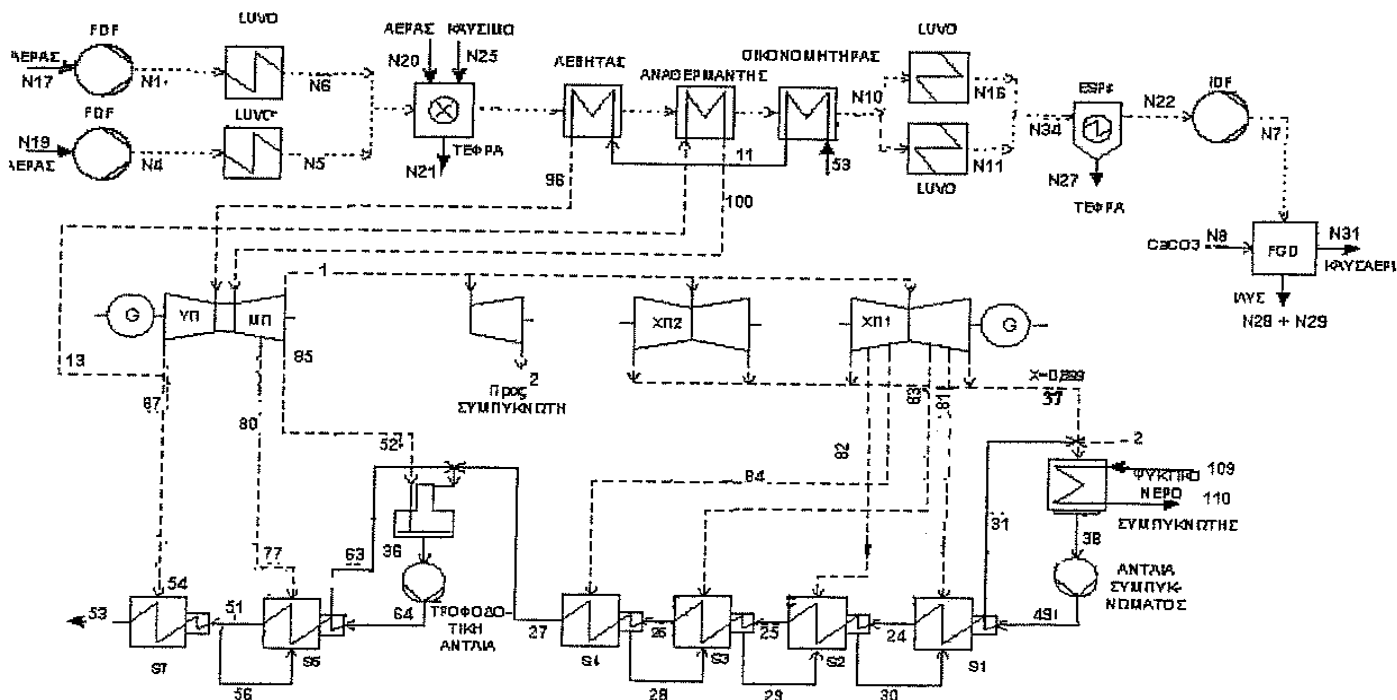
συστατικό / ιδιότητα	(μονάδα)	τιμή
c (επί ξηρού)	%	71,2
h (επί ξηρού)	%	4,98
n (επί ξηρού)	%	1,27
s (επί ξηρού)	%	3,65
o (επί ξηρού)	%	9,3
a (επί ξηρού)	%	9,6
w (ως έχειν)	%	8,8
KΘΙ	KJ/kg	26.189
AΘΙ	KJ/kg	27.386
Χημική εξέργεια καυσίμου φdry	KJ/kg -	27.997 1,023

Για τον υπολογισμό των θερμοδυναμικών μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Aspen Plus Flowsheet Simulator. Ο συμβατικός λέβητας της Μονάδας παράγει Υ/Θ ατμό με χαρακτηριστικά 165 bar / 538 °C, ενώ γίνεται μια αναθέρμανση του ατμού στους 538 °C. Το τροφοδοτικό νερό προθερμαίνεται στους 252,5 °C μέσα από ένα 7-σταδίων σύστημα προθέρμανσης.

Πίνακας 3.18. : Χημική σύνθεση του αέρα.

Συστατικό	(μονάδα)	Τιμή
N ₂	%	77,33
O ₂	%	20,738
H ₂ O	%	1,0096
Ar	%	0,921
CO ₂	%	0,0014

Το διάγραμμα ροής της συμβατικής Μονάδας δίνεται στο Σχήμα 3.22 ενώ οι θερμοδυναμικές μεταβλητές της θερμοκρασίας, πίεσης, παροχής, ενθαλπίας, εντροπίας και εξέργειας για κάθε σημείο του διαγράμματος ροής δίνονται στον πίνακα 3.18.



Σχήμα 3.22.: Διάγραμμα ροής συμβατ. Μονάδος 580 MW.

Ο βαθμός απόδοσης (β.α) με βάση την Κ.Θ.Ι και ο εξεργειακός βαθμός της Μονάδας είναι

$$\eta = \frac{W}{m \cdot Hu} * 100\% \rightarrow \eta = 38,28\% \text{ και } \varepsilon_{\text{tot}} = \frac{W}{E_{\text{fuel}}} * 100\% \rightarrow \varepsilon_{\text{tot}} = 35,8\%$$

Η εξέργεια που καταστρέφεται και το ποσοστό αυτής που αντιστοιχεί στην εξέργεια του καυσίμου του κάθε επιμέρους τμήματος του συστήματος δίνονται στον πίνακα 3.19. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα αυτό, ένα ποσοστό της τάξης του 28,04% της εξέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε απώλεια κατά την διεργασία της καύσης, ενώ ένα 20% κατά την μετάδοση θερμότητας στον λέβητα. Το αντίστοιχο ποσοστό απωλειών στα καυσαέρια που εξέρχονται από την καμινάδα είναι 4,28% ενώ του ατμού που συμπυκνώνεται στο κύριο ψυγείο φτάνει το 4,09%

Πίνακας 3.19. : Απώλειες εξέργειας και ποσοστό απωλειών της συμβατικής Μονάδας.

Σύστημα	\dot{E}_D (MW)	$\frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,TOT}}$ (%)
Καύση	397,50	28,04
Λέβητας	280,59	19,79
Καυσαέρια	60,63	4,28
Συμπυκνωτής	58,01	4,09
Ατμοστρόβιλος	38,63	2,73
Σύστημα Προθέρμανσης Τρ.νερού	18,69	1,32
Σύνολο	854,05	60,25

Η υπερκρίσιμη Μονάδα III του Σταθμού Skaerbaek στην Δανία τροφοδοτείται με καύσιμο ίδιας ποιότητας και παράγει ηλεκτρικό ρεύμα 580 MW. Το καύσιμο τροφοδοτείται σε λέβητα μιας διαδρομής για την παραγωγή Υ/Θ ατμού με υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά 290 bar και 582 °C. Ο ατμός εκτονώνεται αρχικά στον στρόβιλο πολύ Υψηλής Πίεσης (VHP) μέχρι τα 94 bar. Έπειτα αναθερμαίνεται στο λέβητα στους 580 °C προτού εισέλθει στην βαθμίδα ΥΠ του στροβίλου. Στην έξοδο από τη βαθμίδα αυτή σε πίεση 19 bar και θερμοκρασία 339 °C επιστρέφει και πάλι στο λέβητα για δεύτερη αναθέρμανση στους 580 °C. Η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού γίνεται σε σύστημα προθέρμανσης 10-σταδίων στους 300 °C. Η παραγωγή ατμού στην υπερκρίσιμη Μονάδα μειώνεται στα 379,6 kg/s από τα 448,3 kg/s της συμβατικής Μονάδας, ενώ και η παροχή του καυσίμου μειώνεται από τα 50,635 kg/s στα 46,285 kg/s. Το διάγραμμα ροής της συμβατικής Μονάδας δίνεται στο Σχήμα 3.23.

Οι θερμοδυναμικές μεταβλητές της θερμοκρασίας, πίεσης, παροχής, ενθαλπίας, εντροπίας και εξέργειας για κάθε σημείο του διαγράμματος ροής δίνονται στον πίνακα 7.11.

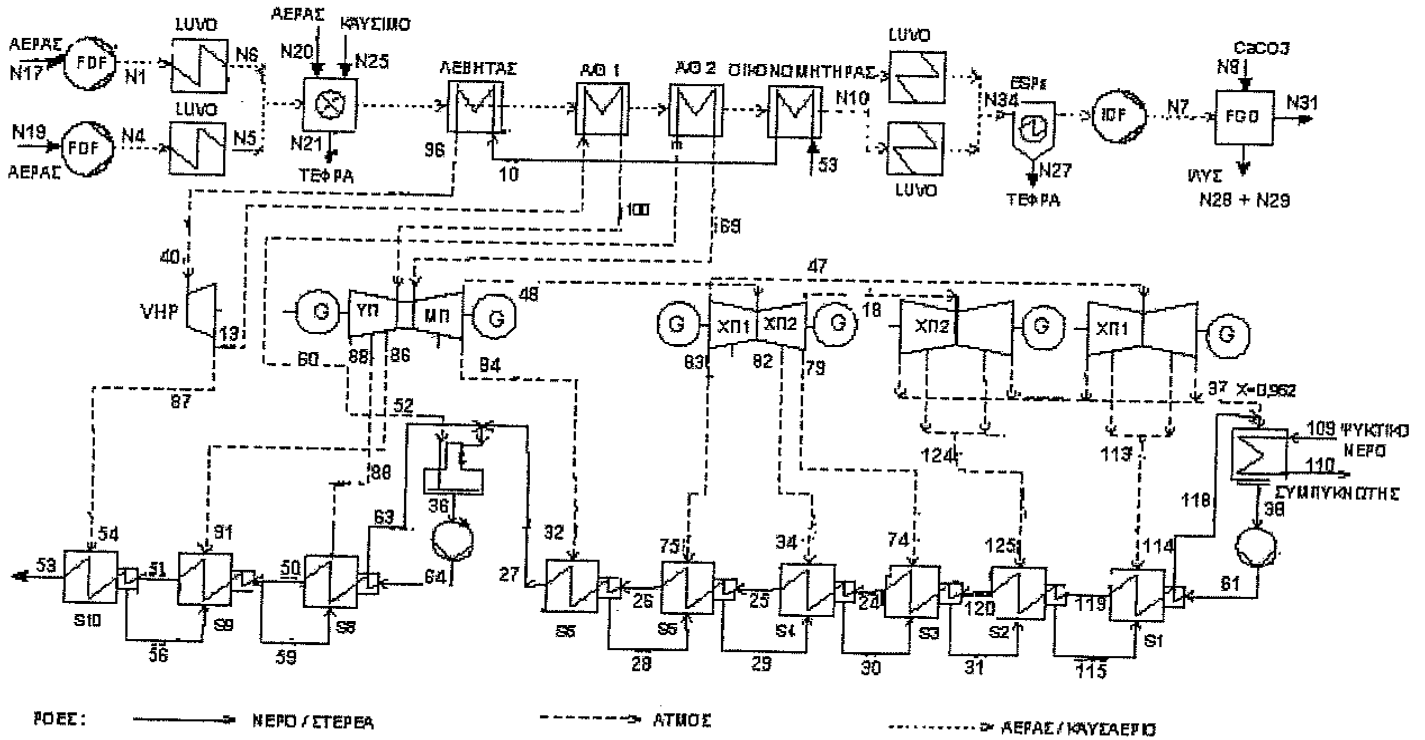
Ο βαθμός απόδοσης (β.α) με βάση την Κ.Θ.Ι και ο εξεργειακός βαθμός της Μονάδας είναι

$$\eta = \frac{W}{m \cdot Hu} * 100\% \rightarrow \eta = 41,88\% \text{ και } \varepsilon_{\text{tot}} = \frac{W}{E_{\text{fuel}}} * 100\% \rightarrow \varepsilon_{\text{tot}} = 39,17\%$$

Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη κατά 3,4% από την τιμή του εξεργειακού βαθμού που έδωσε η συμβατική Μονάδα. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην μείωση των απωλειών εξέργειας στον λέβητα που φτάνει το ποσοστό του 17,39% έναντι 19,79% της υποκρίσιμης Μονάδας. Η μεγαλύτερη απώλεια εξέργειας συμβαίνει κατά τη διεργασία της καύσης με ποσοστό αυτής 27,33% της εξέργειας του καυσίμου.

Αναλυτικά η εξέργεια που καταστρέφεται και το ποσοστό αυτής που αντιστοιχεί στην εξέργεια του καυσίμου στα επιμέρους συστήματα της Μονάδας δίνονται στον πίνακα 3.20 Από τον πίνακα αυτό είναι εμφανές πως με την αύξηση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του ατμού βελτιστοποιείται η αξιοποίηση της ενέργειας του όπως δείχνει ο εξεργειακός βαθμός. Επίσης μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου βελτιώνοντας έτσι τον θερμοκό βαθμό

απόδοσης. Η μειωμένη παροχή καυσίμου συνεπάγεται μικρότερη παραγωγή ρύπων και ως εκ τούτο λιγότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος.



Σχήμα 3.23 : Διάγραμμα ροής Μονάδος III (580 MW) του σταθμού Skaerbaek με υπερκρίσιμα χαρακτηριστικά ατμού.

Πίνακας 3.20 : Απώλειες εξέργειας και ποσοστό απωλειών της υπερκρίσιμης Μονάδας.

Σύστημα	\dot{E}_D (MW)	$\frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_{F,ΤΟΤ}}$ (%)
Καύση	354,18	27,33
Λέβητας	225,32	17,39
Καυσαέρια	59,55	4,60
Συμπυκνωτής	48,50	3,74
Ατμοστρόβιλος	26,83	2,07
Σύστημα Προθέρμανσης Τρ. νερού	20,43	1,58
Σύνολο	734,81	56,71

4. ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1. Γενικά

Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας δηλαδή ενέργειας σε θερμότητα είναι η πιο κοινή, ευρέως γνωστή και ανεπτυγμένη τεχνολογία ηλιακής μετατροπής σήμερα. Η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται καθώς και η ποσότητα αυτής της μετατρεπόμενης ενέργειας αποτελούν τις παραμέτρους κλειδιά οι οποίες πρέπει να είναι γνωστές ώστε με τον καλύτερο τρόπο και πιο αποτελεσματικά να χρησιμοποιηθεί μία διάταξη μετατροπής σε μια συγκεκριμένη αποστολή.

Η συλλογή και η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα γίνεται με τη βοήθεια των ηλιακών συλλεκτών. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών με μεγάλες καινοτομίες έτσι ώστε να καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος απαιτήσεων. Για τη περίπτωση των ηλιακών θερμοσιφώνων γίνεται κατά κύριο λόγο χρήση των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Παρ' αυτά παρακάτω θα αναφερθούν όλα τα είδη ηλιακών συλλεκτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα καθώς και κάποια βασικά στοιχεία της λειτουργίας τους. Ειδικά για τους επίπεδους συλλέκτες οι οποίοι αποτελούν το κατ' εξοχήν πεδίο μελέτης της εργασίας αυτής θα γίνει και αναφορά γύρω από το βαθμό απόδοσής τους καθώς και τους τρόπους βελτιστοποίησης του.

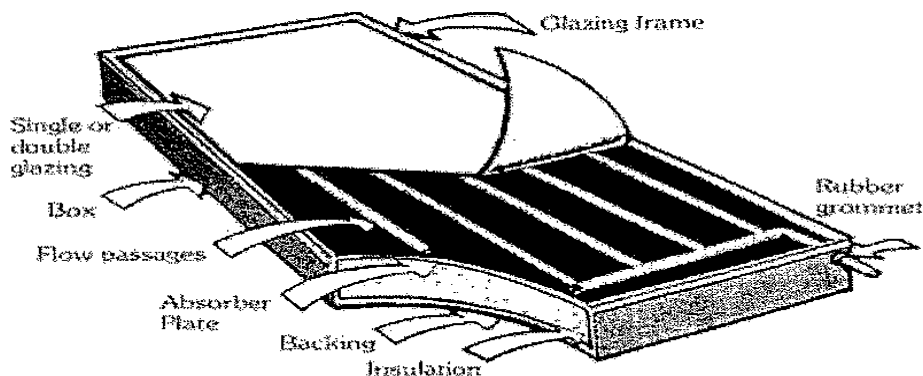
4.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή για την ηλιακή ενέργεια κατά τη δίοδο της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα ένα μέρος ανακλάται στο διάστημα ή απορροφάται, ένα μέρος διαχέεται και χαρακτηρίζεται σαν διάχυτη ακτινοβολία ενώ το υπόλοιπο ονομάζεται άμεση ακτινοβολία. Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας είναι η ολική ακτινοβολία.

Με βάση αυτή τη παρατήρηση γίνεται και ο διαχωρισμός των ηλιακών συλλεκτών. Έτσι τα βασικά είδη ηλιακών συλλεκτών ανάλογα με το είδος της ηλιακής ενέργειας που συλλέγουν αλλά και με τη μορφή τους είναι τρία. Συγκεκριμένα διακρίνουμε τους επίπεδους συλλέκτες και τους σωλήνες κενού που εκμεταλλεύονται την ολική ακτινοβολία καθώς και τους συγκεντρωτικούς που εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση. Ο διαχωρισμός αυτός δεν έγινε τυχαία αλλά η κατασκευή κάθε είδους συλλέκτη προορίζεται για την εκπλήρωση διαφορετικών αναγκών.

• ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε οι επίπεδοι συλλέκτες λειτουργούν με τη βοήθεια της ολικής ακτινοβολίας συνεπώς μπορούν να παραμένουν στάσιμοι δεδομένου ότι γι' αυτούς δεν είναι απαραίτητη η άμεση ακτινοβολία. Η μορφή ενός επίπεδου συλλέκτη φαίνεται στο *σχήμα 4.1*.

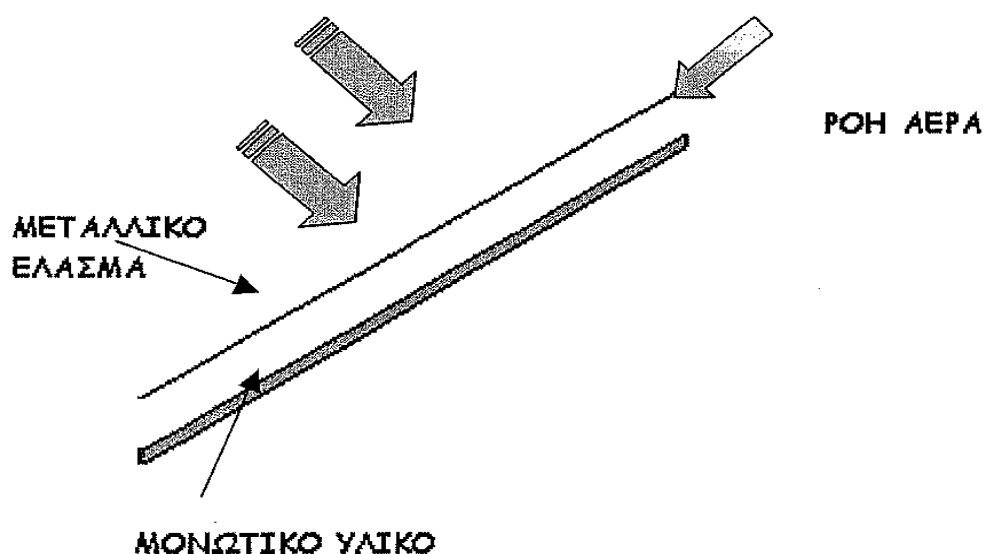


Σχήμα 4.1 Τομή και όψη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Με τη βοήθεια του σχήματος μπορεί να διαπιστωθεί ότι η κατασκευή του συλλέκτη είναι σύνθετη αφού ουσιαστικά αποτελεί ένα συλλέκτη και εναλλάκτη θερμότητας. Ακόμη η επιλογή των υλικών είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη διαδικασία της κατασκευής δεδομένου ότι θα πρέπει να συνδυάζουν χαρακτηριστικά όπως υψηλή αντοχή, θερμοχωρητικότητα και απορροφητικότητα καθώς και μικρό βάρος.

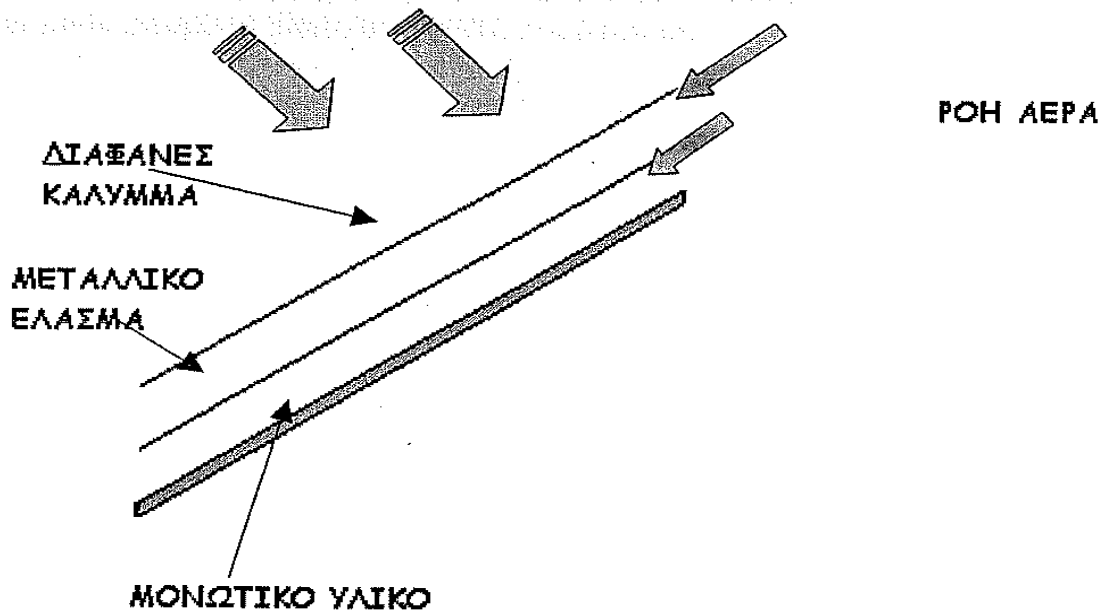
Τα ρευστά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την απορρόφηση και μεταφορά της θερμότητας είναι ο αέρας και το νερό. Ένας συλλέκτης με αέρα μπορεί να είναι τόσο απλός όσο μια γυμνή μεταλλική επιφάνεια βαμμένη μαύρη για να απορροφά το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας με τον αέρα να κινείται από κάτω μέσα σε κάποιου είδους σωληνώσεις όπως φαίνεται και στο *σχήμα 4.2*.

Ένας δεύτερος τύπος επίπεδου συλλέκτη χρησιμοποιεί ένα κάλυμμα από γυαλί, πλαστικό ή γυαλί σε μορφή ινών (fiberglass) με τον αέρα να κυκλοφορεί ανάμεσα στο κάλυμμα και την επιφάνεια απορρόφησης. Η απώλεια θερμότητας από την επιφάνεια του συλλέκτη προς το περιβάλλον (κυρίως εξ' αιτίας φαινομένων εξαναγκασμένης συναγωγής) μειώνεται μέσω του καλύμματος το οποίο λειτουργεί σαν ένα όριο ανάμεσα στον αέρα και το συλλέκτη. Αυτός ο τύπος φαίνεται στο *σχήμα 4.3*.



Σχήμα 4.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης με σκούρα μεταλλική επιφάνεια συλλογής και εργαζόμενο μέσω τον αέρα

Τέλος σε ένα τρίτου τύπου επίπεδο συλλέκτη που παριστάνεται στο *σχήμα 7.3* ο αέρας κυκλοφορεί πάνω και κάτω από την επιφάνεια του συλλέκτη. Με το τρόπο αυτό δημιουργείται διπλάσια επιφάνεια για τη μεταφορά θερμότητας από το συλλέκτη στο εργαζόμενο μέσο (αέρας).



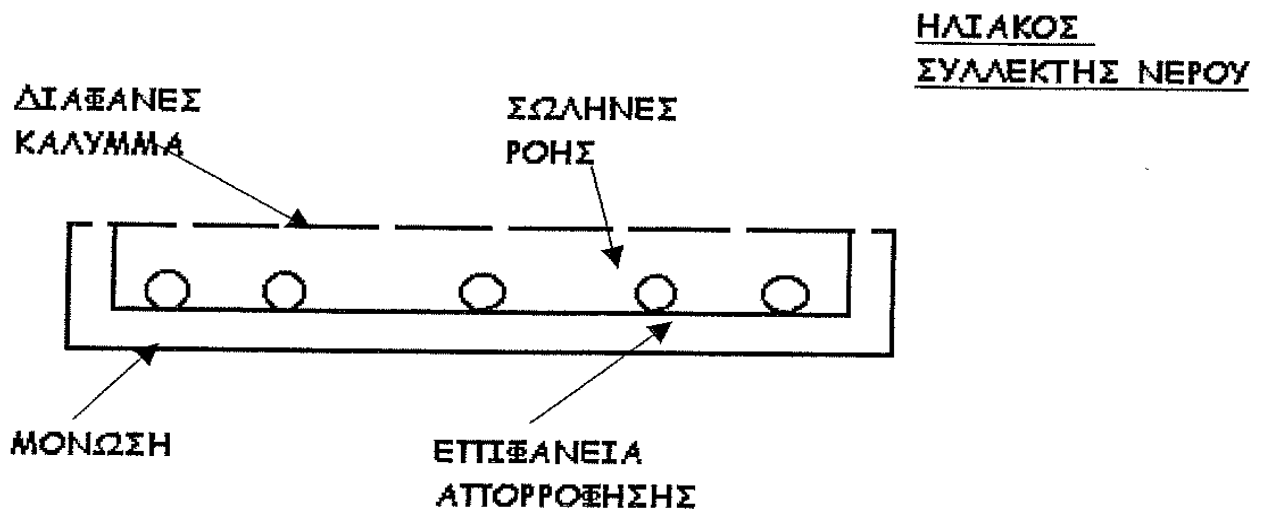
Σχήμα 4.3 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης που συνδυάζει μεταλλική επιφάνεια συλλογής και διαφανές κάλυμμα

Επίσης το πάνω κάλυμμα μειώνει τις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής όπως και στον προηγούμενο τύπο.

- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στους περισσότερους συλλέκτες η μόνωση της πίσω επιφάνειας τους είναι απαραίτητη για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας λόγω θερμικής αγωγής. Βέβαια ο δεύτερος και ο τρίτος τύπος από αυτούς που είδατε παραπάνω μέσω του καλύμματος μειώνουν και τις απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το μπροστινό τμήμα του συλλέκτη.

Τα ίδια χαρακτηριστικά με τους συλλέκτες αέρα έχουν και αυτοί που χρησιμοποιούν το νερό σαν εργαζόμενο μέσο. Η διαφορά εμφανίζεται στο πώς το υγρό κυκλοφορεί γύρω από το συλλέκτη. Τα βασικά τμήματα που τους αποτελούν είναι η επιφάνεια συλλογής θερμότητας, οι σωλήνες ροής του ρευστού που είναι κολλημένοι στο συλλέκτη, ένα κάλυμμα και η μόνωση στο πίσω μέρος τους όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4 Τομή ηλιακού συλλέκτη νερού

Ένας άλλος τύπος ηλιακού συλλέκτη νερού δεν έχει καθόλου σωλήνες ροής. Το νερό απλά κυλάει πάνω από το συλλέκτη ο οποίος έχει κάποιου είδους αυλακώσεις. Βέβαια οι σωληνωτοί συλλέκτες είναι γενικά πιο αποδοτικοί αλλά αυτοί χωρίς σωλήνες είναι φθηνότεροι. Στο σημείο αυτό είναι σωστό να σημειωθεί ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτού του είδους των συλλεκτών δεν είναι παρά το πάγωμα του νερού κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το οποίο μπορεί να αποβεί καταστροφικό. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα ο συλλέκτης πρέπει να αδειάσει από το νερό όταν δε χρησιμοποιείται ή να προστεθεί αντιψυκτικό υγρό. Άλλου είδους προβλήματα έχουν να κάνουν με το σκούριασμα ή τρύπημα των σωληνώσεων καθώς και των άλλων μεταλλικών τμημάτων του. Για τους λόγους αυτούς σύν το γεγονός ότι δεν απαιτείται εναλλάκτης θερμότητας τα συστήματα θέρμανσης αέρος είναι προτιμότερα για οικιακές κυρίως χρήσεις.

• ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Παράλληλα ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας που θα εξεταστεί λεπτομερέστερα και πιο κάτω είναι ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη. Αυτός ορίζεται σαν ο λόγος της ωφέλιμης θερμότητας προς το ολικό ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο συλλέκτη. Δηλαδή:

$$\text{Βαθμός απόδοσης συλλέκτη} = \frac{\text{Ωφέλιμο ποσό ηλιακής ενέργειας}}{\text{Ολικό ποσό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο συλλέκτη}}$$

Συνήθως η απόδοση ορίζεται σαν ποσοστό % και εφ' όσον ότι εισέρχεται σε ένα σύστημα πρέπει να εξέρχεται λόγω ισορροπίας η απόδοση μπορεί να οριστεί και σαν το ποσό της εξερχόμενης από το συλλέκτη θερμότητας, που χρησιμοποιείται π.χ για τη θέρμανση μιας κατοικίας, προς την ολική διαθέσιμη. Βέβαια αυτή που θεωρητικά είναι διαθέσιμη μειώνεται λόγω των απωλειών λόγω αγωγής, συναγωγής ακτινοβολίας κ.λ.π. Έτσι όσο περισσότερο περιορίζονται αυτές οι απώλειες τόσο μεγαλύτερη είναι η ωφέλιμη ενέργεια που λαμβάνεται από το συλλέκτη και άρα και η απόδοσή του.

Παράλληλα ο ρυθμός ροής του νερού ή του αέρα στο συλλέκτη μπορεί να επηρεάσει την απόδοση. Εάν το εργαζόμενο μέσο κινείται αργά θερμαίνεται περισσότερο αφού μένει για περισσότερη ώρα στο συλλέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χάνει περισσότερη θερμότητα αφού αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αυτού και του περιβάλλοντός του. Αντίθετα εάν κινείται πολύ γρήγορα μπορεί να μην έρχεται για αρκετή ώρα σε επαφή με το συλλέκτη ώστε να απορροφήσει ένα σεβαστό ποσό θερμότητας. Για το λόγο αυτό υπάρχει μία βέλτιστη ταχύτητα ροής για κάθε τύπο συλλέκτη και για κάθε χρήση. Στο πίνακα 7.1 δίνονται ορισμένες χαρακτηριστικές τιμές απόδοσης για συλλέκτες αέρα.

Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές τιμές απόδοσης ηλιακών συλλεκτών αέρα

ΤΥΠΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ
Πλαστικοί αγωγοί ροής	25%
Γυμνός συλλέκτης	30%
Επικαλυμμένος συλλεκτής	35%
Συλλέκτης με μονό κάλυμμα που αιωρείται	40%
Συλλέκτης με διπλό κάλυμμα που αιωρείται	45%

Πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές αυτές της απόδοσης αναφέρονται στη διάρκεια μιας μέρας δηλαδή το ποσοστό της συνολικά διαθέσιμης το οποίο μπορεί να συλλεχθεί κατά τη διάρκεια μιας μέρας από διαφορετικού τύπου συλλέκτες. Για τους συλλέκτες νερού οι τιμές της απόδοσης είναι συγκρίσιμες.

• ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και μετατροπές που μπορούν να εφαρμοσθούν στους επίπεδους συλλέκτες με γνώμονα τη βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους. Έτσι εάν ο συλλέκτης πρόκειται να λειτουργήσει σε διαφορές θερμοκρασίας υψηλότερες των 50 F μεταξύ του εξωτερικού αέρα και του υγρού του συλλέκτη τότε η προσθήκη ενός επιπρόσθετου καλύμματος μπορεί να αυξήσει την απόδοση του μειώνοντας τις διάφορες απώλειες.

Ωστόσο μέσω αυτής της προσθήκης το κόστος και οι απώλειες λόγω ανάκλασης του γυαλιού ή άλλου υλικού αυξάνονται αισθητά. Έτσι και στη περίπτωση αυτή ένας βέλτιστος αριθμός καλυμμάτων πρέπει να βρεθεί. Συγκεκριμένα για οικιακές χρήσεις δύο επιφέρουν σημαντική βελτίωση της απόδοσης ενώ για χαμηλές θερμοκρασίες ένα είναι αρκετό.

Μία άλλη εναλλακτική λύση είναι και οι επιλεκτικές επιφάνειες απορρόφησης. Στην περίπτωση αυτή ο συλλέκτης υφίσταται μια χημική επεξεργασία ώστε να απορροφά το μεγαλύτερο δυνατό ποσό της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτόν και να ακτινοβολεί όσο γίνεται λιγότερο προς τις γειτονικές επιφάνειες. Βέβαια αυτή η μέθοδος κρίνεται σχετικά ακριβή αλλά ειδικά για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών αυξάνει σημαντικά την απόδοση.

Επίσης ανακλαστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Άλλες μετατροπές μπορούν να γίνουν με το να χρησιμοποιηθεί γυαλί με προσμίξεις από κορούνδιο καθώς και πιο λεπτές σωληνώσεις σε μορφή δικτυώματος.

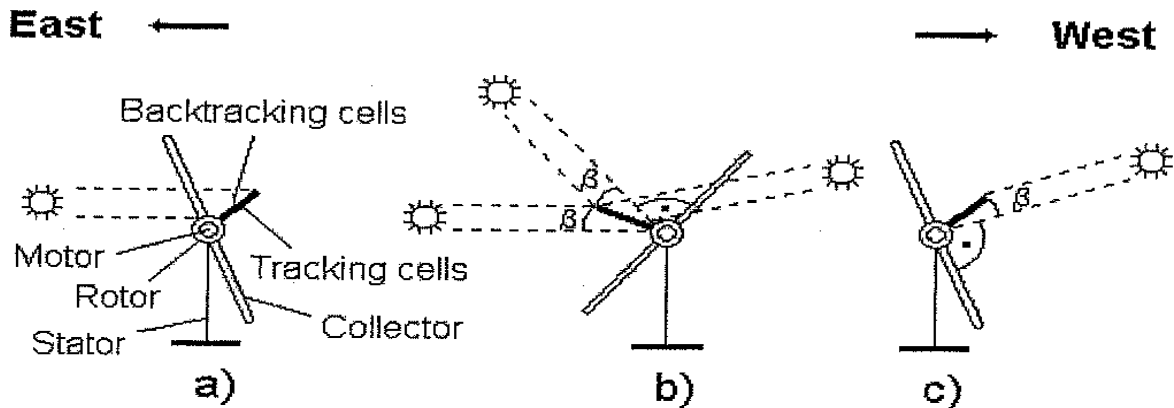


Fig.1 Tracker before sunrise

Fig.2 Tracker after sunrise

Fig.3 Tracker before sunset

Σχήμα 4.5 Σχηματική παράσταση ανιχνευτή ηλιακής ακτινοβολίας – Χαρακτηριστικές θέσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας

Ακόμη μια τεχνική αύξησης του βαθμού απόδοσης ενός συλλέκτη είναι η εγκατάσταση του πάνω σε έναν ανιχνευτή ο οποίος ακολουθεί την κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της μέρας όπως πολύ παραστατικά φαίνεται σχήμα 4.5. Το σύστημα περιλαμβάνει βέβαια και ηλιακούς συσσωρευτές που σκοπό έχουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα που θα κινεί το σύστημα ανίχνευσης.

Πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι οι όποιες βελτιώσεις με σκοπό την αύξηση της απόδοσης θα πρέπει να γίνονται και κάτω από το πρίσμα της ενδεχόμενης αύξησης του κόστους ή των επιπλέον μεταβολών που ενδέχεται να προκαλέσουν στο όλο σύστημα. Συνήθως όσο πιο αποδοτικός είναι ένας συλλέκτης τόσο πιο ακριβός είναι. Ένας λιγότερο αποδοτικός αλλά και ακριβός συλλέκτης μπορεί να αποτελέσει τελικά μια καλύτερη λύση. Όμως με την καθημερινή εμφάνιση νέων σχεδίων κατασκευής και εγκατάστασης το χάσμα μεταξύ απόδοσης και κόστους αδιαμφισβήτητα θα μειωθεί.

• ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Οι ηλιακοί συλλέκτες κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και με πολλούς εναλλακτικούς σχεδιασμούς. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι ικανά να αντέχουν σε ακραίες καιρικές συνθήκες ζέστης και κρύου. Επίσης πλέον πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά που δεν σκουριάζουν ή επιβαρύνονται λόγω της οξύτητας ή αλκαλικότητας του νερού ή του αντιψυκτικού στην περίπτωση συλλεκτών νερού. Όσον αφορά τους συλλέκτες αέρα αυτοί θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί στην απόθεση σκόνης και υγρασίας αλλά και οι επιφάνειες και τα καλύμματα του συλλέκτη να είναι από δύσθραυστα υλικά. Ουσιαστικά ο στόχος κατά το σχεδιασμό ενός συλλέκτη είναι να εξασφαλίζεται μια αποδοτική και οικονομική παραγωγή θερμότητας με τη μικρότερη δυνατή ανάγκη για επισκευή, συντήρηση και αλλαγή των στοιχείων που τον αποτελούν.

Όσον αφορά τα υλικά που συνθέτουν τα στοιχεία κάλυψης του συλλέκτη εδώ κυρίως χρησιμοποιείται το γυαλί τόσο για οικιακές όσο και για βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτό συμβαίνει διότι επιτρέπει την είσοδο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας την οποία και κατά κάποιο τρόπο "φυλακίζει" δημιουργώντας το γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τον τελευταίο καιρό συχνά γίνεται χρήση διπλού τζαμιού του οποίου η διαπεραστικότητα από την ηλιακή ακτινοβολία φτάνει το 87%.

Επίσης πλαστικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται πολλές φορές σαν κάλυμμα για το συλλέκτη. Όμως μόνο λίγοι τύποι από αυτούς που είναι σήμερα διαθέσιμοι μπορούν να αντέξουν τις ακτίνες του ήλιου για περισσότερο από ένα ή δύο χρόνια. Η διαπεραστικότητα τους από την ηλιακή ακτινοβολία φθάνει το 92% αλλά τα πλαστικά καλύμματα δεν συμπεριφέρονται όπως το γυαλί στο να "φυλακίζουν" τη θερμότητα επιτρέποντας στο 30% περίπου της θερμότητας να χαθεί λόγω ακτινοβολίας στο περιβάλλον γύρω από το συλλέκτη. Ωστόσο για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών ή για προσωρινές εγκαταστάσεις συγκεντρώνουν αρκετά πλεονεκτήματα αφού χαρακτηρίζονται από ευκαμψία και αντοχή σε υψηλές καταπονήσεις, είναι ευκολότερο να εγκατασταθούν αλλά και οικονομικότερα από το γυαλί. Όπως και τα γυάλινα καλύμματα αποτελούν ένα εμπόδιο στα φαινόμενα συναγωγής και σε συλλέκτες με δύο καλύμματα το ένα επιλέγεται να είναι γυάλινο ενώ το άλλο πλαστικό. Τον τελευταίο καιρό βέβαια κυρίως χρησιμοποιείται το ινώδες γυαλί που έχει σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά αν εξαιρέσει κανείς τη διαπερατότητα από την ηλιακή ακτινοβολία που είναι μικρότερη από 80% ενώ η αντοχή του είναι αισθητά μεγαλύτερη.

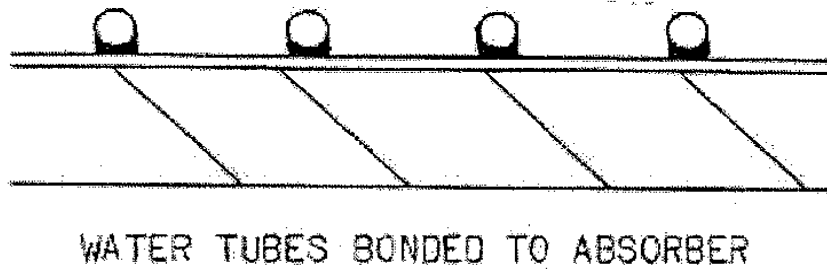
Το κυριότερο τμήμα ενός συλλέκτη είναι η επιφάνεια απορρόφησης αφού από αυτή καθορίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό η απόδοση του συστήματος. Τα επιθυμητα χαρακτηριστικά της είναι να απορροφά όσο γίνεται μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, να έχει μικρές απώλειες προς το περιβάλλον και να μεταφέρει τη θερμότητα με όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση στο εργαζόμενο μέσον.

Εξαιρετικά σημαντικό είναι και το χρώμα της επιφάνειας απορρόφησης. Έτσι μια μαύρη επιφάνεια θα απορροφά περισσότερη ενέργεια από κάθε άλλου χρώματος, αφού έχει μια τιμή απορροφητικότητας που φτάνει το 95% ενώ παράλληλα μειώνει και τα φαινόμενα ακτινοβολίας. Ακόμη είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και επιλεκτικές επιφάνειες που όπως αναφέρθηκε μειώνουν τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλοντα χώρο ενώ ταυτόχρονα απορροφούν το ίδιο ποσό ενέργειας όπως και οι κοινές. Βέβαια για εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών τέτοιες επιλογές δεν συνιστώνται αφού δεν είναι οικονομικές.

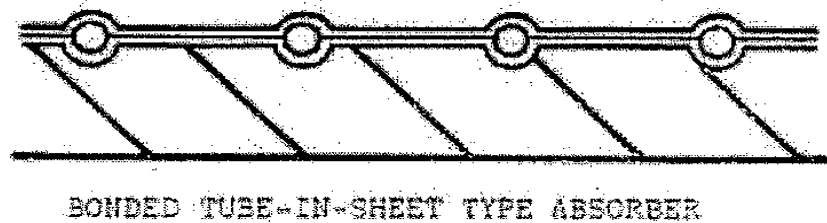
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή αυτών των επιφανειών συλλογής της ηλιακής ενέργειας συνήθως είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο χάλυβας. Από αυτά ο χαλκός είναι ο πιο ακριβός αλλά έχει και τη μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα. Αντίθετα ο χάλυβας είναι ο φθηνότερος με τη μικρότερη όμως θερμική αγωγιμότητα. Κυρίως για τους συλλέκτες νερού η θερμική αγωγιμότητα είναι πολύ σημαντική και γι' αυτό οι σωλήνες ροής κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό.

Επειδή το ποσό της μεταφερόμενης προς το εργαζόμενο μέσον θερμότητας είναι συνάρτηση φαινομένων συναγωγής, ένα εξ' ίσου σημαντικό στοιχείο είναι και ο δεσμός των σωληνώσεων με την επιφάνεια απορρόφησης. Είναι σαφές ότι πρέπει να εξασφαλίζεται μια σωστή επαφή και συνάφεια αλλιώς περιορίζεται η απόδοση, πρόβλημα που εμφανίζεται κυρίως στα υλικά από αλουμίνιο. Στα σχήματα 4.6 και 4.7 που ακολουθούν φαίνονται δύο εναλλακτικές Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

λύσεις όσον αφορά την επαφή των σωλήνων ροής με την επιφάνεια απορρόφησης. Στο πρώτο σχήμα είναι κολλημένοι στο συλλέκτη ενώ στο δεύτερο ένα τμήμα τους βρίσκεται μέσα στην επιφάνεια απορρόφησης.

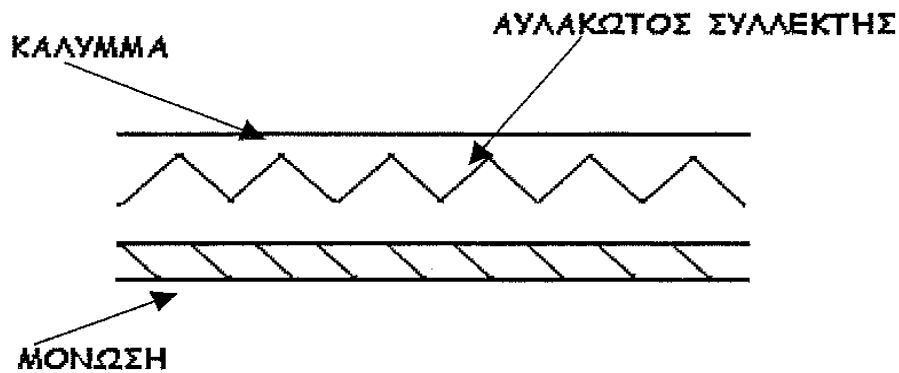


Σχήμα 4.6 Σωλήνες ροής κολλημένοι στο συλλέκτη



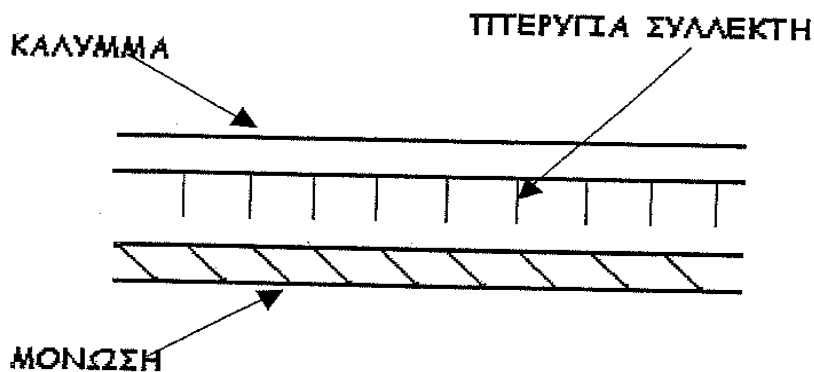
Σχήμα 4.7 Σωλήνες ροής ενσωματωμένοι στο συλλέκτη

Μία τελευταία επιλογή είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 4.8 , η κατασκευή δηλαδή μιας πτυχωτής επιφάνειας απορρόφησης κυρίως σε συλλέκτες αέρα.



Σχήμα 4.8 Απεικόνιση επίπεδου συλλέκτη με πτυχωτή επιφάνεια απορρόφησης

Όπως εύκολα μπορεί να γίνει κατανοητό ο σκοπός της ιδιαίτερης διαμόρφωσης της επιφάνειας απορρόφησης είναι να μεγιστοποιήσει όσο είναι δυνατό το ποσοστό μεταφερόμενης θερμότητας, αυξάνοντας την επιφάνεια εναλλαγής. Για το λόγο αυτό σε κάποιους άλλους τύπους χρησιμοποιούνται και ειδικά πτερύγια σαν αυτά του σχήματος 4.9.



Σχήμα 4.9 Απεικόνιση επίπεδου συλλέκτη με ειδικά πτερύγια για μεγιστοποίηση εναλλασσόμενης θερμότητας

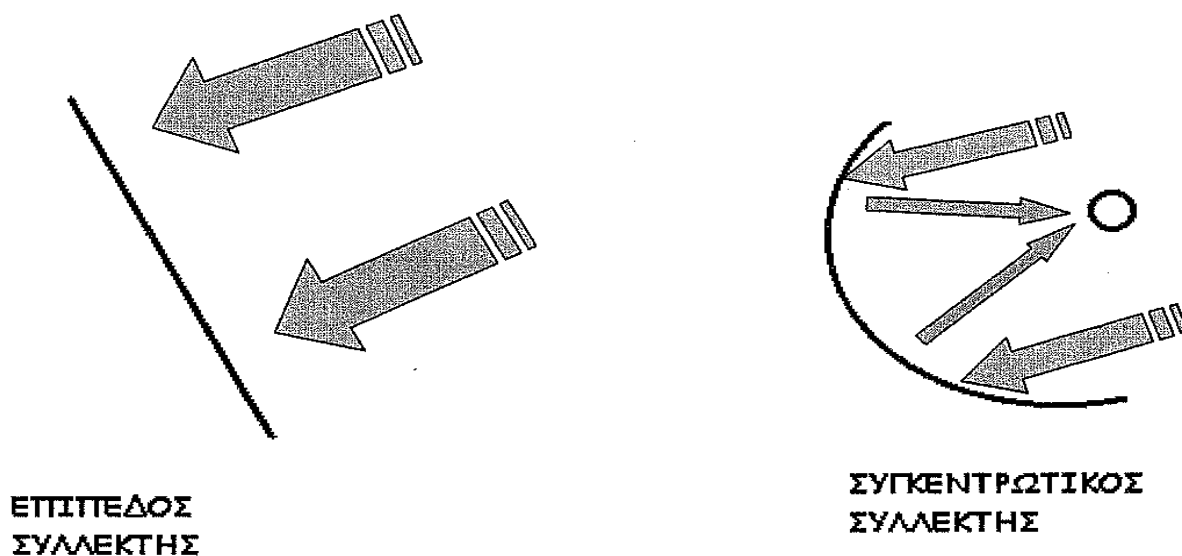
Πρέπει ακόμη να τονιστεί ότι εάν όλη η επιφάνεια του συλλέκτη διαρρέεται από το εργαζόμενο μέσο τότε η αγωγιμότητα της καθίσταται λιγότερο σημαντική αφού ο βασικός μεταφορέας θερμότητας είναι πλέον τα φαινόμενα συναγωγής. Έτσι είναι δυνατόν για συλλέκτες νερού υλικά όπως το ξύλο και το πλαστικό να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των επιφανειών απορρόφησης. Συνήθως δεν λειτουργούν τόσο αποδοτικά όσο τα μέταλλα αλλά είναι αποδεκτά αφού το συνολικό κόστος του συστήματος μπορεί να μειωθεί αισθητά.

Τελειώνοντας θα ήταν σωστό να αναφερθούν και τα υλικά κατασκευής των εξωτερικών τμημάτων ενός συλλέκτη. Εδώ συνήθως συναντώνται μεταλλικά υλικά όπως ο χάλυβας με αντοχή στην οξείδωση, ινώδη γυαλιά ή ακόμη και ξύλινες κατασκευές με αντοχή κατά της υγρασίας. Όλα τα τμήματα του συλλέκτη θα πρέπει να αντέχουν σε θερμικές συστολές και διαστολές ειδικά όμως το γυαλί του οποίου ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι μιάμιση φορά μεγαλύτερος από του χάλυβα και διπλάσιος από αυτόν του ξύλου. Κάτι τέτοιο δεν έχει ιδιαίτερη βαρύτητα για τα τμήματα που είναι κατασκευασμένα από πλαστικό ή ινώδες γυαλί. Και βέβαια μόνωση πρέπει να προστεθεί στις πίσω εκτεθειμένες επιφάνειες του συλλέκτη για να περιοριστούν οι απώλειες προς αυτή τη κατεύθυνση. Στη μελέτη του σχεδιασμού ηλιακού θερμοσίφωνα που ακολουθεί θα παρουσιαστούν αναλυτικά όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή του.

4.3. Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ακτινοβολία ενώ όπως φανερώνει και το όνομά τους μέσω της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας επιδιώκεται αύξηση του βαθμού απόδοσής τους. Ειδικότερα η μορφή και ο σχεδιασμός τους δίνουν τη δυνατότητα συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια συλλογής στο δέκτη με πολλαπλάσια ένταση I_c .

Οι κατασκευαστικές διαφορές ενός επίπεδου συλλέκτη από ένα συγκεντρωτικό φαίνονται στο σχήμα 4.10.



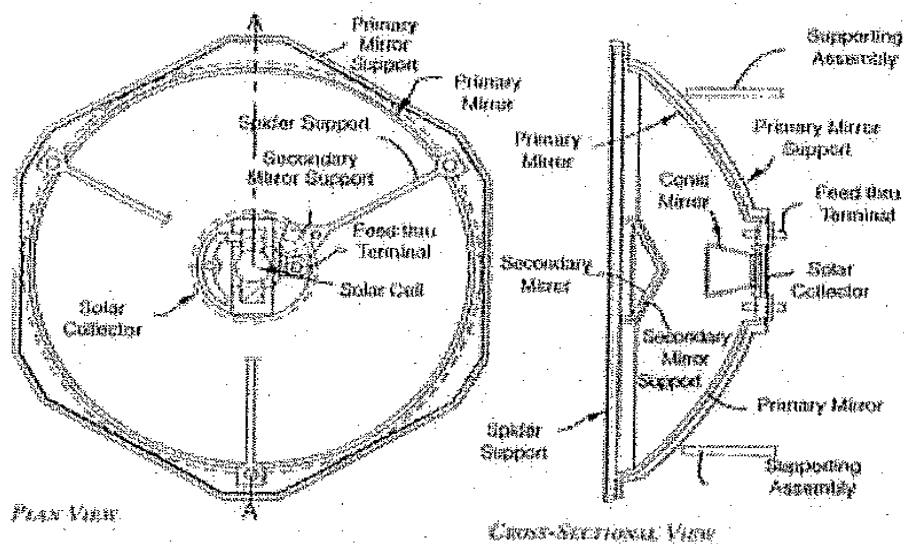
Σχήμα 4.10 Κατασκευαστικές διαφορές επίπεδου και συγκεντρωτικού συλλέκτη

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες διακρίνονται ακόμη σε σημειακής και γραμμικής εστίας ενώ το γεγονός ότι χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία τους καθιστά ακατάλληλους για τα βόρεια κλίματα. Σε όλους τους συλλέκτες αυτού του είδους η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στο δέκτη που έχει κατάλληλο σχήμα και διαστάσεις και από εκεί οδηγείται στην εστία. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκεντρωτικότητα του συλλέκτη σε τόσο μικρότερη επιφάνεια συγκεντρώνεται η απαραίτητη ισχύς και άρα απαιτείται δέκτης μικρότερων διαστάσεων. Κάτι τέτοιο βέβαια σημαίνει σαφώς μικρότερες απώλειες ακτινοβολίας και συναγωγής για ορισμένη θερμοκρασία και άρα υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Αυτό ουσιαστικά είναι και το βασικό πλεονέκτημα των συγκεντρωτικών συλλεκτών ότι δηλαδή λειτουργούν με καλό βαθμό απόδοσης παρέχοντας ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας. Οι συλλέκτες γραμμικής εστίας επιτυγχάνουν θερμοκρασίες έως 300°C ενώ για υψηλότερες απαιτείται σημειακή συγκέντρωση.

Παράλληλα το γεγονός ότι οι συλλέκτες αυτού του είδους χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία καθιστά απαραίτητο το να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Οι σημειακής εστίας απαιτούν οδήγηση γύρω από δύο άξονες ενώ οι γραμμικής εστίας γύρω από τουλάχιστον έναν άξονα. Ανάλογα με κάποια χαρακτηριστικά όπως το είδος της εστίας (γραμμική-σημειακή), το τρόπο κίνησης τους (αριθμός αξόνων), το είδος του δέκτη (κινητός-ακίνητος) καθώς και άλλα, τα τρία κυριότερα είδη των συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών είναι:

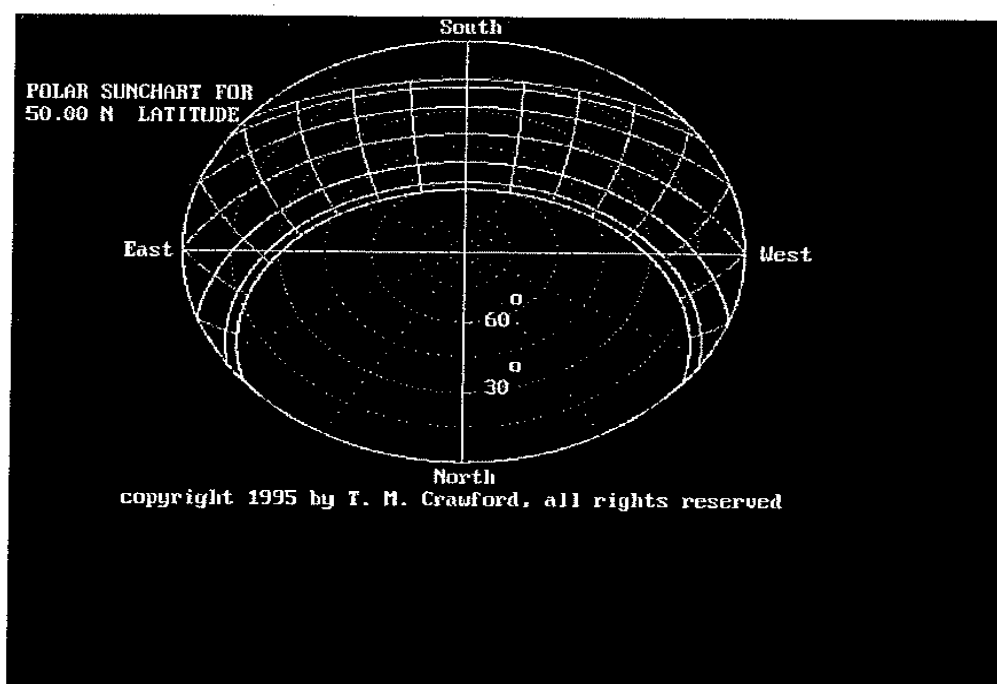
- *Σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης*

Αυτό το είδος του συλλέκτη αποτελείται από παραβολικές επιφάνειες οι οποίες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να συλλαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία και να τη συγκεντρώνουν σε ένα σωλήνα κενού. Η όψη και η πλάγια τομή ενός τέτοιου συλλέκτη φαίνεται στο σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11 Όψη και τομή σύνθετου παραβολικού συγκεντρωτικού συλλέκτη

Οι συγκεντρώσεις αυτού του τύπου συλλεκτών κυμαίνονται από 2 έως 6 ενώ για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απαιτείται αλλαγή του προσανατολισμού του τουλάχιστον μια φορά το μήνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η λειτουργία γίνεται ως εξής: Η προσπίπτουσα ακτινοβολία συλλέγεται από τη κοίλη, σφαιρική επιφάνεια και ξαναεστιάζεται στο δεύτερο καθρέπτη. Η σχηματιζόμενη καμπυλότητα του δεύτερου καθρέπτη είναι αυτή που δίνει στο συγκεντρωτικό συλλέκτη τη δυνατότητα να συλλαμβάνει και να κατευθύνει την ακτινοβολία στο ηλιακό κύτταρο με μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα επιτυγχάνοντας με το τρόπο αυτό υψηλές θερμοκρασίες. Μπορεί ακόμη να συμπληρωθεί ότι η λειτουργία και κυρίως η απόδοση ενός τέτοιου συγκεντρωτικού ηλιακού συστήματος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση ενός γραφήματος το οποίο παρουσιάζει τη διαδρομή του ήλιου στον ουρανό κατά τη διάρκεια όλου του έτους (Σχήμα 4.12). Παρόλο που η διαδρομή αλλάζει από μέρα σε μέρα και ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος η θέση του ήλιου κάθε ώρα, οποιαδήποτε μέρα του χρόνου είναι απολύτως προβλέψιμη. Το γεγονός αυτό καθιστά τη χρήση του απαραίτητη για το σχεδιασμό οποιουδήποτε παθητικού ηλιακού συστήματος.

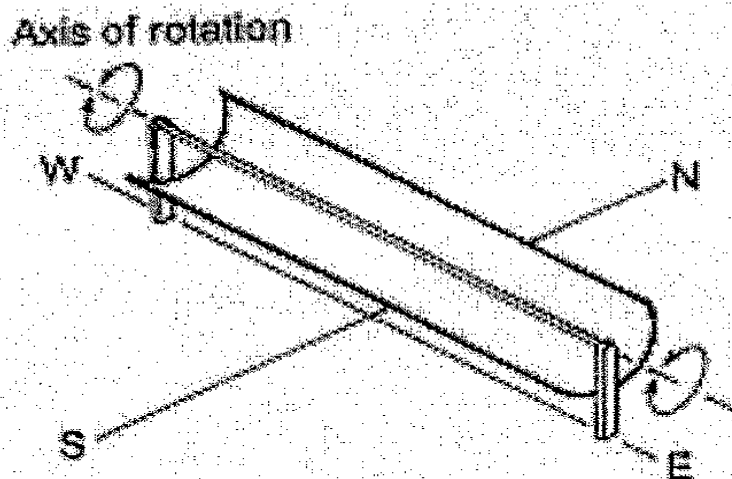


Σχήμα 4.12 Διάγραμμα διαδρομής του ήλιου στον ουρανό κατά τη διάρκεια του έτους

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι τα ακόλουθα:

- Αυξάνουν την προσλαμβανόμενη ωφέλιμη ηλιακή ενέργεια.
 - Εξασφαλίζουν εύκολη εγκατάσταση και λειτουργία χωρίς απαιτήσεις σε ιδιαίτερες ρυθμίσεις.
 - Επιτυγχάνουν υψηλή συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας σε όλη τη διάρκεια της μέρας, από νωρίς το πρωί έως αργά το βράδυ.
 - Οικονομικά συστήματα σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προσφέρουν αλλά και γρήγορη απόσβεση των χρημάτων αγοράς.
- *Οδηγούμενος σε έναν άξονα παραβολικός συλλέκτης*

Ο τύπος αυτός του συλλέκτη αποτελείται από ένα κυλινδρικό ανακλαστήρα ο οποίος συγκεντρώνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο δέκτη που είναι ένας γυάλινος σωλήνας κενού ή απλός με μόνωση όμως στη πάνω πλευρά. Ένας συλλέκτης τέτοιου τύπου παριστάνεται στο *σχήμα 4.13* όπου διακρίνονται και οι πιθανοί άξονες περιστροφής. Το μήκος και το άνοιγμα αυτών των συλλεκτών ποικίλει αν και η μεταβολή των διαστάσεων αυτών δεν επιδρά σημαντικά στην απόδοσή τους.



One-axis tracking parabolic trough with axis oriented east-west

Σχήμα 4.13 Σχηματική παράσταση οδηγούμενου σε έναν άξονα παραβολικού συλλέκτη

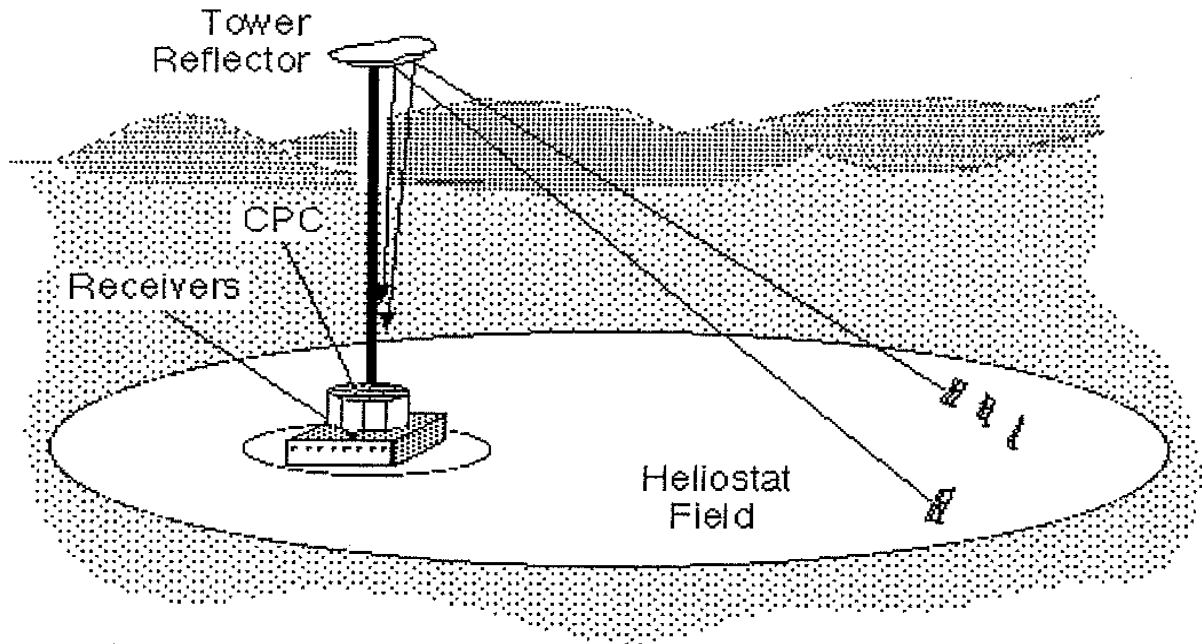
Αν και το κόστος των συλλεκτών αυτών σήμερα είναι αρκετά μεγάλο υπάρχει η δυνατότητα σημαντικών μειώσεων του στο μέλλον καθώς απαιτούνται λιγότερα υλικά απ' ότι στους επίπεδους συλλέκτες (γυάλινες επιφάνειες, μόνωση) ενώ τα κύρια στοιχεία κόστους του είναι ο ανακλαστήρας και ο μηχανισμός καθοδήγησης. Ωστόσο το γεγονός ότι δεν αξιοποιούν την διάχυτη ακτινοβολία τους καθιστά σε μειονεκτικότερη θέση από τους επίπεδους συλλέκτες αφού γίνονται ακατάλληλοι για βόρεια κλίματα.

- *Σύστημα κεντρικού πύργου*

Στη περίπτωση που είναι επιθυμητή η ανάπτυξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών (>500 °C) τότε τη λύση δίνει το σύστημα κεντρικού πύργου. Αυτό περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό

ανεξάρτητα οδηγούμενων ανακλαστήρων (ηλιοστάτες) οι οποίοι κατευθύνουν ανάλογα την ανακλώμενη ακτινοβολία σε ένα κεντρικό δέκτη ο οποίος είναι τοποθετημένος στη κορυφή ενός πύργου. Οι θερμοκρασίες που είναι δυνατόν να επιτευχθούν με τη μέθοδο αυτή μπορούν να φθάσουν και τους 1000°C .

Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο *σχήμα 4.14*. Είναι σωστό να συμπληρωθεί ότι τέτοια συστήματα επειδή λειτουργούν μόνο μέσω της άμεσης ακτινοβολίας συχνά υποστηρίζονται και από γεννήτρια καυσίμου η οποία πολλές φορές λειτουργεί συνέχεια κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 4.14 Εγκατάσταση συστήματος κεντρικού πύργου για παραγωγή ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας

Μετά από τη παραπάνω καταγραφή των διαφόρων χαρακτηριστικών των επίπεδων και συγκεντρωτικών συλλεκτών μπορεί να γίνει μία απ' ευθείας σύγκρισή τους. Βέβαια σε καμία περίπτωση μετά από μία τέτοια διαδικασία δε μπορεί να καταλήξει κανείς σε ολοκληρωτικά συμπεράσματα όσον αφορά τη καλύτερη λύση. Όπως σε όλα τα συστήματα τα οποία μελετά ο μηχανικός έτσι και εδώ κάθε μία περίπτωση οφείλει να αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και μετά από αναλυτική στάθμιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εκάστοτε περίπτωσης να επιλέγεται η βέλτιστη λύση. Γι' αυτό στο παρακάτω *πίνακα 4.2* παρατίθενται ουσιαστικά κάποια από τα από τα βασικά σημεία που κάνουν αυτά τα συστήματα συλλογής ενέργειας ξεχωριστά.

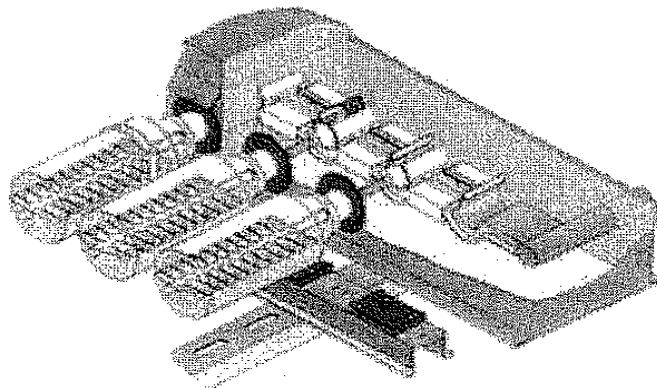
Μία πρώτη εικόνα που μπορεί να σχηματίσει κανείς είναι ότι οι επίπεδοι συλλέκτες είναι εν γένει φθηνότεροι και πιο προσιτοί εμπορικά από το ευρύ κοινό. Ωστόσο τα συγκεντρωτικά συστήματα εμφανίζονται πολύ πιο αποδοτικά και αν αναλογιστεί κανείς ότι το κόστος τους επιδέχεται σημαντικές μειώσεις μπορούν εύκολα στο άμεσο μέλλον να τα επίπεδα συστήματα.

Πίνακας 4.2 Συγκριτικός πίνακας επίπεδων και συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
Επιφάνεια συλλογής των ηλιακών συλλεκτών ίση με την επιφάνεια απορρόφησής του.	Επιφάνεια συλλογής των ακτίνων πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια συγκέντρωσής τους.
Λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (<150°C)	Λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες (>200 °C)
Μεγάλο ποσοστό απωλειών, χαμηλή θερμική απόδοση	Μικρότερες απώλειες, υψηλή θερμική απόδοση.
Αξιοποίηση ολικής ακτινοβολίας	Αξιοποίηση μόνο της άμεσης ακτινοβολίας
Όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την αντοχή και ποιότητα των υλικών	Απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες
Απλή τεχνολογία, λειτουργία και κατασκευή	Υψηλή τεχνολογία και πολύπλοκη κατασκευή
Όχι κινούμενα μέρη	Υπαρξη μηχανισμών παρακολούθησης της κίνησης του ήλιου
Χαμηλό κόστος κατασκευής	Υψηλό κόστος κατασκευής
Μικρό κόστος συντήρησης	Μεγάλο κόστος συντήρησης
Μικρή ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες	Ευπάθεια κυρίως των μεγάλων εγκαταστάσεων στους ανέμους, κρύο κλπ.

ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΕΝΟΥ

Όπως αναφέρθηκε μία τρίτη εναλλακτική λύση ηλιακής συλλογής είναι οι σωλήνες κενού οι οποίοι εκμεταλλεύονται την ολική ακτινοβολία. Αυτοί αποτελούνται από μαύρο γυαλί που είναι τοποθετημένο στο εσωτερικό άλλου προστατευτικού γυαλιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεταξύ τους συνθηκών κενού που ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας και συναγωγής ενώ εάν γίνει και χρήση κατάλληλου εξωτερικού καλύμματος είναι δυνατόν να περιοριστούν και οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας. Στην εικόνα 7.1 που ακολουθεί φαίνονται οι σωλήνες κενού σαν τμήμα του συστήματος θέρμανσης.

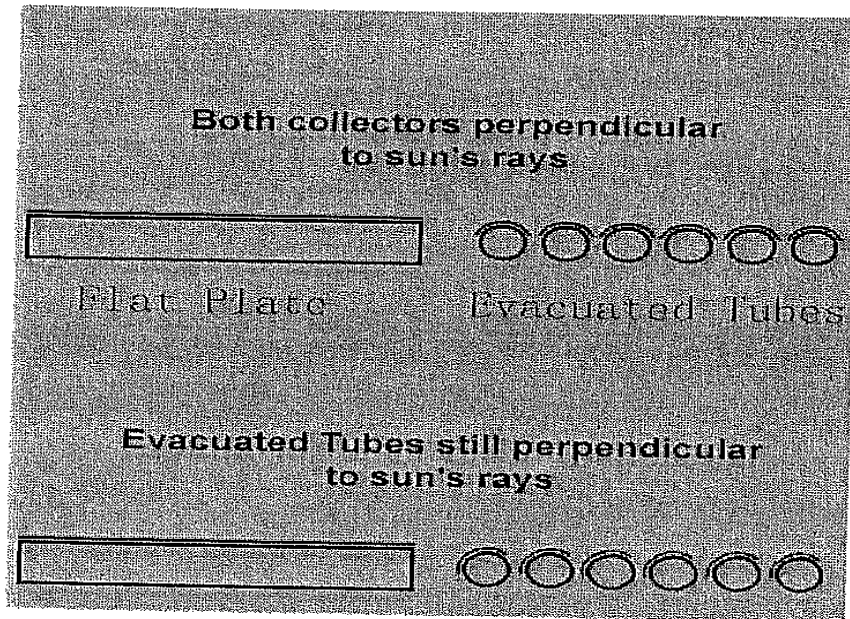


Εικόνα 4.1 Ηλιακός συλλέκτης σωλήνων κενού

Είναι σωστό να σημειωθεί ότι ένα σύστημα με σωλήνες κενού συμπεριφέρεται επαρκώς σε περιόδους κατά τις οποίες επικρατεί νέφωση ή χαμηλές θερμοκρασίες. Ακόμη η κατασκευή τους μέσω της δημιουργίας κενού εξαλείφει τις αρνητικές επιδράσεις των καιρικών συνθηκών όπως η υγρασία στα υλικά που μειώνουν τη διάρκεια ζωής τους.

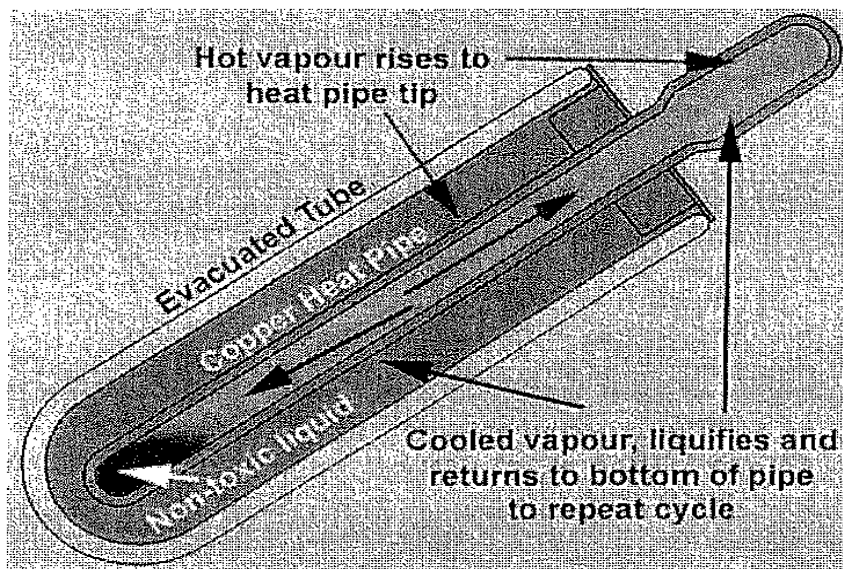
Τα βασικά σημεία στα οποία πλεονεκτούν οι σωλήνες κενού έναντι των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι τα παρακάτω:

- Εφ' όσον οι σωλήνες είναι κυκλικοί οι ακτίνες του ήλιου "χτυπούν" την επιφάνεια των σωλήνων υπό δεξιές γωνίες μειώνοντας έτσι τα φαινόμενα ακτινοβολίας.
- Εάν ο συλλέκτης είναι επίπεδος το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που "χτυπά" το συλλέκτη είναι μέγιστο το μεσημέρι όταν ο ήλιος είναι ακριβώς πάνω από το συλλέκτη. Τις υπόλοιπες ώρες η ακτίνες προσπίπτουν υπό κάποια γωνία με αποτέλεσμα ο συλλέκτης να εκτείνεται σε μικρότερο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα το κυκλικό σχήμα των σωλήνων κενού καθιστά το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτούς σχεδόν σταθερό από το πρωί έως το απόγευμα. Ακόμη ο ήλιος "χτυπά" συνέχεια τους σωλήνες υπό μια γωνία που είναι συνεχώς κάθετη στην επιφάνειά τους μειώνοντας έτσι τα φαινόμενα ακτινοβολίας όπως δείχνει και το *σχήμα 4.15* που ακολουθεί.



Σχήμα 4.15 Συγκριτική απεικόνιση γωνίας πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας σε σωλήνες κενού και σε επίπεδο συλλέκτη

Ένας άλλος τύπος σωλήνων κενού περιλαμβάνει επιπλέον στο εσωτερικό του σωλήνα κενού ένα χάλκινο σωλήνα. Ο χάλκινος σωλήνας στο οποίο το εσωτερικό ρέει νερό θερμαίνεται λόγω των γνωστών φαινομένων από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στους σωλήνες κενού. Κατόπιν η θερμότητα αυτή μεταφέρεται λόγω συναγωγής από το χάλκινο σωλήνα προς το νερό πετυχαίνοντας τη θέρμανση του. Ένας τέτοιος σωλήνας κενού φαίνεται στην *εικόνα 4.2*.



Εικόνα 4.2 Σωλήνας κενού με επιπλέον εσωτερικό χάλκινο σωλήνα

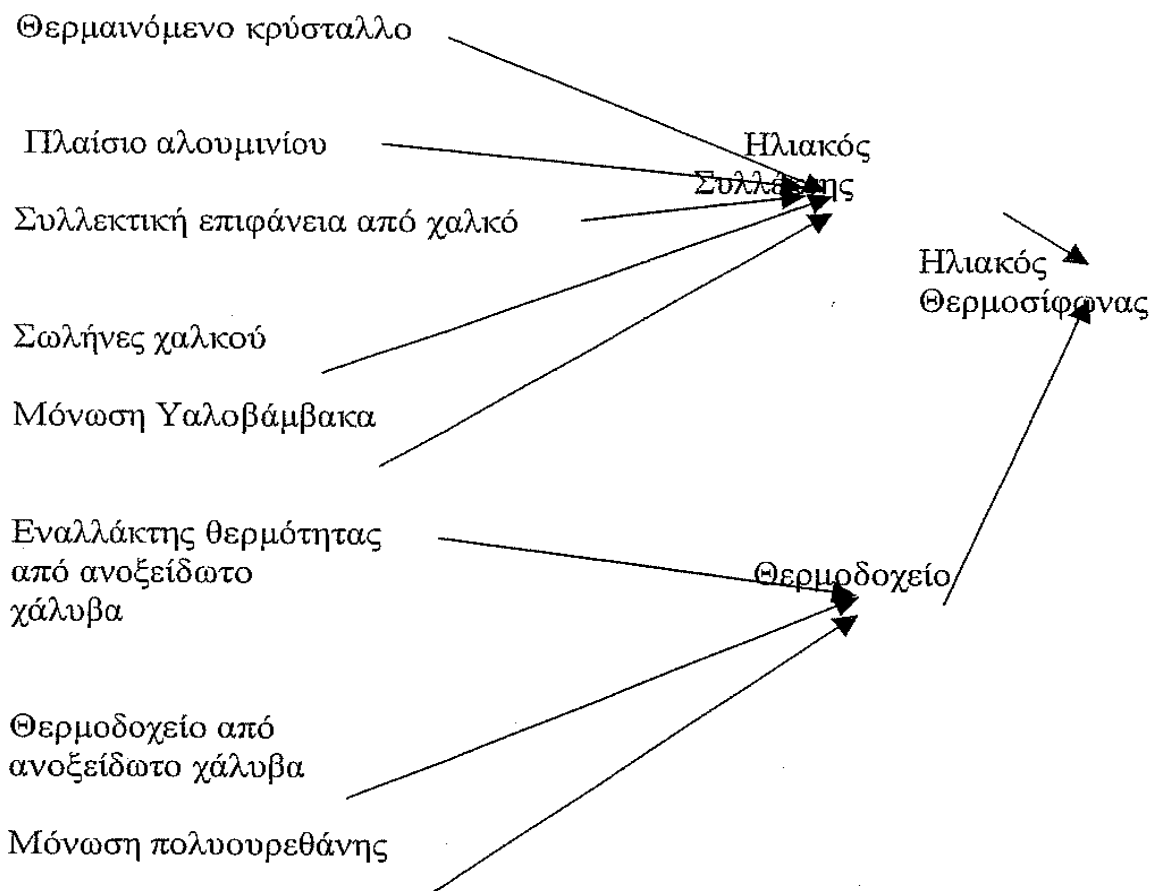
Στο σημείο αυτό ακολουθεί ο πίνακας 4.3 με τα κυριότερα χαρακτηριστικά των σωλήνων κενού θέρμανσης που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο από αμερικάνικη εταιρεία.

Πίνακας 4.3 Ενδεικτικές τιμές διαφόρων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των σωλήνων κενού

Μήκος	1500mm
Εξωτερική διάμετρος σωλήνων	47mm
Εσωτερική διάμετρος σωλήνων	37mm
Πάχος γυαλιού	1.6mm
Θερμική διαστολή	$3.3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$
Υλικό	Borosilicate Glass 3.3
Απορροφητικό γυαλί	Graded Al-N/Al
Απορροφητικότητα	>92% (AM1.5)
Έκπομπή	<8% (80°C)
Κενό	$P < 5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$
Θερμοκρασία	>200°C
Απώλεια θερμότητας	<0.8W/ (m ² °C)
Μέγιστη αντοχή	0.8MPa
Εγγύηση	5 years

Στις μέρες μας η χρήση των σωλήνων κενού επεκτείνεται από την απλή θέρμανση νερού έως το κλιματισμό εσωτερικών χώρων ή την ψύξη ηλεκτρονικών υπολογιστών (CPU cooling).

Ένα απλοϊκό διάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα βασικά στοιχεία ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι αυτό του σχήματος 4.16. Το πρόγραμμα Gemis στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση κύκλου ζωής θα κάνει χρήση ενός τέτοιου αναλυτικού γραφήματος με τις ακριβείς ποσότητες των υλικών.



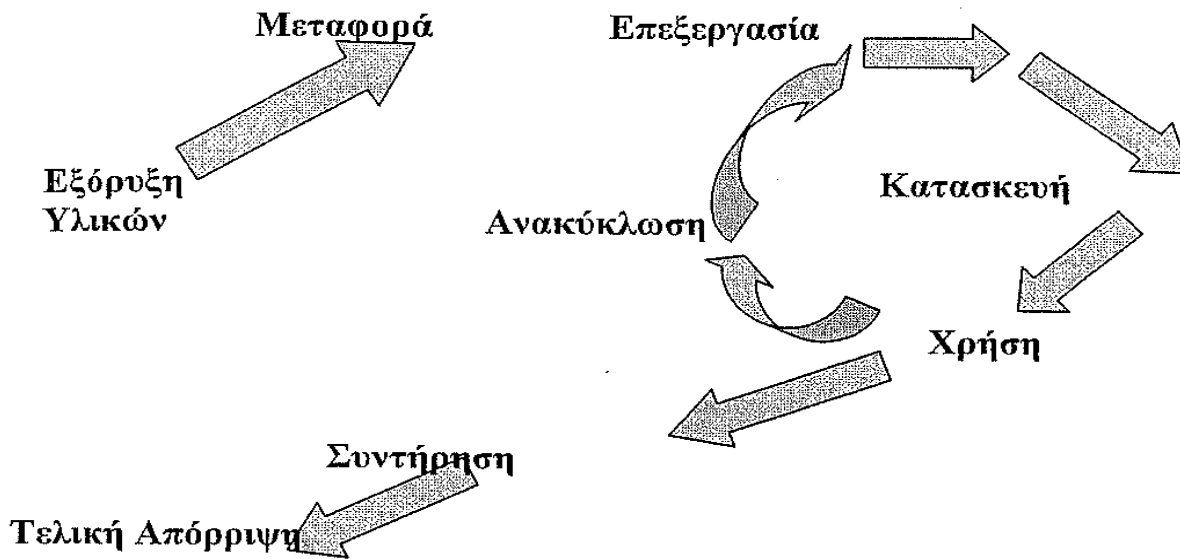
Σχήμα 4.16 Αναλυτικό διάγραμμα περιγραφής στοιχείων ηλιακού θερμοσίφωνα

4.4. Εφαρμογή ανάλυσης κύκλου ζωής σε ηλιακό θερμοσίφωνα

Για να γίνει μία μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής θα χρησιμοποιηθεί ένα από τα προγράμματα που κυκλοφορούν στην αγορά. Ο τρόπος λειτουργίας αυτών των προγραμμάτων έχει ως εξής. Αρχικά γίνεται μία ποιοτική και ποσοτική καταγραφή των υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή του υπό εξέταση προϊόντος. Κατόπιν μέσω της βάσεως δεδομένων που περιέχεται στο πρόγραμμα επιλέγονται τα αντίστοιχα υλικά αλλά και η περιοχή προέλευσής τους.

Κατόπιν το πρόγραμμα επεξεργάζεται αυτά τα στοιχεία και κάνοντας κάποιες υποθέσεις καταλήγει σε ποσοτικά αποτελέσματα όσον αφορά τους εκπεμπόμενους ρύπους που προκύπτουν από τη παραγωγή του προϊόντος. Σαφώς και οι υποθέσεις που γίνονται ενδέχεται να δημιουργούν κάποιο σφάλμα το οποίο όμως βρίσκεται μέσα σε αποδεκτά όρια.

Μία απλοική γραφική παράσταση του κύκλου ζωής ενός ηλιακού θερμοσίφωνα θα περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια που φαίνονται στο σχήμα 4.17.



Σχήμα 4.17. Κύκλος ζωής ηλιακού θερμοσίφωνα

Στο σημείο αυτό θα ήταν σωστό να γίνει και μία αναφορά των βασικών υλικών που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή ενός ηλιακού θερμοσίφωνα. Τα στοιχεία που συνθέτουν την εγκατάσταση είναι ο συλλέκτης και το θερμοδοχείο. Όσον αφορά τον ηλιακό συλλέκτη τα κύρια υλικά του είναι το γυαλί, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο υαλοβάμβακας και κάποια εξαρτήματα από ελαστικό ή πλαστικό. Παράλληλα για τη κατασκευή του θερμοδοχείου χρησιμοποιούνται υλικά όπως ο χάλυβας, το αλουμίνιο και η πολυουρεθάνη σαν μονωτικό. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω πρέπει να εκφραστούν σε $\text{Kg/MW}_{\text{ζεστού νερού}}$. Για το λόγο αυτό θα ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία μετατροπής. Πιο συγκεκριμένα θεωρείται μία μέση διαφορά θερμοκρασίας νερού εισόδου εξόδου $\Delta T=30\text{K}$ και γνωρίζοντας ότι $c_{p,\text{νερού}}=4,184 \text{ KJ/kg}$ θα ισχύει ότι:

$$\Delta H = mc_p \Delta T \text{ και τελικά } \Delta H = 125,52 \text{ kJ/kg}$$

Παράλληλα θεωρείται ότι η μέση κατανάλωση μίας οικογένειας κατά τη διάρκεια μίας μέρας σε ζεστό νερό, ανέρχεται στα $200 \text{ lt/day} = 200 \text{ kg/day}$ οπότε η συνολική ενέργεια Q με μορφή θερμότητας που λαμβάνεται από τον ηλιακό θερμοσίφωνα θα δίνεται από το γινόμενο $m\Delta H$.

Δηλαδή $Q = m\Delta H$ οπότε $Q = 25104 \text{ kJ/day}$ και επειδή $1\text{W} = 1 \text{ J/s}$ θα έχουμε ότι

$$Q := \frac{25104 \text{ kJ}}{24 \cdot 3600 \text{ s}}$$

οπότε

$$Q = 0,2905 \text{ KW} = 0,2905 \cdot 10^{-3} \text{ MW}$$

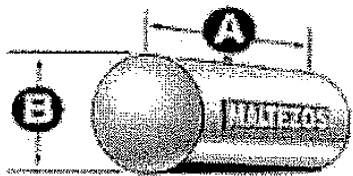
Κατά συνέπεια οι ποσότητες των διαφόρων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του ηλιακού θερμοσίφωνα παρουσιάζονται στον πίνακα 11.1.

Είναι σωστό να αναφερθεί ότι οι ποσότητες αυτές των υλικών αναφέρονται σε έναν ηλιακό θερμοσίφωνα μεσαίου μεγέθους και συγκεκριμένα χωρητικότητας 125 λίτρων. Τα βασικά τμήματά του είναι ο συλλέκτης και το θερμοδοχείο. Οι διαστάσεις θερμοδοχείου και ηλιακού συλλέκτη παρουσιάζονται στα σχήματα 4.18 και 4.19.

Πίνακας 4.4. Ποσότητες υλικών κατασκευής ηλιακού θερμοσίφωνα

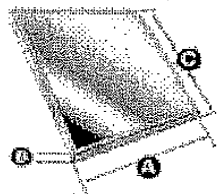
ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΕ KG	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΕ kg/MW _{ζεστού νερού}
Θερμαινόμενο γυαλί	12	$41,3 \cdot 10^3$
Χαλκός	5,30	$18,24 \cdot 10^3$
Αλουμίνιο	11	$37,856 \cdot 10^3$
Χάλυβας	40	$137 \cdot 10^3$
Πολυουρεθάνη	7	$24,096 \cdot 10^3$
Υαλοβάμβακας	5	$17,21 \cdot 10^3$
Ελαστικό /Στεγανωτικό EPDM	2	$6,88 \cdot 10^3$

Χωρητικότητα 125 λίτρα, A=106,5cm , B=52cm



Σχήμα 4.18 Διαστάσεις θερμοδοχείου

A= 107cm , C=150cm , B=9cm



Σχήμα 4.19 Διαστάσεις ηλιακού συλλέκτη

Έχοντας υπολογίσει τις ποσότητες αυτών των υλικών και εισάγοντας τες στο πρόγραμμα εξάγονται συμπεράσματα για τις εκπομπές ρύπων. Ειδικότερα μπορούν να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με τους ρύπους που ευνοούν την ανάπτυξη φαινομένων όξινης βροχής και ευτροφισμού στο νερό και στον αέρα. Ακόμη γίνεται καταγραφή της παραγωγής καρκινογόνων ρύπων και ρύπων που ευνοούν τη δημιουργία του φαινομένου θερμοκηπίου, την καταστροφή όζοντος αλλά και καταγραφή της παραγωγής βαρέων μετάλλων. Επίσης τα αποτελέσματα σχετικά με τους ρύπους εκφράζονται σε kg ανά TJ ζεστού νερού.

Πιο συγκεκριμένα προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα όσον αφορά τις ποσότητες των εκπεμπομένων ρύπων.

Πίνακας 4.5. Εκπομπές υγρών ρύπων σε Kg

P	0
N	2,5219 *10 ⁻⁶
CO ₂	12638,21696
CH ₄	37,08140108
N ₂ O	0,363817951
HFC-23	0
HFC-32	0
HFC-43-10mee	0
HFC-125	0
HFC-134	0
HFC-134a	0
HFC-152a	0
HFC-143	0
HFC-143a	0
HFC-227	0
HFC-236	0
HFC-245	0
SF ₆	0
Perfluoromethane	0,110250117
Perfluoroethane	0,013855865
Perfluoropropane	0
Perfluorobutane	0
Perfluoropentan	0
AOX	8,46408*10 ⁻⁶
COD	39,28127921
BOD5	1,20833818
Ανόργανα άλατα	65,83935467

Πίνακας 4.6. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε Kg**Πίνακας 4.7. Εκπομπές στερεών ρύπων σε Kg**

Στάχτη	478,9219462
Στερεό υπόλοιπο FGD	32,09362948
Ακαθαρσίες/Λάσπη	0,704680028
Υπολείμματα παραγωγής	8949,108748
Άχρηστα υλικά	25888,96356

Λίπασμα	0
Κοπριά	0

Τέλος οι εκπομπές αέριων ρύπων που προέρχονται από τη διεργασία κατασκευής του ηλιακού θερμοσίφωνα παρουσιάζονται στο *πίνακα 4.8*.

Πίνακας 4.8. Εκπομπές αέριων ρύπων σε Kg

TOPP	123,6395798	CO	72,49970948
SO ₂	96,51436482	NMVOC	2,57044181
NO _x	33,30486337	H ₂ S	9,25661*10 ⁻⁶
HCl	2,48630886	NH ₃	0,182303515
HF	0,0666199452	As	9,56891*10 ⁻⁵
Σωματίδια	20,13683247	Cd	5,35135*10 ⁻⁵
Cr	0,000386382	Ni	0,000375096
Hg	0,000118269	Pb	0,002431791

Τελικά μετά από επεξεργασία προέκυψαν τα αποτελέσματα του *πίνακα 4.9* όσον αφορά τις επιδράσεις των εκπεμπομένων ρύπων στο περιβάλλον.

Πίνακας 4.9. Ποσοτική επίδραση εκπεμπομένων ρύπων στη ρύπανση του περιβάλλοντος

Κατηγορία	Κανονικοποίηση	Αποτίμηση	Ολική επίδραση	Ολική αποτίμηση
Φαινόμενο θερμοκηπίου	0,0000742	2,5	13144,34322	2,438275667
Καταστροφή όζοντος	1,24	100	0	0
Οξείνιση	0,00888	10	123,4243707	10,96008412
Ευτροφισμός στον αέρα	0,0262	5	4,389792398	0,575062804
Ευτροφισμός στο νερό	0,0262	5	0,060161219	0,00788112
Βαρέα μέταλλα	17,8	5	0,00936	0,833218
Καρκινογόνα	106	10	0,00017587	0,1864222
Χειμερινός καπνός	0,0106	5	96,51436	5,11526108
Θερινός καπνός	0,0507	2,5	1,328874	0,16843478
Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωνά			Σύνολο	20,28463977

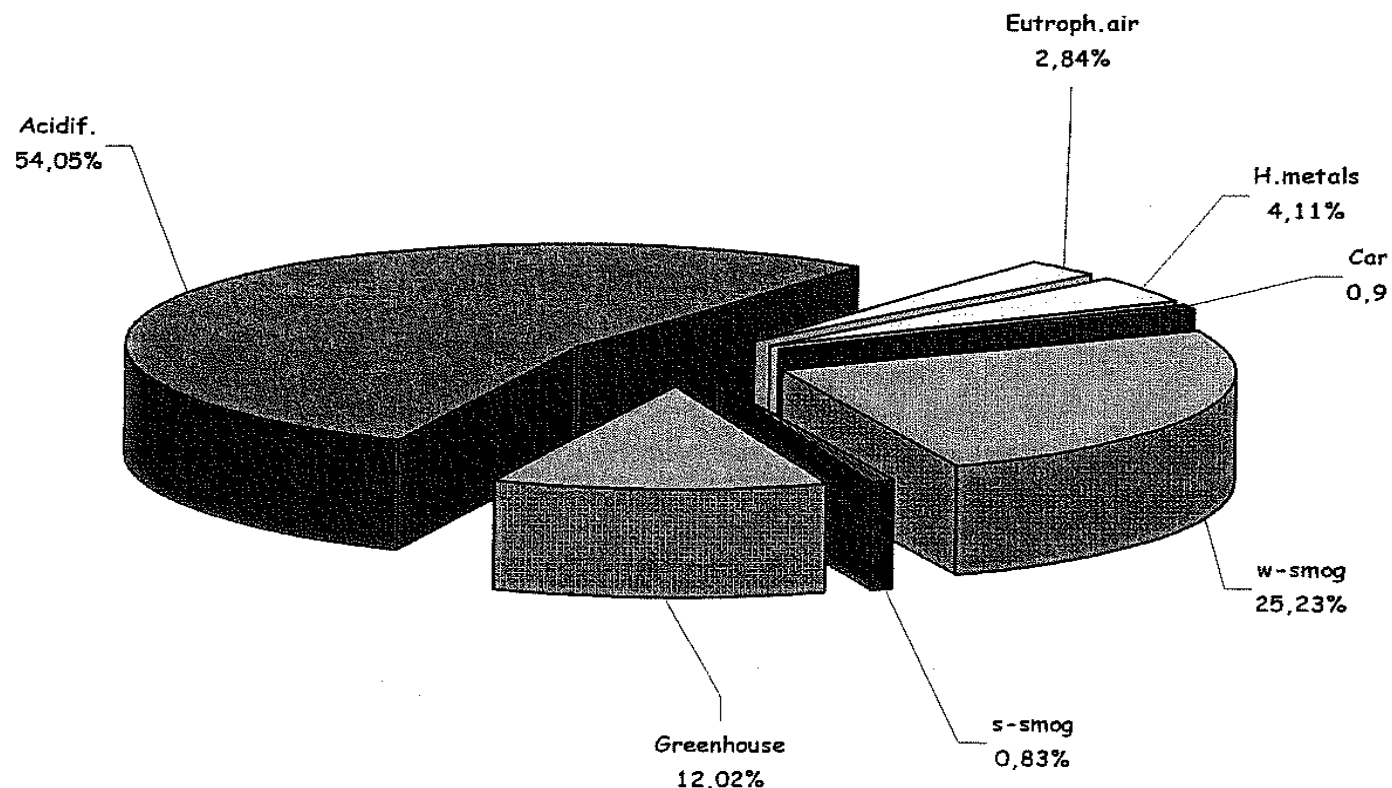
Είναι σωστό να γίνει κάποια επεξήγηση των συμβόλων και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη κατασκευή του παραπάνω πίνακα. Πιο συγκεκριμένα οι όροι "Κανονικοποίηση" και "Αποτίμηση" αναφέρονται σε κάποιους συντελεστές με τους οποίους πρέπει να πολλαπλασιαστεί η ποσότητα των εκπεμπομένων ρύπων. Δηλαδή η τελική ποσότητα εκπεμπομένων ρύπων προκύπτει ως Ολική αποτίμηση = Κανονικοποίηση*Αποτίμηση*Ολική επίδραση.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η επίδραση των διαφόρων ρύπων αλλά και να φανεί καλύτερα η συνεισφορά τους συνηθίζεται να εκφράζεται ο καθένας ξεχωριστά ως ποσοστό σε σχέση με την ολική ποσότητα και να παριστάνονται σε κατάλληλο γράφημα. Τα αντίστοιχα ποσοστά παρουσιάζονται στο πίνακα 4.10. Η συνολική ποσότητα των εκπεμπομένων ρύπων προκύπτει απλά ως άθροισμα των επιμέρους και η τιμή της φαίνεται στο τέλος του πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.10. Ποσοστό επιμέρους ρύπου στη συνολική ποσότητα

Κατηγορία	Ποσοστό %
Φαινόμενο θερμοκηπίου	12%
Καταστροφή όζοντος	0%
Οξείνιση	54%
Ευτροφισμός στον αέρα	3%
Ευτροφισμός στο νερό	0%
Βαρέα μέταλλα	4%
Καρκινογόνα	1%
Χειμερινός καπνός	25%
Θερινός καπνός	1%

Με βάση το πίνακα 4.10 μπορεί να κατασκευαστεί το γράφημα του σχήματος 4.20. που δίνει πιο παραστατικά μία εικόνα όσον αφορά την επίπτωση του κάθε ρύπου.



Σχήμα 4.20. Γραφική απεικόνιση ποσοστού επιμέρους ρύπων με βάση τη συνολική ποσότητα

4.5 Συμπεράσματα ανάλυσης κύκλου ζωής

Μέσω της παραπάνω μελέτης και κυρίως βάση του γραφήματος του σχήματος 4.20 είναι εύκολο να εξαχθούν κάποια ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά τους παραγόμενους ρύπους και τις επιπτώσεις τους στη διάρκεια της ζωής του ηλιακού θερμοσίφωνα. Πιο συγκεκριμένα, όπως ήταν και φυσιολογικό βέβαια η βασική επίπτωση στο περιβάλλον εκφράζεται μέσω της οξείνισης (acidification) αφού συγκεντρώνει ποσοστό πάνω από 50%.

Ρύποι τέτοιας μορφής που προκαλούν φαινόμενα οξείνισης της ατμόσφαιρας έχουν σαν βασικό συστατικό τους το θείο(S). Κατά συνέπεια η δημιουργία και εκπομπή τους σχετίζεται κυρίως με φαινόμενα καύσης. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η παραγωγή θείου από τη κατανάλωση καυσίμων, όπως πετρελαίου για τη μεταφορά των υλικών.

Η αμέσως επόμενη επίδραση στο περιβάλλον, με βάση πάντα τα ποσοστά που προέκυψαν από τη μελέτη έχει να κάνει με τη παραγωγή χειμερινού νέφους (w-smog). Η δημιουργία αυτού του φαινομένου προέρχεται κυρίως από την εκπομπή σωματιδίων ενώ και αυτή με τη σειρά της σχετίζεται με διεργασίες καύσης. Έτσι η ενδεχόμενη καύση λιγνίτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την επεξεργασία των πρώτων υλών, συνεπάγεται την δημιουργία τέτοιων ρύπων.

Οι παραπάνω εκπομπές σε σύγκριση πάντα με τα ποσοστά τους στη συνολικά εκπεμπόμενη ποσότητα ρύπων συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Όπως ήταν αναμενόμενο άλλωστε αν και σε μικρό ποσοστό ευνοείται και η δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, λόγω π.χ παραγωγής CO₂ ή άλλων συγγενών ρύπων. Ακολουθεί η εκπομπή βαρέων μετάλλων στον αέρα, φαινόμενα ευτροφισμού καθώς και η παραγωγή θερινού νέφους σε μικρότερα όμως ποσοστά.

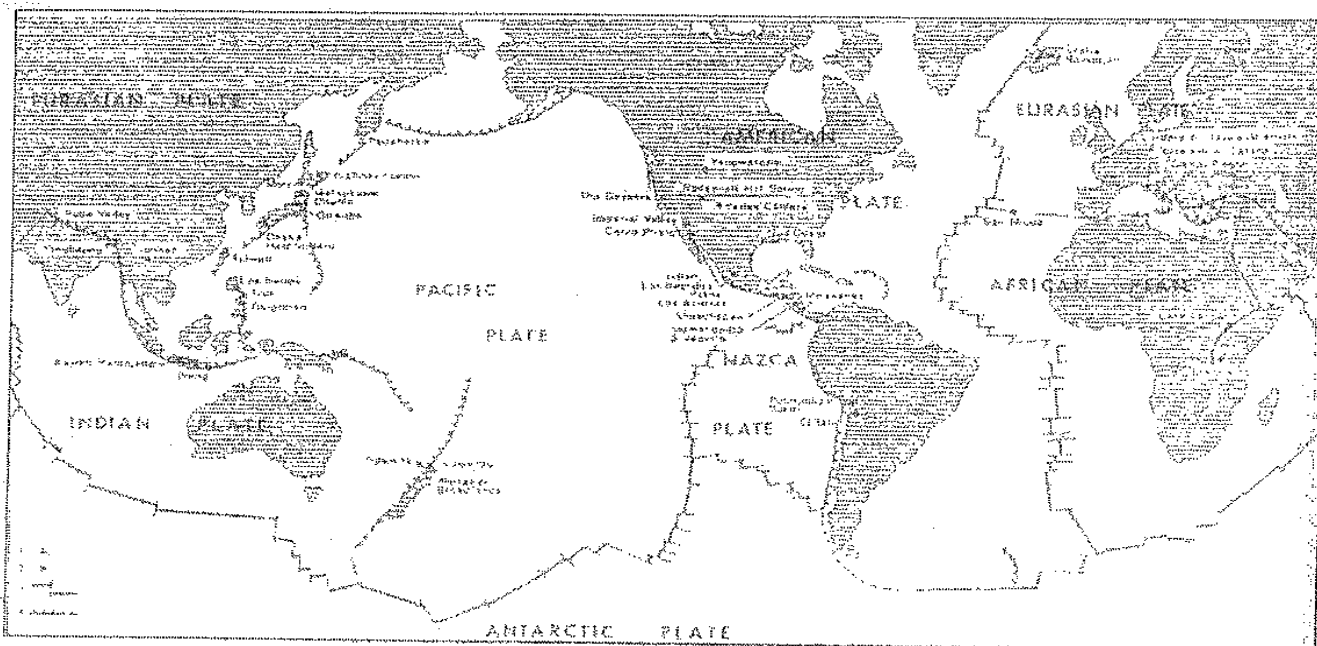
Όπως αναφέρθηκε η καταγραφή των επιπτώσεων από τη παραγωγή ενός προϊόντος δεν είναι παρά ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια της εκάστοτε βιομηχανίας. Από εκεί και πέρα η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων μίας τέτοιας ανάλυσης είναι εκείνη που μπορεί να φέρει αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα αφού γίνει η καταγραφή των ρύπων και των ενδεχόμενων επιπτώσεών τους είναι απαραίτητο να αναζητηθούν και οι πηγές εκπομπής τους. Μία ορθή περιβαλλοντική πολιτική από τη πλευρά μίας βιομηχανίας θα προβλέπει τη κατά το δυνατό μείωση των εκπομπών συγκεκριμένων ρύπων μέσω κάποιας αλλαγής στο πρόγραμμα παραγωγής. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν είναι απαραίτητο να σημαίνει ραγδαίες μεταβολές στη γραμμή παραγωγής αλλά ούτε και πολλά έξοδα. Έτσι για παράδειγμα η χρησιμοποίηση περισσότερων ανακυκλώσιμων υλικών αφενός βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας και πρώτων υλών με άμεση συνέπεια το περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων και αφετέρου συντελεί στη μείωση των εξόδων μίας βιομηχανίας επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση κάποιας ποσότητας ύλης.

5. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

5.1. Γενικά

Η θερμότητα αποτελεί ασφαλώς μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. Όμως με τον όρο “γεωθερμική ενέργεια” εννοούμε συνήθως το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με την μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, περιορίζεται στα πρώτα χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης και μπορούμε να το εκμεταλλευτούμε. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται σε μια γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (geothermal area ή field) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια. Ως γεωθερμική χρήση αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών, είτε αυτά ρέουν φυσικά, είτε βγαίνουν στην επιφάνεια μέσω γεώτρησης.

Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (geyser), θερμές πηγές και ατμίδες. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας είναι γνωστός ως “γεωθερμική βαθμίδα”. Η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5-70 °C/km, με μέση τιμή τους 30 °C/km. Περιοχές με θεωρητικά γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Τέτοιες περιοχές είναι πολλές στον πλανήτη μας και οι περισσότερες βρίσκονται στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. Τα όρια των λιθосφαιρικών πλακών.

Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που αναφέρονται στους μηχανισμούς που συμμετέχουν στην παραγωγή της. Επικρατέστερη θεωρείται αυτή που αναφέρεται στη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου, του θορίου, του καλίου και άλλων στοιχείων. Η μάζα της γης είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνειά της και καλύπτεται από υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η θερμότητά της να συγκρατείται στο εσωτερικό της.

Ο ρυθμός θερμικών απωλειών από την επιφάνεια του πλανήτη μας είναι πολύ μικρός, περίπου $8 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$. Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος, η μέση δε γεωθερμική βαθμίδα στις ηπείρους για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι 30 °C/km, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 30 °C. Σε πολύ μεγάλα βάθη, η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή.

Στα όρια μεταξύ μανδύα και φλοιού, στην ασυνέχεια Mohorovičić, πιστεύεται ότι η θερμοκρασία φτάνει στους 6000 °C, ενώ στο κέντρο της γης στους 60.000 °C. Φαίνεται ότι η

παραγωγή θερμότητας από ραδιενεργά ισότοπα είναι συγκεντρωμένη περισσότερο στο φλοιό παρά στον πυρήνα, με αποτέλεσμα η γεωθερμική βαθμίδα να μειώνεται με το βάθος.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να εξαχθεί αποτελεσματικά από τέσσερις διαφορετικούς τύπους γεωλογικών σχηματισμών, οι οποίοι είναι: **hydrothermal, geoprussurized, hot dry rock και magma**. Κάθε ένας από αυτά τα διαφορετικά αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτούνται διαφορετικές τεχνικές εξαγωγής και επεξεργασίας για την κάθε περίπτωση.

Τα *hydrothermal* περιέχουν ζεστό νερό και/ή ατμό παγιδευμένο σε πορώδη ή διαπερατά πετρώματα, από ένα στρώμα αδιαπέραστου πετρώματος και είναι η πιο κοινή πηγή άντλησης γεωθερμικών ρευστών παγκόσμια.

Τα *geopressured*, αποτελούνται από σχηματισμούς, όπου μέσης θερμοκρασίας αλμόλοιπα είναι παγιδευμένα σε ένα αδιαπέραστο πέτρωμα, υπό υψηλές πιέσεις. Αυτά τα αλμόλοιπα, συχνά εμπεριέχουν διαλυμένο μεθάνιο, το οποίο μπορεί θεωρητικά να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Τα *hot dry rock* (HDR), είναι γενικά θερμά αδιαπέραστα πετρώματα σε αρκετά ρηχά βάθη (<3000m), ώστε να είναι προσιτά. Για να απάγουμε θερμότητα από τέτοιους σχηματισμούς, θα πρέπει το πέτρωμα να έχει κάποια οπή και να αναπτυχθεί ένα σύστημα κυκλοφορίας του ρευστού. Πάρα το γεγονός ότι τα HDR είναι θεωρητικά απεριόριστα σε όλο τον κόσμο, μόνο αυτά που βρίσκονται σε χαμηλά βάθη έχουν προς το παρόν οικονομική σκοπιμότητα.

Τέλος, η τελευταία πηγή γεωθερμικής ενέργειας είναι το *magma*, που είναι μερικώς λιωμένα πετρώματα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (>600°C).

Θεωρητικά, το παγκόσμιο γεωθερμικό δυναμικό, είναι τεράστιο. Υπάρχει αρκετή θερμότητα στον πυρήνα της Γης για να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες για εκατοντάδες χρόνια. Δυστυχώς, το μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας, βρίσκεται σε τέτοια βάθη κάτω από την επιφάνεια, που είναι ή υπερβολικά πολυέξοδο ή ακόμα και αδύνατο να έχουμε πρόσβαση.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι η γεωθερμική ενέργεια που εκμεταλλευόμαστε αυτή τη στιγμή, περιορίζεται σε περιοχές, όπου η θερμότητα βρίσκεται σε χαμηλά βάθη, κοντά στην επιφάνεια, όπως για παράδειγμα η περιοχή "The Geysers" στην California όπου παράγονται 1.866 εκατομμύρια Watt ηλεκτρισμού. Άλλες περιοχές με εκτεταμένη χρήση γεωθερμικής ενέργειας είναι η Rotorua του Reykjavik στην Ισλανδία όπου ρηχοί ταμιευτήρες υπόγειου ατμού αντλούνται για την παροχή θέρμανσης και ζεστού νερού σε πολλά κτίρια. Σε όλες τις περιπτώσεις, κάθε ταμιευτήρας από τον οποίο αντλείται θερμότητα, τελικά θα ψυχθεί έως ότου δεν θα είναι πλέον χρήσιμος. Αυτό θα οδηγήσει στη δημιουργία νέων ή βαθύτερων γεωτρήσεων, αυξάνοντας το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά: μία πηγή θερμότητας, ένα ταμιευτήρα και το ρευστό, το οποίο είναι ο φορέας της θερμότητας. Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι είτε μία μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600 °C), η οποία έφτασε σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km), είτε η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ουσιαστικά ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από τα οποία τα κυκλοφορούντα ρευστά απάγουν θερμότητα. Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, μετεωρικής προέλευσης τις περισσότερες φορές, σε υγρή ή σε αέρια φάση, κάτι που εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία και συχνά περιέχει διαλυμένες στερεές ουσίες και αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια, εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών μας σε ενέργεια. Οι χρήσεις και οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία συναντάται σε αρκετές περιοχές της γης, ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις αγροτικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση σιτηρών), τη θέρμανση οικιών, τη δημιουργία ψύξης κλπ. Η περιοχή των θερμοκρασιών των θερμών νερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτείνεται από τους 20 °C (για θέρμανση χώρων με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας) μέχρι τους 280 °C (για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος). Επιπλέον, αρκετά γεωθερμικά ρευστά εκτός από τη θερμότητα τους περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

ποσότητες στερεών ή αέριων ουσιών (κοινό αλάτι, διοξείδιο του άνθρακα, πολύτιμα μέταλλα), τα οποία μπορούν να ανακτηθούν με οικονομικό τρόπο.

Τα φυσικά θερμά ρευστά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά, κυρίως για της θεραπευτικές τους ιδιότητες, αλλά σπάνια για της ενεργειακές δυνατότητές τους. Προφανώς έλειπαν οι μεγάλες ποσότητες ρευστών, που παράγονται με την τεχνολογία των γεωτρήσεων, αφού αυτές εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά μόλις τον προηγούμενο αιώνα. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές επέτρεψαν τον τελευταίο κυρίως αιώνα την απόληψη της θερμικής ενέργειας. Πράγματι, οι ποσότητες των ρευστών που καταφέρνουν να φθάνουν από μόνα τους στην επιφάνεια είναι πάρα πολύ μικρές σε σύγκριση με εκείνα που είναι εγκλωβισμένα στο υπέδαφος και “περιμένουν” τις γεωτρήσεις για να ανέβουν, μέσα από τις οπές τους, είτε με τη δική τους πίεση είτε ύστερα από άντληση.

Στη σύγχρονη εποχή η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας, όπου από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα χρησιμοποιήθηκε υπέρθερμος ατμός για την παραγωγή βορικού οξέως (με εξάτμιση των νερών που περιείχαν σημαντικές ποσότητες του οξέως) και για την θέρμανση κτηρίων. Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση της γεωθερμίας για θέρμανση χώρων ξεκίνησε στην Ισλανδία. Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της Ισλανδίας (και ολόκληρη η πόλη του Reykjavik) θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά.

Ενώ το δυναμικό της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο (αλλά και στην Ελλάδα) είναι σημαντικό, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στο να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά αυτό το δυναμικό. Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να είναι **τεχνικής φύσεως** (διάβρωση, δημιουργία επικαθίσεων), **περιβαλλοντικής φύσεως** (εκπομπές τοξικών αερίων, θερμική ρύπανση) και **οικονομικής φύσεως**. Οι οικονομικοί περιορισμοί παίζουν σπουδαίο ρόλο σε κάθε προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Γενικά είναι πιθανότερη η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές, αστικές ή αγροτικές περιοχές, ή όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους.

Μπορεί να λεχθεί ότι η χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοημένη γεωθερμικά και τα τελευταία 20 χρόνια έχει γίνει (κυρίως από το ΙΓΜΕ, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) συστηματική έρευνα για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων. Η Ελλάδα μαζί με την Ιταλία είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας, δηλαδή περιοχές στις οποίες μπορούν να παραχθούν ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C, τα οποία χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης η χώρα μας διαθέτει πληθώρα περιοχών, κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, με θερμοκρασίες ταμιευτηρίων που ξεπερνούν τους 90 °C (σχήμα 2).

5.2. Χρήσεις γεωθερμίας

Οι χρήσεις της γεωθερμίας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** και σε **άμεσες χρήσεις** (electrical and direct uses), δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά στο πίνακα 1, στο λεγόμενο **διάγραμμα Lindal** (1973). Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.

Πίνακας 5.1. Διάγραμμα Lindal.

Θερμ. (°C)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
250-	
200-	
180-	Εξάτμιση πυκνών διαλυμάτων. Ψύξη με απορρόφηση αμμωνίας. Χρήση στη βιομηχανία χάρτου.
170-	Παραγωγή βαρέας ύδατος με τη μέθοδο του H ₂ S
160-	Ξήρανση ξυλείας
150-	Παραγωγή αλουμίνιας με τη μέθοδο Bayer.
140-	Ξήρανση γεωργικών προϊόντων - κονσερβοποιία.
130-	Εξάτμιση στη βιομηχανία ζάχαρης. Απόληψη σλότων με εξάτμιση. Νερό απεσταγμένο.
120-	Εξάτμιση-συμπύκνωση διαλυμάτων.
110-	Ξήρανσητσιμεντένικων στοιχείων.
100-	Ξήρανση οργανικών υλικών, φυκιών, λαχανικών κ.α. Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού.
90-	Ξήρανση φάριων. Διαργασίες απόψυξης.
80-	Θέρμανση χώρων.
70-	Ψύξη (χαμηλότερη όριο).
60-	Καθαρισμός κτηνοτροφικών μονάδων. Θέρμανση θερμοκηπίων.
50-	Λουτροθεραπεία. Καλλιέργεια μανιταριών.
40-	Θέρμανση χώματος (για καλλιέργειες).
30-	Βιοσποικοδόμηση. Ζυμώσεις, Κολυμβητήρια. Χρήση σε μεταλλεία.
20-	Ιχθυοκαλλιέργειες

Κορεσμένες στιβές

Θερμό νερό

Παραγωγή ηλεκτρισμού με συμβατικό τρόπο

Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανερχόταν το 2000 στα 16200MWt (πίνακας 2), σημειώνοντας αύξηση κατά 87% σε σχέση με το 1995. η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε 5 εκατ. τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά έτος. Συγκριτικά σημειώνεται ότι εξοικονομούνται περίπου 20 εκατ. ΤΙΠ ανα έτος από την αξιοποίηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αν και η συνολική εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς για άμεσες χρήσεις είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις το 0.1%), για μερικές χώρες ο ρόλος της γεωθερμίας είναι σημαντικός. Έτσι για την Ουγγαρία το 85% των θερμοκηπίων λαχανικών και το 45% των θερμοκηπίων λουλουδιών θερμαίνονται με γεωθερμικά ρευστά.

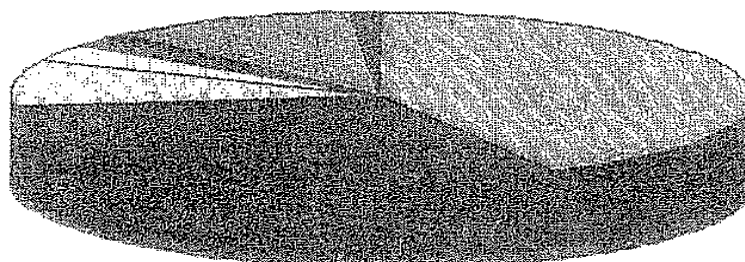
Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στο χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναπτυχθεί σχεδόν αποκλειστικά στην Ιταλία και στη Γαλλία και το είδος των χρήσεων ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, ενώ στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, με τάση αύξησης των χρήσεων θέρμανσης χώρων. Στην υπόλοιπη Ευρώπη η Ισλανδία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στην αξιοποίηση της γεωθερμίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται για την θέρμανση θερμοκηπίων ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι ολόκληρη η πόλη του Reykjavik θερμαίνεται με δευτερογενές ζεστό νερό που μεταφέρεται από απόσταση 30km. Το 65% της αξιοποιημένης γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και στην Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων. Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανομή των διαφόρων χρήσεων δίνεται στο σχήμα 2.

Πίνακας 5.2. Η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας το 2000.

	Παραγωγή ηλεκτρισμού		Άμεσες Χρήσεις	
	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh
Αιθιοπία	8,5	30		
Αλγερία			100	441
Αργεντινή			26	125
Αυστρία			255	1610
Βουλγαρία			107	455
Γαλλία	4,2	25	326	1360
Γερμανία			397	436
Γεωργία			250	1752
Γουατεμάλα	33	215		
Ελ Σαλβαντόρ	161	800		
Ελβετία			547	663
Ελλάδα			57	107
ΗΠΑ	2228	15470	5366	5640
Ιαπωνία	547	3532	258	1621
Ινδία			80	700
Ινδονησία	590	4575		
Ιορδανία			153	428
Ισλανδία	170	1138	1469	5603
Ισραήλ			63	476
Ιταλία	785	4400	326	1048
Καναδάς			377	284
Κένυα	45	367		
Κίνα	29	100	2814	8724
Κοσταρικό	143	592		
Κροατία			114	555
Μεξικό	755	5680	104	1089
Νέα Ζηλανδία	437	2268	310	1967
Νικαράγουα	70	583		
Ουγγαρία			328	785
ΠΑΓΜ			81	142
Πολωνία			69	76
Πορτογαλία	16	94		
Ρουμανία			152	797
Ρωσία	23	85	307	1703
Σερβία			80	660
Σλοβακία			132	88
Σλοβενία			42	196
Σουηδία			377	1147
Τουρκία	20	120	820	4377
Τυνησία	-	-	20	48
Φιλανδία			80	134
Φιλιππίνες	1909	9181		
Σύνολο	7980	49256	16211	45006

Αντλίες θερμότητας	42,3%
Θέρμανση χώρων	30,6%
Θερμοκήπια	8,5%
Υδατοκαλλιέργειες	3,2%
Βιομηχ. Χρήσεις	3,0%
Λουτροθεραπεία	11,1%
Άλλες χρήσεις	1,3%

- Αντλίες θερμότητας
- Θερμοκήπια
- Βιομηχ. Χρήσεις
- Άλλες χρήσεις
- Θέρμανση χώρων
- Υδατοκαλλιέργειες
- Λουτροθεραπεία



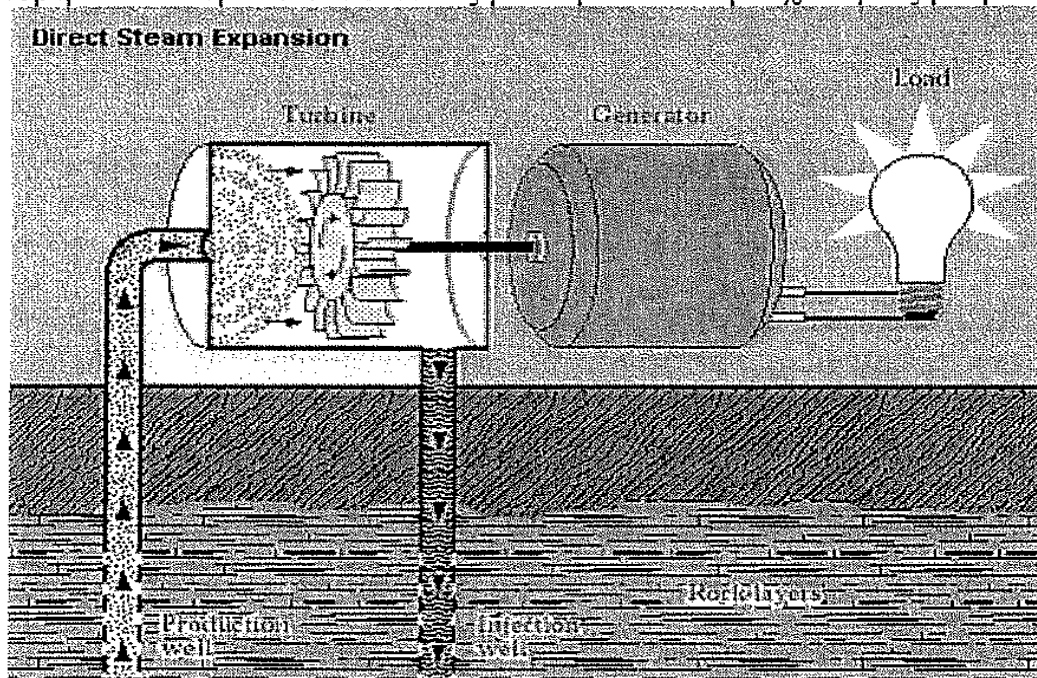
Σχήμα 5. 2. Παγκόσμια κατανομή των διαφόρων χρήσεων της γεωθερμίας.

Όσον αφορά το κόστος εκμετάλλευσης, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται συνήθως από υψηλό κόστος κεφαλαίου (έρευνα και ανάπτυξη πεδίων), ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι για την ανόρυξη των γεωτρήσεων, χρησιμοποιείται η τεχνολογία γεωτρήσεων πετρελαίου.

5.3. Τύποι μονάδων

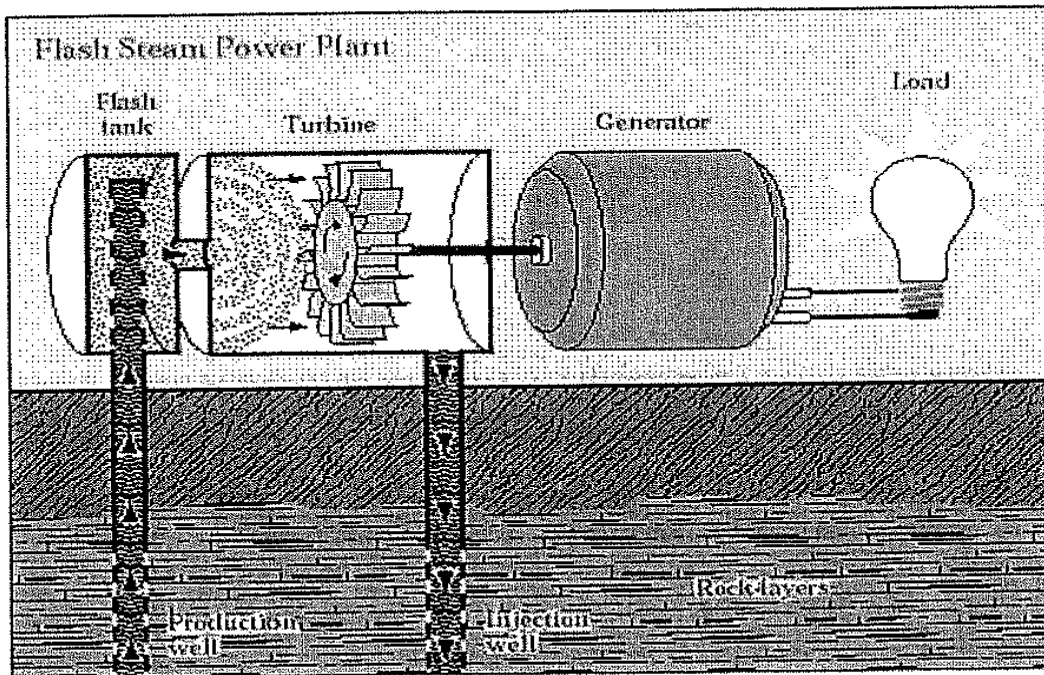
Ο τύπος της μονάδας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου (ξηρός ατμός, διφασικό ρευστό) και από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών (π.χ. ποσοστό μη συμπυκνώσιμων αερίων στο σταθμό). Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα είναι:

- a) *Απευθείας Χρησιμοποίηση του Ατμού (Direct Steam Expansion, σχήμα 3)*. Είναι ο απλούστερος τύπος γεωθερμικής μονάδας και ο τύπος που απαιτεί το μικρότερο κόστος κεφαλαίου. Εφαρμόζεται συνήθως με σχετικά καθαρό γεωθερμικό ατμό. Συνοπτικά, ατμός από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις οδηγείται κατευθείαν σε ένα στρόβιλο χωρίς καμία επεξεργασία. Η μονάδα μπορεί να έχει συμπυκνωτή (condensing type), ή όχι (back pressure type), ανάλογα με την περιεκτικότητα του ατμού σε μη συμπυκνώσιμα αέρια. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι ο τύπος χωρίς συμπυκνωτή παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερη απόδοση από ότι ο τύπος με συμπυκνωτή. Έχει όμως μικρότερο κόστος.



Σχήμα 5.3. Απευθείας χρησιμοποίηση του ατμού.

- b) *Εκτόνωση Διφασικού Ρευστού (Flash Condensing, σχήμα 4)*. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που έχουμε νερό σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Στον τύπο αυτόν, το γεωθερμικό ρευστό εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από τη πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης. Έτσι παράγεται διφασικό μίγμα που διαχωρίζεται και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο. Αν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού ρευστού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά (dual flashing) ή και περισσότερες φορές (multistage flashing), ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, που θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Σημειώνεται επίσης ότι για γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλατότητας (Μήλος, Salton Sea) ψεκάζεται ο ατμός με νερό πριν από το στρόβιλο για να απομακρυνθούν οι ποσότητες των αλάτων που συμπαρασύρονται με τον ατμό.



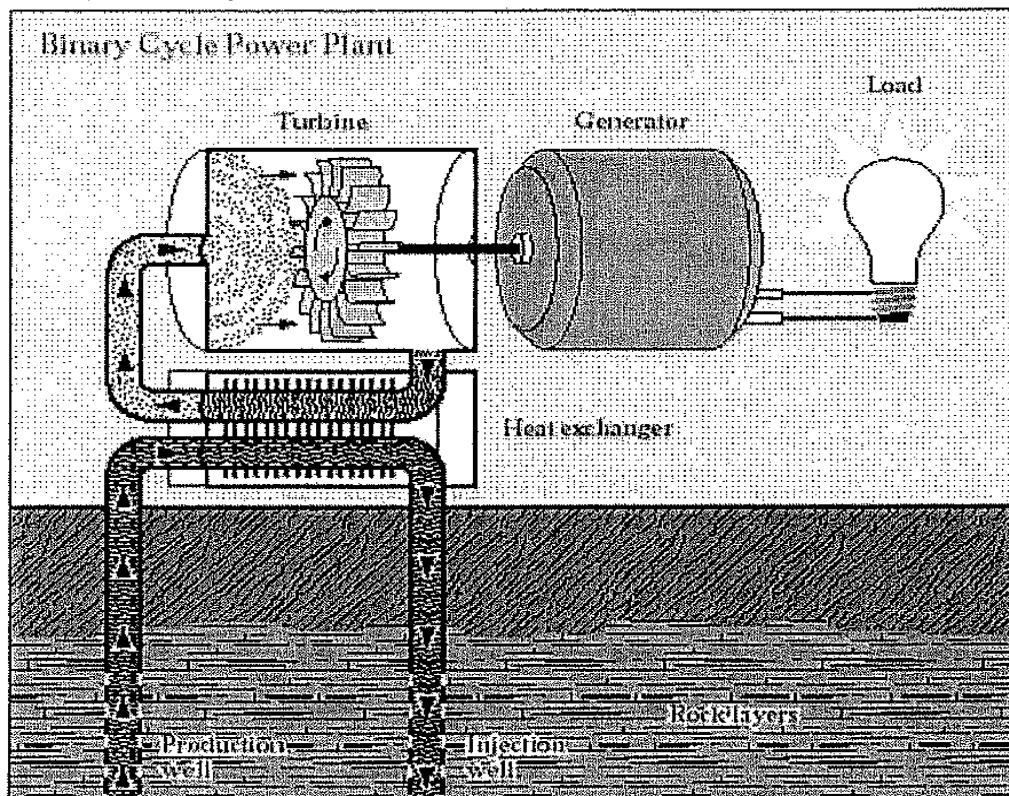
Σχήμα 5.4. Εκτόνωση διφασικού ρευστού.

c) *Χρησιμοποίηση Δευτερεύοντος Ρευστού (Binary Fluid Cycle, σχήμα 5)*. Ονομάζεται και κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (organic Rankine cycle). Συνοπτικά, το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) μίας οργανικής ουσίας (ισοβουτάνιο, φρέον) η οποία εν συνεχεία ως ατμός οδηγείται στον στρόβιλο, συμπυκνώνεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη. Τα πλεονεκτήματα της μονάδας αυτής είναι:

- Κάνει δυνατή την ανάκτηση μεγαλύτερης ποσότητας θερμότητας με την απόρριψη των ρευστών σε χαμηλότερη θερμοκρασία
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωθερμικά ρευστά μέσης ενθαλπίας, μια που το σημείο ζέσεως των οργανικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλότερο των 100 °C.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί διφασικό μίγμα.
- Περιορίζει ουσιαστικά τα προβλήματα διάβρωσης και σχηματισμού επικαθίσεων στον εναλλάκτη.
- Κάνει δυνατή την αξιοποίηση ρευστών που περιέχουν διαβρωτικά συστατικά και σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων.

Πάντως μία τέτοια μονάδα παρουσιάζει και μειονεκτήματα όπως:

- Κάνει απαραίτητη τη χρήση εναλλάκτη, ο οποίος είναι γενικά μία δαπανηρή συσκευή που συνήθως παρουσιάζει έντονα προβλήματα επικαθίσεων.
- Τα οργανικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι πτητικά και στην πλειοψηφία τους τοξικά και θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή διαρροών.
- Σοβαρότερο μειονέκτημα είναι η μικρή δυναμικότητα των μονάδων, η οποία κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 1,5 MWe. Πάντως δεκάδες τέτοιες μονάδες έχουν εγκατασταθεί τα τελευταία δέκα χρόνια σε όλον τον κόσμο και ιδιαίτερα στις



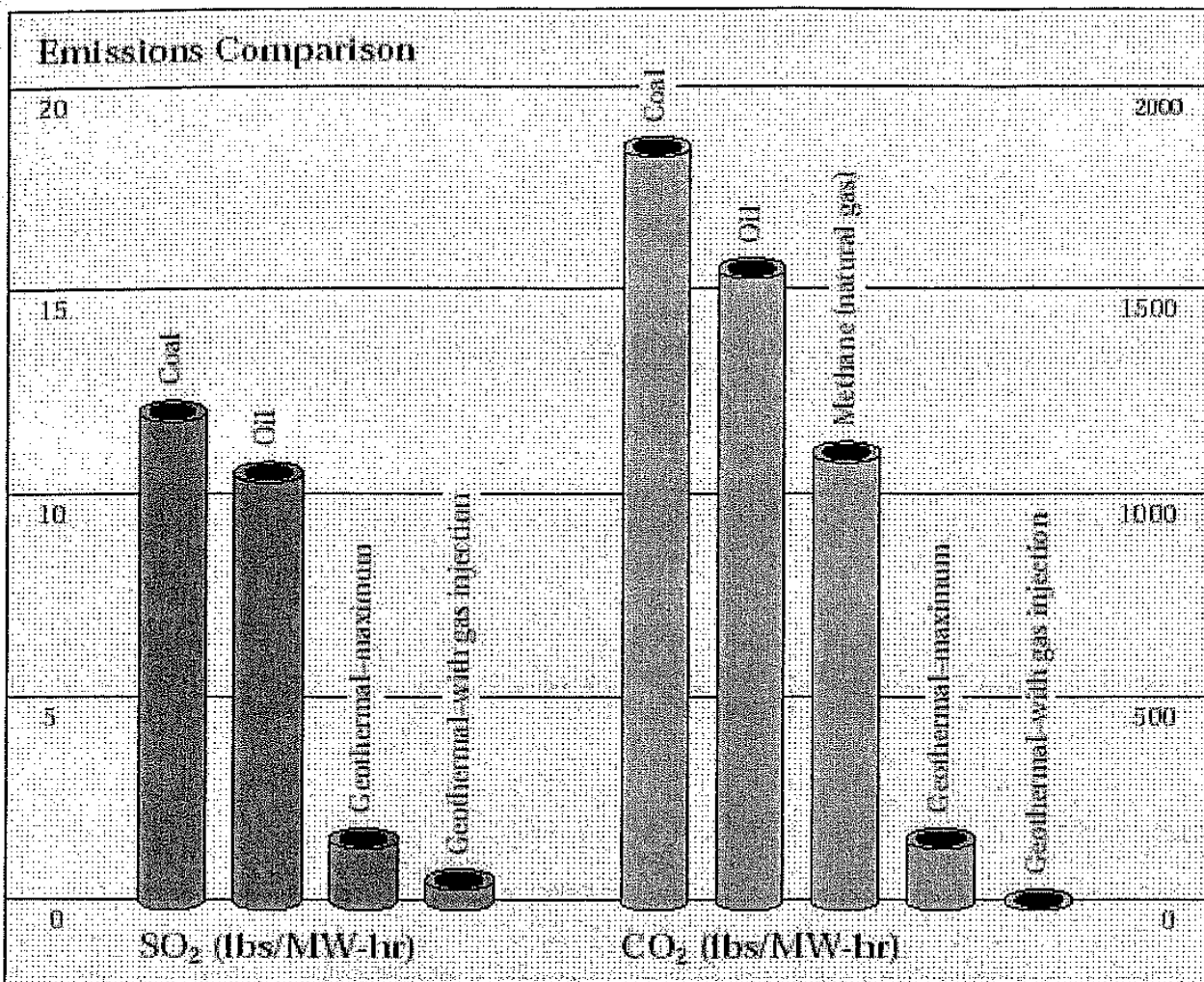
Σχήμα 5.5. Χρησιμοποίηση δευτερεύοντος ρευστού.

- d) *Εκτόνωση της Συνολικής Ροής (Total Flow Expansion)*. Στις μονάδες εκτόνωσης του διφασικού ρευστού, ένα μόνο μέρος θερμότητας των ρευστών (ατμός) αξιοποιείται. Στον τύπο της μονάδας εκτόνωσης της συνολικής ροής γίνεται εκτόνωση όλου του ρευστού με τη βοήθεια κατάλληλων συσκευών. Αν και η αρχή λειτουργίας των μονάδων αυτών είναι απλή, η κατασκευή τέτοιων μονάδων βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

5.4. Η γεωθερμική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή

Όλοι οι τύποι γεωθερμικής ενέργειας θεωρούνται ανανεώσιμοι εφόσον ο ρυθμός άντλησης της θερμότητας δεν υπερβαίνει το ρυθμό επαναφόρτισης της γεωθερμικής δεξαμενής από τη γη. Για την παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να χρειαστούν αρκετές εκατοντάδες χρόνια για να επαναφορτιστεί μια γεωθερμική δεξαμενή, η οποία έχει αδειάσει τελείως. Τα περιφερειακά συστήματα θέρμανσης μπορεί να πάρουν 100-200 χρόνια για να επαναφορτιστούν ενώ οι γεωθερμικές αντλίες μόνο 30 χρόνια.

Θα μπορούσε να πει κάποιος ότι η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι πραγματικά ανανεώσιμη, γιατί με την πάροδο του χρόνου το εσωτερικό της γης θα κρυώσει και η ραδιενεργή φθορά των στοιχείων που κρατούν το εσωτερικό της γης θερμό θα μειωθεί. Όμως, επειδή οι δεξαμενές γεωθερμίας είναι τεράστιες σε μέγεθος συγκριτικά με τις ανάγκες του ανθρώπου, η γεωθερμική ενέργεια είναι πρακτικά ανανεώσιμη.



Σχήμα 5.6. Τα γεωθερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας παράγουν σημαντικά λιγότερα διοξείδια του θείου (SO₂) και διοξείδια του άνθρακα (CO₂) σε σύγκριση με τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα.

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα σημερινά γεωθερμικά πεδία παράγουν μόνο το 1/6 CO₂ σε σύγκριση με τις γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούν με φυσικό αέριο, και καθόλου νιτρικά (NO_x) και θειικά (SO_x) αέρια (σχήμα 6).

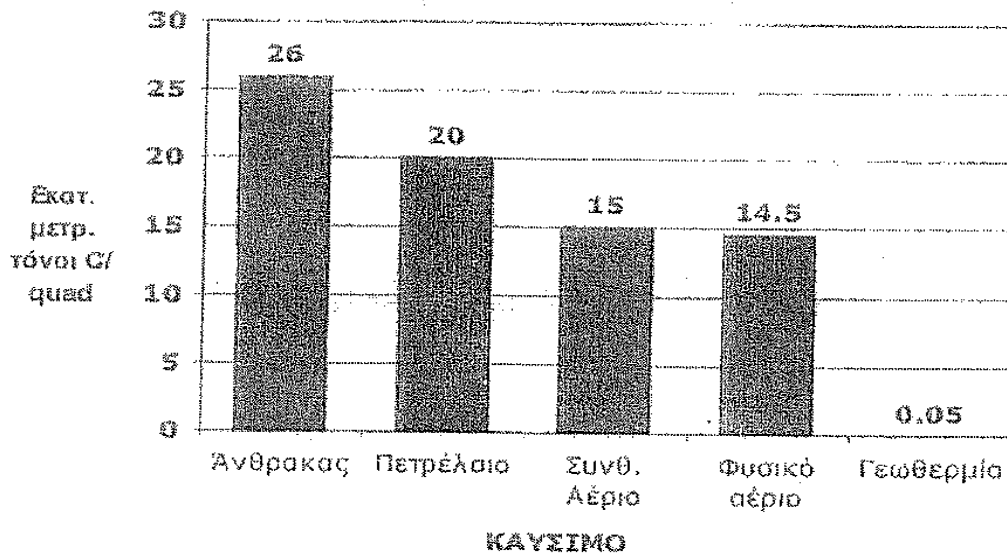
Για κάθε 1.000 MW ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχεται από γεωθερμικές πηγές εκπέμπονται 1 εκατομμύριο Kg λιγότερα τοξικά αέρια το χρόνο και 4 δισεκατομμύρια Kg λιγότερο CO₂, ενώ οι ρύποι αυτοί θα ήταν πολύ περισσότεροι αν σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιούνταν άνθρακας.

5.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της Γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται “καθαρή”, σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας (ενέργεια από καύση πετρελαίου ή άνθρακα, πυρηνική ενέργεια), χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι συχνά αμελητέες. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από εφαρμογή σε εφαρμογή, μπορούν όμως να καταταχθούν σχηματικά ως εξής:

1. **Χρήση Γης.** Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι συναντάται σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίησή της αναγκαστικά γίνεται επί τόπου. Η γη που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας δεν είναι μεγαλύτερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί περιορίζοντας την περιοχή των γεωτρήσεων και αυξάνοντας τη δυναμικότητα των μονάδων.

2. **Αέρια Ρύπανση.** Η αέρια ρύπανση παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από την εκμετάλλευση της γεωθερμίας, κυρίως κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Τα κυριότερα αέρια που εκπέμπονται είναι το ραδόνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο, ενώ δεν εκπέμπονται καθόλου οξείδια του θείου και του αζώτου. Το ραδόνιο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, μια που από φυσικές πηγές εκπέμπονται καθημερινά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες. Το CO₂ που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερο από ότι εκπέμπουν ατμοηλεκτρικές μονάδες (σχήμα 7). Η νέας γενιάς γεωθερμικές μονάδες εκπέμπουν περίπου 0,5 kgf CO₂ ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1500 kgf CO₂ ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Το υδρόθειο, λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του είναι υπεύθυνο πολλές φορές για την προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές του μπορούν να ελεγχθούν εύκολα με μία πληθώρα μεθόδων, όπως η διεργασία Stredford, η οξειδωτική μέθοδος Dow, η καταλυτική μέθοδος με σίδηρο κ.λ.π.



Σχήμα 5. 7. Εκπομπές άνθρακα για διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

3. **Υδάτινη και Θερμική Ρύπανση.** Η απόρριψη ενός αλμολοίπου από το οποίο έχει εξαχθεί θερμότητα δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα, τόσο από την περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο κ.λ.π.), όσο και από την αρκετά πιο υψηλή θερμοκρασία του σε σχέση με την θερμοκρασία των αποδεκτών. Έτσι συνήθως απαιτείται επεξεργασία και ψύξη των νερών προτού απορριφθούν, ενώ ως πιο περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος, προβάλλει η επανεισαγωγή των νερών στον ταμιευτήρα.
4. **Δημιουργία Μικροσεισμικότητας και Καθιζήσεις.** Με την επανεισαγωγή του υγρού στον ταμιευτήρα, αυτό δρα ως λιπαντικό για τα πετρώματα με αποτέλεσμα την δημιουργία μικροσεισμών στην περιοχή. Από την άλλη μεριά, η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού από ένα γεωθερμικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα.
5. **Διαρροές.** Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορούν να υπάρξουν στα αρχικά στάδια αξιοποίησης του πεδίου, αν και μπορούν να ελαχιστοποιηθούν.
6. **Θόρυβος.** Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από τον θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ, σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας, ο θόρυβος είναι μηδαμινός.

5.6. Η Γεωθερμία στην Ελλάδα

Ο Ελλαδικός χώρος, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τους γεωθερμικά ευνοημένους και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Παράλληλα, υφίσταται ενεργό ηφαιστειακό τόξο στην περιοχή του Αιγαίου, όπου δημιουργούνται οι προϋποθέσεις σχηματισμού γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.

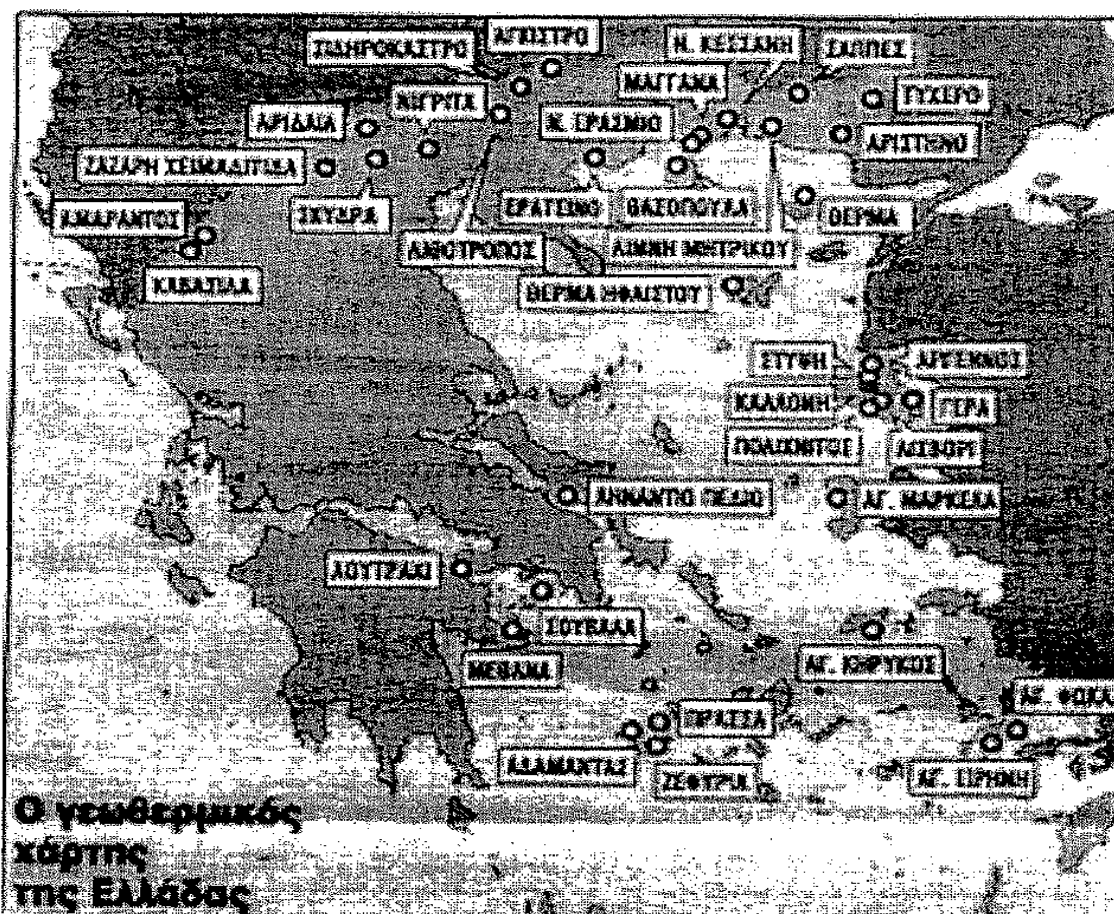
Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε μόλις το 1971 από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) και αρχικά αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας άρχισε από το ΙΓΜΕ το 1980 και εντατικοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Από αυτήν την έρευνα προέκυψε ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα είναι σίγουρα πολύ σημαντικό. Τα περισσότερα από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν βρίσκονται σε περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές συνθήκες, ενώ οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευοίωνες.

Στη Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (πέντε και δύο αντίστοιχα). Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MWe, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MWe αντίστοιχα. Στη Μήλο, μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000m και στη Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500m. Εκτός από τα πεδία της Μήλου και της Νισύρου, προέκυψαν ικανοποιητικά στοιχεία για πιθανά πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας στην Κίμωλο, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο και Σουστάκι Κορινθίας.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιουργήσες εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100 °C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες η ενέργεια αυτή θερμαίνει υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθώς αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό προς το περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία των πεδινών εκτάσεων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι δυνατόν να αντληθούν 2500m³/h θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μεταξύ 35 και 92°C.

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα του Νέστου, έχουν εντοπιστεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία: στο Ερατεινό-Χρυσούπολης Καβάλας και στο Ν.Εράσμιο-Μαγγάνων Ξάνθης. Στη Ν.Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία παράγονται νερά μέχρι 82 °C. Υπάρχουν ήδη 8 γεωτρήσεις παραγωγής, ενώ παράλληλα, στη Ν. Κεσσάνη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα μεγάλο πλάνο ανάπτυξης του πεδίου που χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα VALOREN της ΕΕ. Σε διάφορες περιοχές του Ν.Ροδόπης (Σάππες, Μέση, Σιδηροχώρι, Νότια Κομοτηνής, κ.α.) υπάρχουν πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων. Στη λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά (Ν.Θεσσαλονίκης) έχουν εντοπιστεί τρία πολύ "ρηχά" πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56 °C. Στο Λαγκαδά, στη Νυμφόπετρα και στη Νέα Απολλωνία λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων, ενώ στο Λαγκαδά λειτούργησε για δύο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών. Στην περιοχή Ελαιοχωρίων-Ν.Τρίγλιας Χαλκιδικής υπάρχουν ήδη πολλές "ρηχές" γεωτρήσεις παραγωγής με ρευστά μέχρι 42 °C. Το δυναμικό τους ξεπερνά τα 1000m³/h και λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια. Στην Νότια Θεσσαλία εντοπίστηκαν ενδιαφέρουσες συνθήκες ταμιευτήρων (65 °C στα 700m). Η κοιλάδα του Σπερχειού και η Εύβοια διαθέτουν ένα πολύ μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό, με θερμοκρασίες μέχρι 80 °C. Η Δυτική Ελλάδα έχει λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες (μικρότερες θερμοκρασίες) αλλά δε λείπει το ενδιαφέρον σε συγκεκριμένες περιοχές. Ήδη στην πεδινή περιοχή Άρτας π.χ. βρέθηκαν ρευστά μέχρι 60 °C στα 250m βάθους.



Σχήμα 5.8. Ο γεωθερμικός χάρτης της Ελλάδας.



Σχήμα 5.9. Το γεωλογικό δυναμικό της Ελλάδας.

Το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδος) συμβάλλει στην προσπάθεια αξιοποίησης των εφαρμογών γεωθερμίας στην Ελλάδα. Η προσπάθεια εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων στη Μήλο και στη Νίσυρο δεν ευδοκίμησε, λόγω έκλυσης στο περιβάλλον δύσσοσμων αερίων, γεγονός που προκάλεσε την αντίδραση των κατοίκων.

Δυστυχώς, παρά το αξιόλογο εγχώριο γεωθερμικό δυναμικό, στον Ελλαδικό χώρο απουσιάζουν εντελώς οι εφαρμογές της γεωθερμίας στην ηλεκτροπαραγωγή, ενώ περιορισμένες και με διαχρονικά φθίνουσα πορεία είναι και οι θερμικές χρήσεις της γεωθερμίας. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αναθεώρηση του νομοθετικού πλαισίου (Ν2249/94 και Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων – Χριστοφής Ι. Κορωναίος

N2773/99), το οποίο ευνοεί αφενός την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ παράλληλα επιχειρεί την “απελευθέρωση” της εγχώριας αγοράς ηλεκτρισμού. Την αρνητική αυτήν εξέλιξη του τομέα των εφαρμογών της γεωθερμίας επιβεβαιώνει και ο μικρός αριθμός αιτήσεων για δημιουργία εγχώριων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής γεωθερμικής βάσης, που έχουν υποβληθεί στη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) (Πίνακας 5.3), δηλαδή μόλις 6 αιτήσεις συνολικής ισχύος 335,5 MW.

Πίνακας 5.3. Αιτήσεις ίδρυσης γεωθερμικών σταθμών.

Επωνυμία	Θέση	Νήσος	Ισχύς (MW)
ΔΕΗ Α.Ε.	ΣΤΥΨΗ/ΑΡΓΕΝΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ	8
ΔΕΗ Α.Ε.	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΜΗΛΟΣ	120
ΜΗΛΟΣ Α.Ε.	ΖΕΦΥΡΙΑ	ΜΗΛΟΣ	0.5
ΟΡΕΛΛΑΣ Α.Ε.	ΝΙΣΥΡΟΣ-ΜΗΛΟΣ -ΚΙΜΩΛΟΣ	ΜΗΛΟΣ	185
ΔΕΗ Α.Ε.	ΑΓ. ΕΙΡΗΝΗ/ΑΡΓΟΣ	ΝΙΣΥΡΟΣ	20
TERRA MENTOR- ΕΘΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΡΓΟΥΣ	ΝΙΣΥΡΟΣ	2

Η πρώτη προσπάθεια δημιουργίας εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμική βάση, έγινε στη Μήλο το 1985, από τη ΔΕΗ. Σκοπός του εργοστασίου ισχύος 2 MWe ήταν η αξιοποίηση του υψηλού γεωθερμικού δυναμικού του νησιού. Το εργοστάσιο ήταν τύπου μονής εκτόνωσης διαφασικού ρευστού (single flash condensing type), με ένα στρόβιλο, που αρχικά είχε σχεδιαστεί για να λειτουργεί με ατμό στα 8 bar (116 psi). Λειτουργήσε για αρκετούς μήνες με κυμαινόμενο φορτίο, λόγω της συχνά μεταβαλλόμενης ζήτησης φορτίου του νησιού, που σπάνια ξεπερνούσε τα 2 MWe. Από το Δεκέμβριο του 1986 έως το Δεκέμβριο του 1988, το εργοστάσιο λειτουργήσε περίπου 7600 ώρες και παρήγαγε συνολική ισχύ 7,33 GWh. Εμφανίστηκαν προβλήματα λειτουργίας λόγω ύπαρξης σουλφιδίων βαρέων μετάλλων, διοξειδίου του πυριτίου και ενώσεων πυριτίου και έτσι το εργοστάσιο τροποποιήθηκε, με την προσθήκη ενός κυκλωνικού διαχωριστή υψηλής πίεσης (25 bar-362 psi), ενός συστήματος καθαρισμού του ατμού και άλλων βοηθητικών εξοπλισμών. Το εργοστάσιο έκλεισε τελικά το 1988 εξαιτίας έντονων αντιδράσεων των κατοίκων και διαφόρων οργανώσεων του νησιού.

Στα σχέδια της ΔΕΗ για το άμεσο μέλλον υπάρχει ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμία, στην περιοχή της Στύψης (για την ακρίβεια μεταξύ Στύψης και Βαφειού) στη Μυτιλήνη. Οι σχετικές έρευνες της ΔΕΗ ξεκίνησαν πριν 10 χρόνια περίπου. Το εργοστάσιο θα κοστίσει 11,5 δισεκατομμύρια δραχμές και θα έχει δυνατότητα παραγωγής ενέργειας 8 MW και αναμένεται να μπει σε λειτουργία γύρω στο 2008. Ήδη έχει προχωρήσει η γεώτρηση παραγωγής και ολοκληρώθηκαν τα έργα υποδομής. Η κατασκευή της μονάδας βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη και αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν εντοπιστεί στην Ελλάδα 45 γεωθερμικά πεδία, από τα οποία το 20% βρίσκονται στη Λέσβο, στις περιοχές Στύψης, Καλλονής, Πολυχνίτου, Μήθυμνας, Λισβορίου, Γέρας, Αργένου, Θερμής και αλλού. Επειδή το ποσοστό αξιοποίησης της γεωθερμίας στην Ελλάδα είναι πολύ χαμηλό, ψηφίστηκε νόμος του Υπουργείου Ανάπτυξης όπου προβλέπει: Η ΔΕΗ είναι ο διαχειριστής του πεδίου παραγωγής, αλλά η άδεια παραγωγής θα δίνεται σε ιδιώτες, οι οποίοι θα πληρώνουν ένα ποσό στη ΔΕΗ για την παραχώρηση του γεωθερμικού ρευστού. Η άδεια θα διαρκεί από 5 έως 30 χρόνια και θα μπορούν να συνεργάζονται με τοπικούς φορείς.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται μία διστακτικότητα στην επένδυση κεφαλαίων σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη γεωθερμία. Τα βασικότερα εμπόδια που συντελούν σε αυτή τη διστακτικότητα είναι τα εξής:

- Η αβεβαιότητα για το ιδιοκτησιακό καθεστώς των γεωθερμικών πεδίων
- Η άδοξη κατάληξη της πρώτης προσπάθειας δημιουργίας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτροπαραγωγής στη Μήλο (2MW) εκ μέρους της ΔΕΗ, η οποία ματαιώθηκε λόγω

των έντονων αντιδράσεων των κατοίκων, με τον ισχυρισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

- Η ύπαρξη εκτεταμένων γεωθερμικών πεδίων σε νησιωτικές περιοχές με χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και η απουσία έργων διασύνδεσης, ώστε να διατεθεί η περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε παρακείμενους καταναλωτές.

Βέβαια παρά τις παραπάνω αρνητικές συγκυρίες, η ύπαρξη αξιόλογου γεωθερμικού δυναμικού σε συνδυασμό με την οικονομική ελκυστικότητα των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και το εξαιρετικά υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του Αιγαίου, επαναφέρει στην επικαιρότητα την προοπτική δημιουργίας μικρών γεωθερμικών μονάδων και μάλιστα με προοπτική αξιοποίησης γεωθερμικών πεδίων μέσης-χαμηλής ενθαλπίας.

5.7. ΑΚΖ για κάθε τύπο Εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας

Ακολουθεί μια γενική ανάλυση κύκλου ζωής, για κάθε τύπο εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας. Γίνεται αναλυτική απογραφή και εκτίμηση των επιπτώσεων (περιβαλλοντικών και μη), καθώς και μία εκτίμηση των πιθανών βελτιώσεων. Τα όρια της ανάλυσης ξεκινούν από την είσοδο του γεωθερμικού ρευστού από την πηγή στο εργοστάσιο και φτάνουν μέχρι την τελική απόρριψη των προϊόντων του εργοστασίου. Η γενικότητα της ανάλυσης αυτής, οφείλεται στα περιορισμένα (σχεδόν ανύπαρκτα) δεδομένα, καθώς και στην έλλειψη γεωθερμικών εφαρμογών ηλεκτροπαραγωγής στον Ελλαδικό χώρο.

5.7.1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής γεωθερμικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Το πιο σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο των γεωθερμικών συστημάτων, είναι το γεγονός, ότι καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους παράγουν ηλεκτρισμό με χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Για πολλές από τις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών όπως για παράδειγμα των υδροηλεκτρικών και της αιολικής ενέργειας, δεν υπάρχουν εκπομπές κατά τη διάρκεια λειτουργίας του εργοστασίου και έτσι οι εκπομπές κατά την κατασκευή του εργοστασίου είναι υψηλής σημασίας για την ανάλυση κύκλου ζωής. Ωστόσο, στην περίπτωση της γεωθερμίας εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δημιουργούνται κατά την λειτουργία του εργοστασίου (εκτός από την περίπτωση που το εργοστάσιο επανεισάγει τα γεωθερμικά ρευστά στον ταμιευτήρα και έτσι οι εκπομπές κατά την διάρκεια της κατασκευής, της ανεύρεσης γεωθερμικού ρευστού και των γεωτρήσεων, είναι δευτερεύοντες).

Σε γενικές γραμμές ο γεωθερμικός κύκλος προσεγγίζει το κύκλο ορυκτών καυσίμων με την έννοια ότι εξορύσσεται ένα καύσιμο υψηλής σχετικά θερμικής αξίας (το γεωθερμικό ρευστό) και χρησιμοποιείται απευθείας για παραγωγή ενέργειας. Αντίθετα με άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών που βασίζονται σε καύσιμα (κυρίως τεχνολογίες βιομάζας), το γεωθερμικό “καύσιμο” δεν χρειάζεται να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Κατά την διάρκεια των φάσεων εξερεύνησης γεωτρήσεων και κατασκευής θα καταναλωθεί ενέργεια για την κατασκευή ενός δρόμου πρόσβασης, την προετοιμασία του χώρου, τις γεωτρήσεις εξερεύνησης, παραγωγής και επανεισαγωγής, τοποθέτηση σωληνώσεων και κατασκευή του σταθμού παραγωγής ενέργειας, καθώς και τους πύργους ψύξης ή (για εργοστάσια χρησιμοποίησης δευτερεύοντος ρευστού) αερόψυκτους συμπυκνωτές. Θα υπάρχουν ακόμη εκπομπές από την κατασκευή και τη μεταφορά των υλικών και των συστατικών που θα χρειαστούν στην ανάπτυξη (για παράδειγμα σωλήνες και υλικά κατασκευής), καθώς επίσης και από την εξαγωγή ακατέργαστων υλικών για την κατασκευή. Τα δύο στάδια τα οποία θεωρείται ότι έχουν τη μεγαλύτερη χρήση ενέργειας και τις περισσότερες εκπομπές, είναι τα στάδια της γεώτρησης και της κατασκευής του σταθμού παραγωγής.

Στο στάδιο της γεώτρησης μεγάλοι ντιζελοκινητήρες χρησιμοποιούνται για τη γεώτρηση πηγαδιών από βάθη 500 έως 2500m, μία διαδικασία η οποία μπορεί να διαρκέσει βδομάδες ή μήνες. Μία προκαταρκτική ανάλυση δείχνει ότι η ενέργεια που χρησιμοποιείται (ως καύσιμο diesel) για τη γεώτρηση είναι περίπου το 1% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο εξορύσσεται. Μια εκτίμηση των εκπομπών που σχετίζονται με αυτή τη χρήση ενέργειας φαίνεται στον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4. Εκπομπές που σχετίζονται με τη γεώτρηση και κατασκευή του εργοστασίου.

Life cycle stage	Life cycle emissions (g/kWh generated)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	Particulates
Drilling	3.0	0.01	0.26	0.03
Construction of power station	6.1	0.01	0.02	0.002

Μία πρώτη εκτίμηση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών που σχετίζονται με τα υλικά και την κατασκευή του σταθμού παραγωγής ενέργειας μπορεί να γίνει με βάση την ανάλυση κύκλου ζωής της παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Οι εκτιμήσεις του πίνακα σχετίζονται με τις εκπομπές κατά την κατασκευή ενός 500 MWe σταθμού ενέργειας που τροφοδοτείται με κάρβουνο. Υπάρχουν προφανείς διαφορές μεταξύ ενός γεωθερμικού εργοστασίου και ενός σταθμού παραγωγής που χρησιμοποιεί κάρβουνο. Το γεωθερμικό εργοστάσιο δεν έχει συστήματα διαχείρισης καυσίμου, συστήματα καύσης ή καμινάδες, αλλά έχει ένα μεγάλης έκτασης δίκτυο σωληνώσεων που μεταφέρει τα γεωθερμικά ρευστά από τις γεωτρήσεις στο σταθμό παραγωγής. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος του σταθμού παραγωγής θα είναι το ίδιο (π.χ. στρόβιλοι και πύργοι ψύξης). Έτσι, μία πρώτη εκτίμηση, που βασίζεται στα δεδομένα για σταθμούς που χρησιμοποιούν κάρβουνο είναι χρήσιμη και προσδίδει τον όγκο των εκπομπών που σχετίζονται με την κατασκευή του σταθμού παραγωγής. Η εκτίμηση αυτή φαίνεται στον πίνακα 5.4.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ (Life cycle emissions)

Ανάλογα με τον τύπο του εργοστασίου παραγωγής που χρησιμοποιείται, τα μη πτητικά αέρια (NCGs, non-condensable gases) τα οποία μεταφέρονται με τον γεωθερμικό ατμό μπορεί να εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Τα NCGs συνήθως αποτελούν το 2% του ατμού που εκτονώνεται και κυρίως περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα (πάνω από 95%) και υδρόθειο (2-3%). Αμμωνία, υδρογόνο, άζωτο, μεθάνιο και ραδόνιο μπορεί επίσης να υπάρχουν σε μικρές ποσότητες καθώς επίσης και πτητικές ουσίες βορίου, αρσενικού και υδραργύρου. Απελευθερώνονται επίσης μολυντές με το νερό που αποβάλλεται.

Διάφορες μελέτες έχουν εκτιμήσει τις εκπομπές CO₂ κατά τη διάρκεια λειτουργίας του γεωθερμικού εργοστασίου και τις έχουν συσχετίσει με την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι τιμές

που αναφέρονται ποικίλουν σημαντικά, γιατί οι εκπομπές διαφέρουν από εργοστάσιο σε εργοστάσιο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού (κυρίως το περιεχόμενο του σε NCG και το ποσοστό CO₂ στα NCG) καθώς επίσης και τον τύπο του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιείται (ιδιαίτερα αν χρησιμοποιείται ένα κλειστό κύκλωμα και το ρευστό επανεισάγεται όπως για παράδειγμα σε ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιεί δευτερεύον ρευστό). Σε πεδία που χρησιμοποιείται εργοστάσιο που χρησιμοποιεί δευτερεύον ρευστό και το γεωθερμικό ρευστό είναι σε ένα κλειστό κύκλωμα (δηλαδή όλα τα ρευστά επανεισάγονται), οι εκπομπές θα είναι σχεδόν μηδέν.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές CO₂ μπορεί να μεταβάλλονται με το πέρασμα του χρόνου. Για παράδειγμα, από τη δημιουργία του εργοστασίου Tongonan I το 1983, οι εκπομπές έχουν δείξει μία σταθερή μείωση περίπου 3,4 % κάθε χρόνο, έτσι ώστε οι εκπομπές CO₂ μπορεί να είναι οι μισές σε περίπου 20 χρόνια.

Πίνακας 5.5. Εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία διαφόρων εργοστασίων.

Reference	Field and plant type	CO ₂ Emissions (g/kWh)
Reed and Renner, 1995 as quoted in Hunt and Brown, 1996	Not specified - assumed to be plant with reinjection	0.48
Goddard et al 1989	Coso, (with 'wet' gas reinjection)	0.5
Barbier, 1991	Wairakei, New Zealand	13
Barbier, 1991	The Geysers, USA	33
Goddard et al 1989; Barnett et al, 1992	Geysers	36
Goddard et al 1989; Barnett et al, 1992,	PG&E Unit 20	36
Goddard et al 1989	Not specified	40
DiPippo, 1991	Steam plant	50 to 70
Barnett et al, 1992	Tongonan I	65
Barnett et al, 1992	Palinpino I	76
Armannsson and Kristmannsdottir, 1992	Krafla, Iceland	96
Barnett et al, 1992	Leyte A, Philippines	129
Barbier, 1991	Cerro Prieto, Mexico	175
Barbier, 1991	Tiwi, Philippines	272
Barbier, 1991	Larderello, Italy	380
CEEETA, 1996	Lagoa do Fogo, Azores	827

Μία επιλογή για να μειώσουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι να επανεισάγουμε το αέριο είτε με "υγρή" είτε με "ξηρή" επανεισαγωγή. Στην πρώτη περίπτωση, το CO₂ διαλύεται σε θερμά αλμόλυπα προς απόρριψη, τα οποία αργότερα εισάγονται με αντλίες μέσα στον ταμιευτήρα από πηγάδια στην άκρη του πεδίου. Το ποσό του CO₂ που μπορεί να απορριφθεί με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται από τη διαλυτότητα του CO₂ στο αλμόλυπο. Η υγρή επανεισαγωγή είναι τεχνικά εφαρμόσιμη και έχει γίνει, παρά κάποιον δυσκολιών, στο πεδίο COSO στις ΗΠΑ. Έχουν γίνει ακόμη απόπειρες σε άλλα δύο πεδία των ΗΠΑ και σε ένα πεδίο στις Φιλιππίνες. Στην περίπτωση της ξηρής επανεισαγωγής αέριο μεταβιβάζεται με αντλίες σε ειδικά πηγάδια τα οποία έχουν γεωτρηθεί εκτός πεδίου, έτσι ώστε να μειωθεί η πιθανότητα επιστροφής του αερίου στα πηγάδια παραγωγής.

Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο των εκπομπών CO₂ είναι η παγκόσμια θέρμανση, αλλά επίσης αποτελούν ένα κίνδυνο για την υγεία και την ασφάλεια αν συγκεντρωθούν σε πεδινές περιοχές.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Για εργοστάσια που χρησιμοποιούν δευτερεύον ρευστό, συμβάλουν στην ανάλυση κύκλου ζωής μόνο οι εκπομπές από τα στάδια πριν τη λειτουργία. Μία πρώτη εκτίμηση των εκπομπών αυτών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής δίνεται στον πίνακα 5.6. Για άλλους τύπους εργοστασίων, είναι δύσκολο να πάρουμε τιμές, αφού οι εκπομπές κατά το στάδιο λειτουργίας μεταβάλλονται από πεδίο σε πεδίο. Γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των τιμών που φαίνονται στον πίνακα 7 (70 g/kWh), ως αντιπροσωπευτικός.

Οι εκπομπές στη διάρκεια του κύκλου ζωής που φαίνονται στον πίνακα 8 είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές των συμβατικών εργοστασίων ορυκτών καυσίμων. Ακόμη και σε πεδία στα οποία υπάρχουν υψηλές εκπομπές CO₂ κατά το στάδιο λειτουργίας, οι εκπομπές CO₂ θα είναι πάλι μικρότερες σε σχέση με ένα σταθμό που τροφοδοτείται με κάρβουνο, αλλά ίσως αρχίζουν να προσεγγίζουν τις εκπομπές ενός σταθμού συνδυασμένου κύκλου.

Πίνακας 5.6. Εκπομπές κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός εργοστασίου.

Type of plant	Emissions (g/kWh electricity generated)			
	CO ₂	SO ₂	NO _x	Particulates
Binary plant	9.1	0.02	0.28	0.03
Other plant	79.1	0.02	0.28	0.03

5.7.2. Τα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα των γεωθερμικών εργοστασίων

Τα γεωθερμικά σχέδια έχουν έναν αριθμό επιπτώσεων στο περιβάλλον σε τοπικό επίπεδο, ωστόσο πολλές από αυτές μπορούν να αμβλυθούν ακολουθώντας καλή εφαρμογή. Οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εργοστασίων γεωθερμίας, προκύπτουν τόσο από τα στάδια της αρχικής ανάπτυξης (εξερεύνηση, γεωτρήσεις και κατασκευή), όσο και από το στάδιο της παραγωγής.

Περιλαμβάνουν:

- Συνέπειες στο φυσικό τοπίο
- Θόρυβο
- Αέριες εκπομπές
- Μόλυνση των υδάτων
- Καθίζηση των εδαφών

Αυτές οι επιπτώσεις ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του πεδίου. Παρουσιάζονται δε αναλυτικά παρακάτω μαζί με ένα φάσμα άλλων επιπτώσεων.

Προβλήματα κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης των γεωτρήσεων και της κατασκευής

Αυτές οι φάσεις αρχικής ανάπτυξης έχουν διάφορες επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον. Η κατασκευή δρόμων πρόσβασης στα πεδία γεωτρήσεων και η ανάπτυξη του ίδιου του πεδίου μπορεί να σημαίνει καταστροφή των δασών και της χλωρίδας με αποτέλεσμα την καταστροφή του οικοσυστήματος. Σε τροπικές περιοχές με υψηλή βροχόπτωση αυτές οι απώλειες στη χλωρίδα μπορεί να οδηγήσουν σε διάβρωση και κατακρημνίσεις. Κατά τη διάρκεια των

γεωτρήσεων και των σχετικών κατασκευών δημιουργείται επίσης θόρυβος, σκόνη και καπνοί οι οποίοι διαταράσσουν τα τοπικά οικοσυστήματα και τους κατοίκους.

ΘΟΡΥΒΟΣ

Ο θόρυβος δημιουργείται κατά τη διάρκεια των διερευνητικών γεωτρήσεων και των κατασκευών. Τα επίπεδα θορύβου από αυτές τις διεργασίες είναι:

- Γεωτρήσεις (air 120 dBa, mud 80 dBa)
- Αποφόρτιση πηγαδιών μετά τη γεώτρηση (για την απομάκρυνση των απορριμμάτων έως και 120 dBa)
- Δοκιμή του πηγαδιού (70-110 dBa αν χρησιμοποιούνται σιγαστήρες)
- Εκροή ρευστού από το πηγάδι (85 dBa)
- Μηχανές diesel (για τη λειτουργία των συμπυκνωτών και την παροχή ηλεκτρισμού 45-55 dBa)
- Βαρέα μηχανήματα (έως και 90 dBa)

Οι πιθανές επιπτώσεις από το θόρυβο δεν εξαρτώνται μόνο από το επίπεδό του αλλά και από το πόσο κοντά βρίσκονται οι δέκτες (άνθρωποι, ζώα, κ.τ.λ.) στο πεδίο καθώς και από τη φύση του θορύβου. Ο θόρυβος εξασθενίζει με την απόσταση (σχεδόν 6 dB κάθε φορά που η απόσταση διπλασιάζεται), ωστόσο οι χαμηλές συχνότητες εξασθενίζουν λιγότερο απ' ό,τι οι υψηλές συχνότητες. Τα χαρακτηριστικά του πεδίου (π.χ. η τοπογραφία του) και οι μετεωρολογικές συνθήκες θα έχουν επίσης κάποια επίδραση. Για να δώσουμε μία αναλογία του θορύβου, 80-90 dBa είναι το επίπεδο του θορύβου σε ένα θορυβώδες αστικό περιβάλλον και 50 dBa είναι το επίπεδο θορύβου σε ένα ήσυχο προάστιο.

Στο ίδιο το πεδίο, οι εργάτες μπορούν να προστατεύονται φορώντας ωτοασπίδες κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων και των δοκιμών αποφόρτισης. Οι επιπτώσεις του θορύβου κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων και των κατασκευών μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας καλύτερες τεχνικές. Κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας είναι δυνατόν να διατηρήσουμε τα επίπεδα θορύβου κάτω από τα 65 dBa και σε απόσταση ενός km, ο θόρυβος θα μπορούσε να είναι πρακτικά ανεπαίσθητος.

ΑΕΡΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα μη πτητικά αέρια που υπάρχουν στο γεωθερμικό ατμό μπορεί να απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα (ανάλογα με τον τύπο του εργοστασίου παραγωγής που χρησιμοποιείται). Ενώ αυτά περιλαμβάνουν κυρίως CO₂ και υδρόθειο, μπορεί επίσης να περιέχουν αμμωνία, υδρογόνο, άζωτο, μεθάνιο και ραδόνιο σε μικρές ποσότητες, καθώς επίσης και πτητικές ουσίες βορίου, αρσενικού και υδραργύρου.

Το υδρόθειο χαρακτηρίζεται από τη οσμή "κλούβιου αβγού" που γίνεται αντιληπτό από τους ανθρώπους σε συγκέντρωση 8 ppb. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι κυρίως μια ενόχληση, αλλά καθώς οι συγκεντρώσεις αυξάνονται, μπορεί να ερεθίσει και να τραυματίσει το μάτι (10 ppm), τις μεμβράνες του αναπνευστικού συστήματος (50-100 ppm) και να οδηγήσει σε απώλεια όσφρησης (150 ppm). Στα 700 ppm είναι θανάσιμο. Σε μερικές κατοικημένες περιοχές, οι εκπομπές υδρόθειου μπορεί να μην είναι πρόβλημα και σε πολλά πεδία υπάρχουν ήδη φυσικές εκπομπές από ρωγμές εδάφους, θερμές πηγές, κ.λ.π. Όπως και με τις εκπομπές CO₂, οι εκπομπές υδρόθειου μπορούν να ποικίλουν από πεδίο σε πεδίο, ανάλογα με το ποσό υδρόθειου που εμπεριέχεται στο γεωθερμικό ρευστό και τον τύπο του εργοστασίου που χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση της πηγής. Αυτό παρουσιάζεται στον πίνακα 5.7, ο οποίος δείχνει εκτιμήσεις για τις εκπομπές διαφόρων πεδίων.

Στα πεδία που οι εκπομπές υδρόθειου θα αποτελούν πιθανώς πρόβλημα μπορούν να μειωθούν με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών. Πολλές διεργασίες είναι δυνατόν να γίνουν με πιο συχνή, μέχρι πρόσφατα, τη διεργασία Stredford η οποία παράγει καθαρό θείο και έχει τη

δυνατότητα μείωσης των εκπομπών έως και περισσότερο από 90 %. Πιο πρόσφατες τεχνικές συμπεριλαμβάνουν την καύση του υδρόθειου προς παραγωγή SO₂, το οποίο μπορεί να διαλυθεί σε θειικό οξύ και να πουληθεί.

Πίνακας 5.7. Εκτιμήσεις εκπομπών υδρόθειου από διάφορα γεωθερμικά εργοστάσια.

Reference	Field	H ₂ S emissions (g/kWh)
Goddard et al, 1989	Coso (with reinjection)	0.03
Goddard et al, 1989	PG&E Unit 20	0.04
Goddard et al, 1989	The Geysers (average)	0.11
Barbier, 1991	Wairakei, New Zealand	0.5
Barbier, 1991	The Geysers	1.9
Barbier, 1991	Lardarello, Italy	3.5
Barbier, 1991	Cerro Prieto, Mexico	4.2
Armannsson and Kristmannsdottir, 1992	Krafla, Iceland	6.0
Barbier, 1991	Broadlands, New Zealand	6.4

Από τους άλλους αέριους μολυντές που εκπέμπονται, η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια, στο ρινικό και αναπνευστικό σύστημα, σε συγκεντρώσεις από 5-32 ppm, ενώ το ραδόνιο είναι καρκινογόνο σε περίπτωση εισπνοής. Οι εκπομπές αυτών των δύο αερίων είναι κανονικά σε χαμηλά επίπεδα και δεν προκαλούν ανησυχία. Από τα διάφορα μεταλλικά στοιχεία που εκπέμπονται το αρσενικό είναι καυστικό για το δέρμα και καρκινογόνο, το βόριο προκαλεί ερεθισμό στο δέρμα και στις βλενογόνες μεμβράνες και η εισπνοή ή κατάποση του υδραργύρου μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές διαταραχές. Αυτά τα μέταλλα εκπέμπονται γενικά σε τόσο χαμηλές ποσότητες που δεν αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία.

5.7.2.1. Μόλυνση των υδάτων

Μόλυνση των επιφανειακών υδάτων

Από τη στιγμή που η θερμότητα έχει επαχθεί από το γεωθερμικό ρευστό, το γεωθερμικό ρευστό αποβάλλεται (waterways και evaporation ponds) ή επανεισάγεται βαθιά μέσα στο έδαφος.

Στην περίπτωση της επιφανειακής απόρριψης, προβλήματα μόλυνσης μπορούν να προκληθούν λόγω:

- Τους μεγάλους όγκους ρευστού
- Τη σχετικά υψηλή θερμοκρασία του ρευστού
- Την τοξικότητα του ρευστού που απορρίπτεται

Ο όγκος του νερού που απορρίπτεται είναι μεγαλύτερος σε συστήματα που υπερέχει το υγρό από ότι σε συστήματα που υπερέχει ο ατμός. Οι θερμοκρασίες απόρριψης εξαρτώνται από την αρχική θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού και το είδος του εργοστασίου που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, στο εργοστάσιο παραγωγής 156 MW του Wairakea στην Ν. Ζηλανδία (που κυριαρχεί το ρευστό και έχει πηγή υψηλής θερμοκρασίας), 6500 τόνοι νερού απορρίπτονται κάθε ώρα σε μία θερμοκρασία από 60 έως 80 °C.

Τα χημικά που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό που απορρίπτεται εξαρτώνται από τη γεωχημεία του ταμιευτήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του εργοστασίου παραγωγής και μπορούν να ποικίλουν σημαντικά από πεδίο σε πεδίο. Ρευστά που προέρχονται από ταμιευτήρες υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να εμπεριέχουν διάφορα ιόντα (π.χ. χλωρίδια, νάτριο, ποτάσσιο, ασβέστιο, φθορίδιο, μαγνήσιο, πυρίτιο, ιώδιο, αντιμόνιο, στρόντιο, διττανθρακικά άλατα) και

πιο επίφοβα διάφορα τοξικά χημικά: βόριο, λίθιο, αρσενικό, υδρόθειο, υδράργυρο, ρουβίδιο και αμμωνία. Ρευστά από ταμειυτήρες χαμηλών θερμοκρασιών έχουν γενικά πολύ μικρότερη συγκέντρωση μολυντών.

Τα περισσότερα από τα χημικά βρίσκονται διαλυμένα και θα παραμείνουν διαλυμένα, ενώ θα συνεχίσουν να υπάρχουν και στο σημείο της απόρριψης. Ωστόσο, κάποια θα παραμείνουν σαν ιζήματα σε λίμνες και ποτάμια, όπου και μπορεί να συγκεντρωθούν σε υψηλά επίπεδα. Συνεπώς οι συγκεντρώσεις σε ιζήματα μπορεί να γίνουν υψηλότερες από τη συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών στο νερό, έτσι ώστε μία επανακινητοποίηση των ουσιών στο ίζημα θα μπορούσε να οδηγήσει σε μία τοξική πλημμύρα των ουσιών στο περιβάλλον. Χημικά, τα οποία παραμένουν υπό διάλυση μπορεί να απορροφηθούν από φύκια και ψάρια, ενώ κάποια άλλα μπορούν να προχωρήσουν ακόμα υψηλότερα στην τροφική αλυσίδα σε πουλιά και ζώα που κατοικούν κοντά στο ποτάμι. Για παράδειγμα, στη Ν. Ζηλανδία, τα ετήσια γεωθερμικά απόβλητα στον ποταμό Waikato περιέχουν 50 kg υδράργυρο. Αυτό θεωρείται ως μερικά υπεύθυνο για τις υψηλές συγκεντρώσεις σε υδράργυρο (συχνά μεγαλύτερες από 0,5 mgr/kg υγρής σάρκας) στο σολομό από τον ποταμό και υψηλά επίπεδα (μεγαλύτερα από 200 mgr/kg) ιζημάτων υδραργύρου.

Υπάρχουν πολλές διεργασίες με βάση τις συνθήκες εκροής ώστε να απομακρυνθούν τα μέταλλα από το νερό που απορρίπτεται. Τέτοιες διεργασίες θα χρησιμοποιούνταν γενικά εάν ήταν απαραίτητη η απομάκρυνση των μολυντών για την εξασφάλιση της επιτυχούς λειτουργίας του εργοστασίου. Ωστόσο η χρήση τέτοιων διαδικασιών για την απομάκρυνση πιθανών πολύτιμων προϊόντων θεωρείται γενικά αντιοικονομική μέχρι σήμερα.

Επιτρέποντας το νερό που εκρέει να σχηματίζει λίμνες (ponding) μειώνεται η θερμοκρασία του νερού και τα μέταλλα τείνουν να ιζηματοποιηθούν. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των μολυντών αλλά μπορεί επίσης να έχει και περιβαλλοντικές συνέπειες (π.χ. μόλυνση του υπόγειου νερού εάν τα τοιχώματα της λίμνης δεν είναι αδιαπέραστα). Οι συνέπειες της απόρριψης νερού μπορούν να ελαχιστοποιηθούν εάν νερό απόρριψης και συμπύκνωμα συγκεντρωθούν και επανεισαχθούν στο έδαφος μέσω βαθιών πηγαδιών στην άκρη του πεδίου.

Μόλυνση υπόγειων υδάτων και εδάφους

Η μόλυνση ρηχών υπόγειων ταμειυτήρων νερού μπορεί να προκληθεί από:

- Υγρά από τις γεωτρήσεις
- Εάν το περίβλημα των πηγαδιών της επανεισαγωγής αποτύχει, επιτρέποντας το ρευστό να οδηγηθεί σε ρηχούς υδάτινους ταμειυτήρες
- Αν λίμνες εξάτμισης και λίμνες διατήρησης δεν είναι αδιαπέραστες

Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με προσεκτικό σχεδιασμό, σωστή επίβλεψη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και προσοχή στον ποιοτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια γεωτρήσεων και κατασκευών.

5.7.2.2. Μείωση του υδροφόρου υπόγειου ορίζοντα

Τα γεωθερμικά εργοστάσια δεν έχουν γενικά ανάγκες σε νερό ψύξης, έτσι δεν έχουν αντίκτυπο ούτε στο τοπικό υπόγειο νερό ούτε στις πηγές επιφανειακού νερού. Εργοστάσια απευθείας χρησιμοποίησης του ατμού και εργοστάσια εκτόνωσης διφασικού ρευστού δε χρειάζονται νερό ψύξης, καθώς το γεωθερμικό ρευστό συμπυκνώνεται, ψύχεται και επανακυκλοφορεί στον συμπυκνωτή. Σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί δευτερεύον ρευστό, όπου το γεωθερμικό ρευστό δεν συμπυκνώνεται, ένας αερόψυκτος συμπυκνωτής θα ήταν χρήσιμος.

Ωστόσο, το υπόγειο νερό μπορεί να μειωθεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες σε γεωθερμικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Μία ζώνη ψυχρού υπόγειου νερού επικαλύπτει τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα και σε κάποιες περιπτώσεις, το ψυχρό νερό μπορεί να ρεύσει προς τα κάτω στο πεδίο, οδηγώντας σε μία πτώση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας μπορεί επίσης να πέσει ως αποτέλεσμα ρωγμών στο περίβλημα πηγαδιών

που δεν χρησιμοποιούνται, αλλά αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί επιτηρώντας την κατάσταση τέτοιων πηγαδιών και επισκευάζοντάς τα κατάλληλα.

5.7.2.3. Καθίζηση του εδάφους

Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης ενός γεωθερμικού σταθμού, τα γεωθερμικά ρευστά απομακρύνονται από τον ταμιευτήρα, με ένα ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν με τον οποίον εισρέουν σε αυτόν. Αυτή η εκροή έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση των γεωλογικών σχηματισμών στο πεδίο, οδηγώντας σε καθίζηση στην επιφάνεια. Οι κύριοι λόγοι δημιουργίας καθίζησης είναι:

- Μία πτώση πίεσης στον ταμιευτήρα ως αποτέλεσμα της εκροής ρευστού
- Η ύπαρξη ενός γεωλογικού σχηματισμού, ο οποίος προκαλεί μεγάλη συμπίεση, στο πάνω μέρος ενός ρηχού ταμιευτήρα
- Η ύπαρξη μεγάλης διαπερατότητας μεταξύ του ταμιευτήρα και των γύρω γεωλογικών σχηματισμών

Αν όλες αυτές οι συνθήκες υπάρχουν τότε είναι πιθανόν να συμβεί καθίζηση του εδάφους. Γενικά, η καθίζηση είναι μεγαλύτερη σε πεδία που κυριαρχεί το ρευστό λόγω των γεωλογικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται συνήθως με κάθε είδος πεδίου. Η καθίζηση του εδάφους μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα των σωλήνων και του περιβλήματος αποχετεύσεων και πηγαδιών. Μπορεί επίσης να προκαλέσει το σχηματισμό λιμνών και ρωγμών στο έδαφος και, αν το πεδίο είναι κοντά σε κατοικημένη περιοχή, μπορεί να προκαλέσει αστάθεια στα κτίρια.

Η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη καθίζηση σε γεωθερμικό πεδίο (13 μέτρα) έγινε στο Wairakei στη Ν. Ζηλανδία. Παρακολούθηση έχει δείξει ότι σε μία μικρή περιοχή εκτός παραγωγικής ζώνης υπάρχει μία μέγιστη καθίζηση των 450 mm/έτος με μία καθίζηση τουλάχιστον 20 mm/έτος να συμβαίνει σε όλο το πεδίο παραγωγής.

Συνέπειες καθίζησης είναι:

- Η δημιουργία μίας λίμνης σχεδόν 1 km σε μήκος και 6 m σε βάθος σε κάτι που αρχικά ήταν ένας γρήγορος χείμαρρος
- Ρωγμές, τόσο σε μία κοντινή λεωφόρο, όσο και στο βασικό αγωγό απόβλητου νερού στο πεδίο
- Συμπιεστική κάμψη και εφελκυστική θραύση των σωληνώσεων ατμού
- Ρωγμές σε γειτονικά πεδία

Λίγα είναι αυτή τη στιγμή γνωστά για το πώς να ελαχιστοποιήσουμε ή να περιορίσουμε τις συνέπειες. Το μόνο που μπορεί να γίνει είναι μία προσπάθεια για τη διατήρηση της πίεσης στον ταμιευτήρα. Επανεισαγωγή ρευστού μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της πτώσης πίεσης και συνεπώς και στην πιθανότητα καθίζησης, αλλά η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από το πού επανεισάγεται το ρευστό και της συνθήκες διαπερατότητας στο πεδίο. Γενικά, η επανεισαγωγή ρευστού γίνεται σε κάποια απόσταση από το πηγάδι παραγωγής, ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση το ψυχρότερο νερό που απορρίπτεται να ρίξει τη θερμοκρασία του ρευστού παραγωγής, και μπορεί έτσι να μη βοηθήσει στην αποφυγή της καθίζησης. Για παράδειγμα στο πεδίο Broadlands (Ohaaki) στη Ν. Ζηλανδία, όπου περίπου 60% της μάζας του γεωθερμικού ρευστού επανεισάγεται στην περιφέρεια του πεδίου, υπάρχει καθίζηση σε ρυθμούς μεγαλύτερους των 400 mm/έτος.

5.7.2.4. Συνέπειες στο φυσικό τοπίο- Χρήση γης

Μεγάλες γραμμές μεταφοράς ρευστού δεν είναι πρακτικές (λόγω απωλειών σε πίεση και θερμοκρασία), έτσι τα εργοστάσια παραγωγής πρέπει να χτίζονται στο σημείο που βρίσκονται οι γεωθερμικοί ταμιευτήρες. Στο πεδίο χρειάζεται γη για:

- Γεωτρήσεις

- Σωληνώσεις γεωθερμικού ρευστού
- Σταθμό παραγωγής, πύργους ψύξης και ηλεκτρικό πίνακα σταθμού ισχύος

Η πραγματική περιοχή γης η οποία καλύπτεται από τη συνολική ανάπτυξη του γεωθερμικού σταθμού μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την περιοχή που απαιτείται για τα παραπάνω. Για παράδειγμα στο πεδίο Cerro Prieto στο Μεξικό η περιοχή που καλύπτεται από τις γεωτρήσεις (12 ha) είναι μόλις το 2% της συνολικής περιοχής (540 ha).

Σε πολλές περιπτώσεις η γη ανάμεσα στις γεωτρήσεις και στις σωληνώσεις μπορεί να συνεχίσει να χρησιμοποιείται για άλλους σκοπούς, παρά το γεγονός ότι σε μερικά πεδία η φύση της ανάπτυξης μπορεί να το κάνει μη εφικτό. Για παράδειγμα, στο Wairakei, όπου η ανάπτυξη λαμβάνει χώρα, σε μία σχετικά στενή κοιλάδα, υπάρχουν πολλοί ξεχωριστοί σωλήνες (οι οποίοι χωρίζουν τη γη σε πολύ μικρά κομμάτια), εργοστάσια διαχωρισμού, εκτονωτές ατμού και επιφανειακές αποχετεύσεις θερμού νερού. Έτσι, η φύση της συγκεκριμένης ανάπτυξης αποκλείει τη χρήση γης για οτιδήποτε άλλο.

Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι θα ήταν απίθανο να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη γη για κάποιον άλλον παραγωγικό σκοπό, ενώ παράλληλα το πεδίο είναι τώρα τουριστική ατραξιόν. Σε αντίθεση, στο κοντινό πεδίο Broadlands (σταθμός Ohaaki), ο σχεδιασμός της ανάπτυξης εξασφαλίζει την ύπαρξη πολύ μεγαλύτερων χώρων γης ανάμεσα στις σωληνώσεις και το οδικό σύστημα έτσι ώστε η γη να συνεχίσει να χρησιμοποιείται. Περιοχές που χρησιμοποιούνταν αρχικά για αποθήκευση και αγροτικές καλλιέργειες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τώρα για εκτροφεία προβάτων και γη, η οποία ήταν κυρίως καλυμμένη με πευκώδης θάμνους, που φύτεωναν μόνοι τους, ενώ τώρα θα μπορεί να διαμορφωθεί σε παραγωγικά δάση.

Έτσι, οι συνέπειες της χρήσης γης εξαρτώνται από τη μορφή της εξέλιξης και την αρχική χρήση γης. Για παράδειγμα, κάποια γεωθερμική ανάπτυξη θα μπορούσε να γίνει σε άγονες και ξηρές περιοχές, οι οποίες δεν θα είχαν κάποιον άλλον παραγωγικό σκοπό. Εκτιμήσεις για περιοχές γης που χρησιμοποιούνται από κάποιους βασικούς τύπους εργοστασίων φαίνονται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8. Εκτιμήσεις για έκταση γης που χρησιμοποιούνται από κάποιους βασικούς τύπους εργοστασίων

	Area of well pads (m ² /MW)	Total area (m ² /MW)
Cerro de Pietto	600	30,000
Single flash plant	1,200	
Binary plant	2,700	

5.7.2.5. Οπτική μόλυνση

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, τα γεωθερμικά εργοστάσια πρέπει να βρίσκονται κοντά στην πηγή, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη ελαστικότητα για το πού θα χτιστεί το εργοστάσιο. Γενικά, τα γεωθερμικά εργοστάσια δεν είναι ιδιαίτερα ευδιάκριτα, για παράδειγμα δεν έχουν ψηλές καμινάδες όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κάρβουνο και πετρέλαιο.

Η οπτική επίδραση ενός γεωθερμικού εργοστασίου μπορεί έτσι να είναι σημαντική, καθώς τα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται συνήθως σε περιοχές ιδιαίτερης φυσικής ομορφιάς ενώ παράλληλα, τα σχετικά θερμικά φαινόμενα (π.χ. geysers και θερμές λίμνες) μπορεί να έχουνε τουριστικό ή ιστορικό ενδιαφέρον ή πολιτιστική σημασία. Οι οπτικές συνέπειες κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων μπορεί να είναι αρκετά σημαντικές, λόγω της παρουσίας του γεωτρητικού εξοπλισμού.

5.7.2.6. Υποβάθμιση των φυσικών θερμικών χαρακτηριστικών

Φυσικά θερμικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις υψηλές θερμοκρασίες των γεωθερμικών συστημάτων είναι τα geysers, οι θερμικές πηγές, οι ατμίδες, οι λίμνες λάσπης και το έδαφος υψηλής θερμοκρασίας με συγκεκριμένα είδη φυτών. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να είναι σημαντικά είτε για τουριστικούς και πολιτιστικούς σκοπούς είτε για οικολογικούς. Η εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού συστήματος οδηγεί στην πτώση πίεσης του ταμιευτήρα, γεγονός που μπορεί να υποβαθμίσει τέτοια χαρακτηριστικά (τόσο σε μέγεθος όσο και σε ορμητικότητα), ή να οδηγήσει ακόμη και στην εξαφάνισή τους. Για παράδειγμα, στο Wairakei της Ν. Ζηλανδίας σχεδόν όλα τα θερμικά φαινόμενα στις κοιλάδες Waiora και Geysers (με περισσότερους από 20 θερμοπίδακες) έχουν εξαφανιστεί. Στο Larderello της Ιταλίας, μεγάλος αριθμός από πίδακες ατμού και αερίων που υπήρχαν έχουν ελαττωθεί σημαντικά.

Σε μερικές περιπτώσεις, θερμικά χαρακτηριστικά ιδιαίτερου ενδιαφέροντος ή πολιτιστικής αξίας μπορεί να προστατευτούν (π.χ. διαμέσω χαρακτηρισμού τους ως εθνικά πάρκα) και να είναι εκτός ορίων της ανάπτυξης του γεωθερμικού εργοστασίου. Σε άλλα πεδία, ο μόνος τρόπος να ελαχιστοποιηθεί η υποβάθμιση του τοπίου, θα είναι να ελαχιστοποιηθεί η πτώση πίεσης στον ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης αλλά δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής βιώσιμες τεχνικές, εκτός από αυτές που μειώνουν σημαντικά την παραγωγή.

5.7.3. Πιθανά καταστροφικά γεγονότα

Υπάρχουν διάφορα καταστροφικά γεγονότα που θα μπορούσαν να συμβούν σε γεωθερμικά πεδία όπως:

- **Αυξημένη σεισμικότητα.** Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω τα περισσότερα γεωθερμικά αποθέματα υψηλής θερμοκρασίας βρίσκονται σε περιοχές υψηλών τεκτονικών δραστηριοτήτων, όπου γίνονται αρκετοί σεισμοί. Μελέτες σε πολλά πεδία υψηλής θερμοκρασίας, έχουν δείξει ότι η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία αύξηση στον αριθμό των σεισμών μικρής έντασης (μικροσεισμών) στα όρια του πεδίου. Μέχρι σήμερα, τέτοιοι μικροσεισμοί δεν έχουν προκαλέσει ιδιαίτερες ζημιές. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να περιοριστούν μειώνοντας την πίεση επανεισαγωγής στο ελάχιστο και εξασφαλίζοντας ότι οι κατασκευές στο πεδίο είναι αντισεισμικές.
- **Εκρήξεις πηγαδιών.** Αυτό συμβαίνει στις πρώτες μέρες των γεωτρήσεων σε μερικά πεδία (π.χ. τα Geysers στην Καλιφόρνια και στο Wairakei και Ti Miti στη Ν. Ζηλανδία), αλλά τέτοια περιστατικά είναι σπάνια στις μέρες μας. Η πιθανότητα να συμβούν μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την κατάλληλη χρήση αντικρηκτικού εξοπλισμού και ακολουθώντας σωστές διαδικασίες γεώτρησης.
- **Υδροθερμικές εκρήξεις.** Είναι σπάνιες, αλλά είναι ένας πιθανός κίνδυνος σε πεδία υψηλής θερμοκρασίας που κυριαρχεί το ρευστό. Συμβαίνουν όταν η πίεση του ατμού σε ταμιευτήρες κοντά στην επιφάνεια φτάνει σε τέτοιο σημείο ώστε το ρευστό να διαπεράσει το έδαφος που βρίσκεται από πάνω του, δημιουργώντας έτσι ένα κρατήρα με διάμετρο από 5 έως 500 m και βάθος έως και 500 m (ωστόσο τις περισσότερες φορές το βάθος είναι περίπου 10 m). Συντηρώντας την πίεση στον ταμιευτήρα, μειώνονται οι πιθανότητες να γίνει μία τέτοια έκρηξη, όπως και με την αποφυγή εκσκαφών σε ενεργά θερμικά εδάφη. Η αποφυγή ανοικοδόμησης σε ενεργό θερμικά έδαφος θα βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση των συνεπειών εάν συμβεί έκρηξη.
- **Κατολισθήσεις.** Πολλά γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε περιοχές με απόκρημνη τοπογραφία οπότε είναι επιρρεπή στις κατολισθήσεις. Το γεγονός αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά ατυχήματα αν οι πέτρες που πέφτουν προκαλέσουν ζημιά στις κεφαλές των πηγαδιών ή στους σωλήνες, με

αποτέλεσμα την απελευθέρωση ατμού ή καυτών ρευστών. Αυτή η πιθανότητα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με έργα σταθεροποίησης στις πλαγιές που μπορεί να είναι επιρρεπείς στις κατολισθήσεις.

5.7.4. Περίληψη των περιβαλλοντικών συνεπειών

Το βασικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο των γεωθερμικών συστημάτων είναι το γεγονός ότι, παρά την εκπομπή μολυντών κατά το στάδιο της κατασκευής, μειώνονται οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των καυστικών αερίων, αντικαθιστώντας την συμβατική παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Οι μόνες σημαντικές πιθανές αρνητικές επιπτώσεις είναι οι εκπομπές αερίων, η καθίζηση του εδάφους, η δυσαρέσκεια των κατοίκων και η μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (αναφέρονται συνοπτικά στον πίνακα 5.9). Οι συνέπειες αυτές περιορίζονται στα όρια του πεδίου και τρόποι για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίησή του αναφέρονται συνοπτικά στον πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.9. Συνοπτική αναφορά των αρνητικών επιπτώσεων ενός γεωθερμικού εργοστασίου.

Burden	Receptor	Impact	Range	Priority
PLANT MANUFACTURE RESOURCE EXTRACTION RESOURCE TRANSPORTATION MATERIALS PROCESSING COMPONENT MANUFACTURE COMPONENT TRANSPORTATION DRILLING AND CONSTRUCTION	Various	Emissions/Noise/Etc.	L/R/G	Low
Drilling/construction work/road traffic	Various	Atmospheric emissions	L/R/G	Low
Occupational impacts	Employment Workers	Increased employment benefits Accidents	Loc/Re g Local	Low Low
Amenity				
Noise (including road traffic)	General public	Noise amenity	Local	Medium
Visual impact	General public	Visual amenity	Local	Medium
Ecology				
Land use/clearing of vegetation	Ecosystems	Loss of habitat; erosion	Local	Low
Noise/construction activity	Ecosystems	Disturbance	Local	Low
Water pollution	Surface and ground waters	Contamination from drilling fluids and geothermal fluids	Local	Medium

Πίνακας 5.10 (Συνέχεια). Συνοπτική αναφορά των αρνητικών επιπτώσεων ενός γεωθερμικού εργοστασίου.

Burden	Receptor	Impact	Range	Priority
GENERATION				
Gaseous emissions				
CO ₂	Various	Greenhouse gas	Global	Medium
H ₂ S	Various	Health effects - irritant	Local	Medium
Ammonia	General public	Health effects -irritant	Local	Low
Radon	General public	Health effects - carcinogenic	Local	Low
Arsenic	General public	Health effects - corrosive to skin and carcinogenic	Local	Low
Mercury	General public	Health effects - neurological disorders	Local	Low
Boron	Various	Health effects - irritant; phytotoxic	Local	Low
Liquid emissions				
Toxic chemicals (B, Li, As, H ₂ S, Hg, Rb, NH ₃)	Aquatic ecosystems	Surface and groundwater contamination; accumulation in sediments and aquatic organisms	Local	Low
Thermal pollution	Aquatic ecosystems	Stress on organisms; loss of biodiversity	Local	Low
Depletion of groundwater	Water supply		Local	Low
Ground subsidence	Various	Instability of plant and buildings; cracks in ground, changes to water courses	Local	Low - Med
Land use	Ecosystems	Loss of habitat, disturbance	Local	Low
Amenity				
Visual impact	General public	Visual amenity	Local	Med - High
Noise	General public	Noise amenity	Local	Medium
Degradation of natural features	General public		Local	Low - Med
Induced seismicity	Property	Property damage	Local	Low
Well blowout	Various	Water contamination; human health effects; effects on vegetation	Local	Low
Hydrothermal eruptions	Property	Property damages; human health	Local	Low
Landslides		Property damages; human health	Local	Low
DECOMMISSIONING				
	Various	Emissions/Noise/Etc.		Low

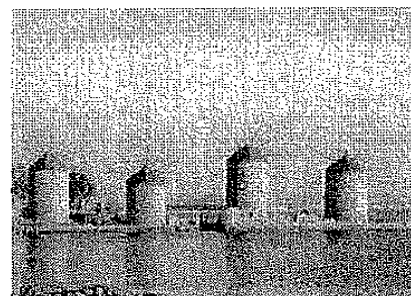
Πίνακας 5.11. Συνοπτική αναφορά των πιθανών περιβαλλοντικών συνεπειών ενός γεωθερμικού εργοστασίου και τρόποι αποφυγής ή ελαχιστοποίησης τους.

Potential Environmental Impact	Amelioration Methods
Emissions of hydrogen sulphide during operation	Widely used processes available for removal of gas; no emissions if binary plant is used.
Noise and visual impacts.	Careful site selection, screening of site and good working practices.
Degradation of natural features.	Careful site selection, fluid re-injection into wells.
Pollution of ground and surface waters.	Effluent treatment, ponding of waste water and its re-injection into deep wells.
Ground subsidence.	Fluid re-injection into wells to maintain well pressure.

6. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

6.1. Ιστορική Εξέλιξη Ανεμογεννητριών

Ο άνθρωπος είχε εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Οι Κινέζοι, οι Πέρσες, οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι έχουν χρησιμοποιήσει τους ανεμόμυλους για πολλούς αιώνες π.Χ. και κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών (εικ. 6.1). Συγκεκριμένα οι Πέρσες, χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους κάθετου άξονα. Επιπλέον, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για άντληση νερού. Αυτή η εφαρμογή υπήρχε κυρίως στην Ολλανδία όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού από τις πλημμυρισμένες περιοχές και την μεταφορά τους στη θάλασσα. Στην Ελλάδα οι ανεμόμυλοι άντλησης νερού (περίπου 6000) χρησιμοποιούνταν κυρίως στην Ανατολική Κρήτη (εικ. 6.2).

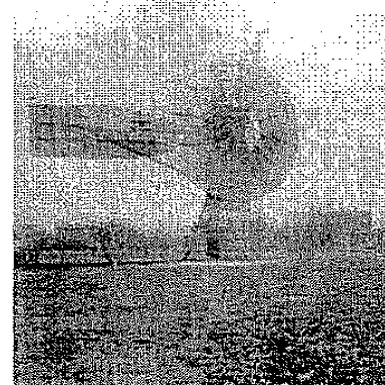


Εικ. 6.1



Εικ. 6.2

Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους, παρολαυτά στην Αμερική το 1860, οι πολυπτερυγοί ανεμόμυλοι για άντληση συνέχιζαν να κατασκευάζονται στο Σικάγο, το βιομηχανικό κέντρο παραγωγής τους (εικ. 6.3).



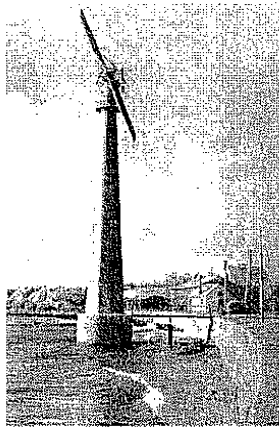
Εικ. 6.3

Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρ στη Δανία, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου. Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1900, οι Δανοί παρήγαγαν ηλεκτρισμό από τον άνεμο. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου.

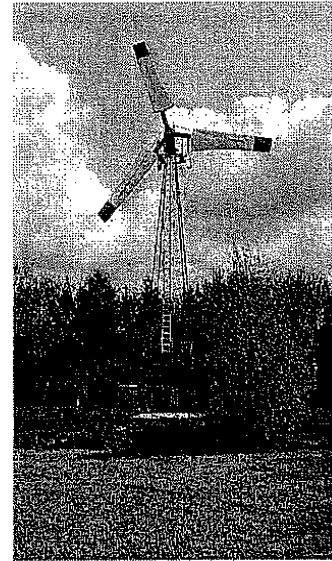
Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία (εικ. 6.4). Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια στρεψοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατιθόταν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25

κιλοβάτ) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 μεγαβάτ) (εικ.6.5).

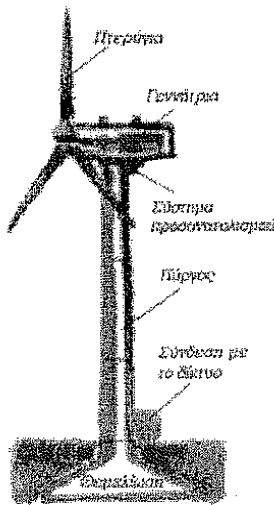


Εικ. 6.4

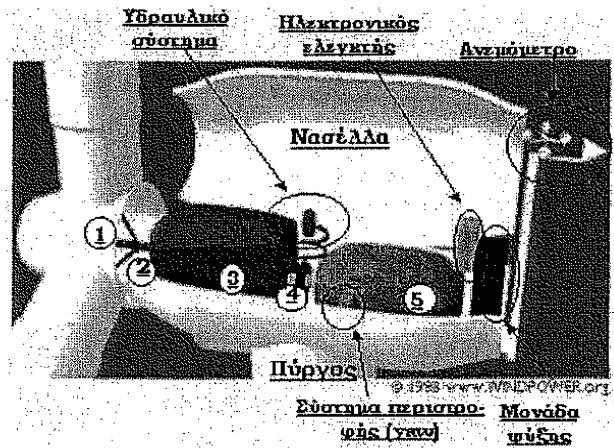


Εικ. 6.5

6.2. Τμήματα ανεμογεννήτριας



Εικ. 6.6



Εικ. 6.7

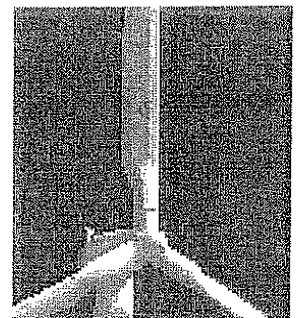
Η α/γ οριζοντίου άξονα απαρτίζεται από τον πύργο και την Νασέλλα.

Τα πρωτεύοντα τμήματα της νασέλλας, όπως φαίνονται στην εικ.6.6 και εικ 6.7 είναι τα εξής:

1) Πτερύγια-Πλήμνη (Hub).

Τα πτερύγια απορροφούν την ενέργεια του αέρα και τη μεταφέρουν στο δρομέα. Σε μία σύγχρονη γεννήτρια 600kW κάθε πτερύγιο έχει μήκος περίπου 20m και δε διαφέρει κατά πολύ από ένα φτερό αεροπλάνου, όσον αφορά στο αεροδυναμικό τους σχήμα.

Τα πτερύγια και η πλήμνη κατασκευάζονται από αλουμίνιο, ξύλο, πλαστικό ή fiberglass, με δυνατότητα μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων, ολόκληρων ή μόνο του άκρου τους (pitch control), με κατάλληλο μηχανισμό, τοποθετημένο συνήθως στο χώρο μπροστά από τον άξονα περιστροφής (εικ.5.8). Ο δρομέας ανάλογα με την κατασκευή τοποθετείται ανάντη ή κατάντη του πύργου στήριξης και έχει δυνατότητα αλλαγής προσανατολισμού.



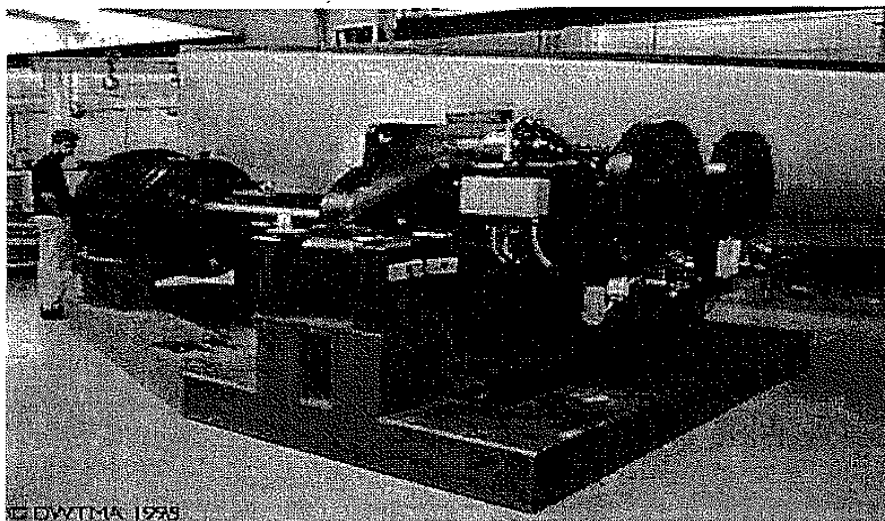
Εικ. 6.8

2) Άξονας χαμηλών στροφών

Συνδέει τα πτερύγια στο κιβώτιο ταχυτήτων. Στην περίπτωση της παραπάνω γεννήτριας, ο ρότορας περιστρέφεται σχετικά αργά, με ταχύτητα 19-30rpm. Στον άξονα περιέχονται σωληνάκια με τη βοήθεια των οποίων λειτουργεί το υδραυλικό σύστημα αεροδυναμικής πέδησης των φτερών.

3) Κιβώτιο ταχυτήτων (εικ. 5.9)

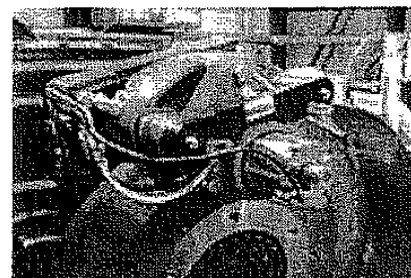
Έχει τον άξονα χαμηλών στροφών στα αριστερά και ανάλογα με την σχέση μετάδοσης κίνησης, ο άξονας υψηλών στροφών περιστρέφεται έως και 50 φορές ταχύτερα. Πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και α/γ χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.



Εικ. 5.9

4) Άξονας υψηλών στροφών (δρομέας γεννήτριας)

Η ταχύτητα περιστροφής του κυμαίνεται από 950-2000 rpm, ανάλογα με τη συχνότητα του δικτύου, τον αρ. πόλων της γεννήτριας, τη σχέση μετάδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων και τον τύπο της α/γ, και οδηγεί την ηλεκτρο-γεννήτρια. Είναι εξοπλισμένος με μηχανικό σύστημα πέδησης (δισκόφρενο) (εικ. 10), το οποίο χρησιμοποιείται εκτάκτως στην περίπτωση σφάλματος του αεροδυναμικού συστήματος πέδησης ή κατά την διάρκεια συντήρησης της α/γ.

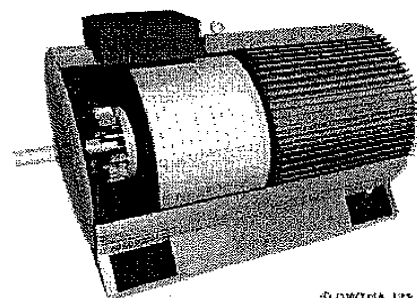


© 1998 www.WINDPOWER.org

Εικ. 5.10

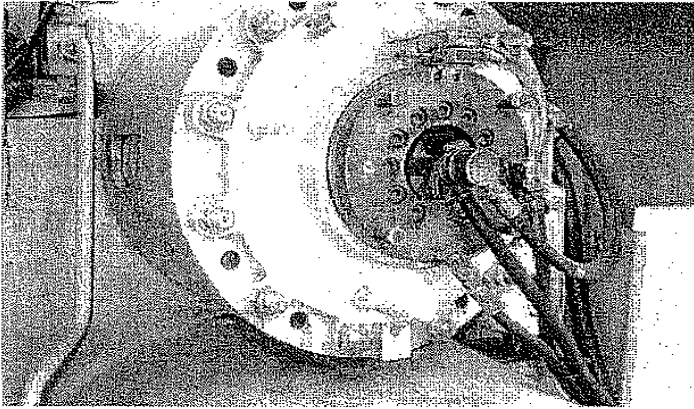
5) Γεννήτρια (εικ. 5.11, 5.12)

Η ηλεκτρογεννήτρια, που είναι συνήθως επαγωγική (ασύγχρονη) κλειστού κλωβού ή δακτυλιοφόρου δρομέα, μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Σε ένα σύγχρονο τύπο α/γ η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι 500-3000 kW. Στις α/γ πάνω από 100-150 kW η παραγόμενη τάση είναι τριφασική, 690V, εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ρεύμα έπειτα μεταφέρεται μέσω ενός μετασχηματιστή (εικ. 5.13)-ο οποίος είναι δίπλα ή μέσα στον πύργο- προς ανύψωση της τάσης κάπου μεταξύ 10000-30000V, ανάλογα με τα δεδομένα του τοπικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κατασκευαστές προμηθεύουν α/γ στην αγορά συχνότητας 50Hz και άλλες συχνότητας 60Hz για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Αμερικής.

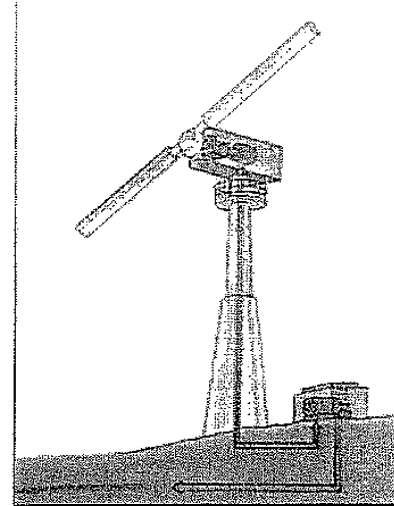


© 1998 WINDPOWER

Εικ. 5.11



Εικ. 5.12



Εικ. 5.13

6.3. Παραγωγή Ενέργειας με Χρήση Ανεμογεννητριών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η αιολική ενέργεια δηλαδή η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια είτε στην ξηρά για άλεση δημητριακών, είτε στις θαλάσσιες μεταφορές στα ιστιοφόρα καράβια. Τα τελευταία χρόνια η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ενέργειας γνωρίζει μεγάλη άνθηση και εφαρμόζονται νέες ιδέες για την εκμετάλλευσή της όπως αιολικά πάρκα, συνεργασία με σταθμούς diesel αλλά και σε συνδυασμό με Φ/Β στοιχεία σε αυτόνομα συστήματα.

Από θερμοδυναμική άποψη ο άνεμος είναι πηγή ενέργειας υψηλής ποιότητας και κατά συνέπεια προσφέρεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και γενικά μηχανικής ενέργειας. Δεν μολύνει το περιβάλλον και οι μόνες ουσιαστικά αρνητικές επιπτώσεις από τη χρήση αιολικών μηχανών είναι οι διαταραχές στη λήψη σημάτων ραδιοφώνου, τηλεόρασης κλπ επίδραση που ξεπερνιέται με χρήση πτερυγίων από ξύλο, ή fiberglass. Μειονέκτημά της είναι ότι είναι αραιή μορφή ενέργειας συγκρινόμενη με τη ροή ενέργειας που μπορούν να δώσουν οι μορφές ενέργειας που επικρατούν σήμερα, συνεπώς έχει αυξημένο κόστος. Επίσης μειονέκτημα είναι η σημαντική διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου και εποχιακά αλλά και σε μικρά χρονικά διαστήματα γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη είτε αποθήκευσης, είτε ύπαρξης συμπληρωματικής μορφής ενέργειας, ανάλογα με την εφαρμογή, με προφανείς οικονομικές επιπτώσεις.

Δύο βασικά φαινόμενα συντελούν στη δημιουργία των ανέμων. Η ηλιακή ακτινοβολία και η περιστροφή της γης. Λόγω της θέσης της ως προς τον ήλιο η γη είναι θερμότερη στον ισημερινό απ' ό,τι στους πόλους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πνέουν ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν τον θερμό αέρα μικρότερης πυκνότητας στον τροπικό που ανεβαίνει στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και από εκεί κινείται προς τους πόλους. Παράλληλα και η περιστροφή της γης επιδρά στις κινήσεις της ατμόσφαιρας. Η αδράνεια τείνει να στρέψει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της γης προς τα δυτικά και τον θερμό αέρα των ανώτερων στρωμάτων προς τα ανατολικά. Και ενώ θεωρητικά ο άνεμος πνέει από τις ζώνες υψηλής πίεσης προς τις ζώνες χαμηλής πίεσης, στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά μήκη η διεύθυνση του ανέμου επηρεαζόμενη από την περιστροφή της γης γίνεται παράλληλη με τις ισοβαρείς αντί να είναι κάθετη σε αυτές. Έτσι στο βόρειο ημισφαίριο ο άνεμος περιστρέφεται γύρω από τις περιοχές χαμηλής πίεσης με φορά αντίθετη αυτής της φοράς των δεικτών του ρολογιού και γύρω από τις περιοχές υψηλής πίεσης με φορά αυτή των δεικτών του ρολογιού. Στο νότιο ημισφαίριο οι φορές είναι αντίθετες.

Αποτέλεσμα της κίνησης του αέρα στην επιφάνεια της γης λόγω των περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης είναι η μεταβολή της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου κατά τη διάρκεια του έτους. Γενικά η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη το χειμώνα από τις άλλες εποχές.

Στο κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας και ιδιαίτερα στα πρώτα 500 ως 1.000 μέτρα από το έδαφος υπάρχουν έντονες αλλαγές των χαρακτηριστικών του ανέμου. Το τμήμα αυτό λέγεται οριακό στρώμα και το πάχος του εξαρτάται κύρια από την τραχύτητα του εδάφους (ύπαρξη εμποδίων όπως κτίρια κλπ) και τις καιρικές συνθήκες. Μέσα στο οριακό στρώμα η ταχύτητα μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει του ύψους H από το έδαφος καθώς και της τραχύτητας του εδάφους πάνω από το οποίο πνέει. Οι παρακάτω σχέσεις λαμβάνουν υπ' όψιν τους παράγοντες αυτούς και εκφράζουν την οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου σε τυχαίο ύψος.

$$V/V_0 = \ln(H/z_0) / \ln(H_0/z_0) \quad (6.1.1)$$

$$V/V_0 = \ln(H/H_0)^n \quad (6.1.2)$$

Όπου: V , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος H

V_0 , ταχύτητα στο H_0 ,

z_0 , το ύψος της τραχύτητας του εδάφους

n , η παράμετρος που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους.

Η σχέση 6.1.1 είναι πιο κατάλληλη για ύψη από 30m έως 50m ενώ η σχέση 6.1.2 είναι πιο ακριβής για μεγαλύτερα ύψη. Οι παράγοντες z και n συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση 6.1.3.

$$n = 0,04 * \ln z_0 + 0,03 * (\ln z_0)^2 + 0,24 \quad (6.1.3)$$

Πρέπει εδώ να τονισθεί ότι τα ύψη H και H_0 μετρούνται όχι από την επιφάνεια του εδάφους αλλά πάνω από το επίπεδο ταχύτητας του ανέμου μηδέν.

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην επιτάχυνση, την επιβράδυνση ή τις παρεκκλίσεις του ανέμου παίζει η τοπογραφία του εδάφους. Βουνά, λόφοι ή κορυφογραμμές έχουν μεγάλη επίδραση στο προφίλ της ταχύτητας του ανέμου. Οι ευνοϊκότερες περιοχές για αιολική εκμετάλλευση είναι οι κορυφογραμμές χαμηλών επιμηκών λόφων, παράλληλων προς την ακτή με μέτριες και προοδευτικές κλίσεις και χωρίς επίπεδο μέρος στην κορυφή. Στις περιοχές αυτές η ταχύτητα μπορεί να αυξηθεί κατά 60 - 80%.

6.4. Χαρακτηριστικά Των Ανεμογεννητριών

Αν θεωρηθεί σταθερή, αξονική ροή ασυμπίεστου και χωρίς τριβές αέρα δια μέσω ενός υποθετικού σωλήνα διατομής S , κινούμενου με σταθερή ταχύτητα V , η ισχύς του ανέμου P δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho * S * V^3 \quad (6.1.1)$$

όπου P είναι η πυκνότητα του αέρα που λαμβάνεται, ίση με 1,2 kg/m³. Αν στη ροή τοποθετηθεί ένας ανεμοκινητήρας με επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής S , το μέρος της ισχύος του ανέμου που ο ανεμοκινητήρας μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$P_M = \frac{1}{2} C_p * \rho * 8 * V^3 \quad (6.1.2)$$

όπου C_p είναι ο συντελεστής ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος είναι βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος των ανεμοκινητήρων. Είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος P_m που παράγει ο ανεμοκινητήρας προς την ισχύ P_w του ανέμου που διαπερνά την επιφάνεια σάρωσης της πτερωτής και δίνεται από τη σχέση:

$$c = P_M / P_w = 2 * P_M / \rho * S * V^3 \quad (6.1.3)$$

Οποιοσδήποτε ανεμοκινητήρας είναι αδύνατο να δεσμεύσει ολόκληρη την ισχύ του ανέμου που τον διαπερνά. Οι λόγοι είναι δύο:

- Ο αέρας που διαπερνά τον ανεμοκινητήρα πρέπει όχι μόνο να προσέρχεται αλλά και να απομακρύνεται από αυτόν και συνεπώς να διατηρεί κινητική ενέργεια.

- Η μάζα του αέρα που διαπερνά ανά μονάδα χρόνου το δρομέα ενός ανεμοκινητήρα είναι μικρότερη από τη μάζα που θα διαπερνούσε μία νοητή επιφάνεια S ίσου εμβαδού με το δρομέα. Ο δρομέας προκαλεί εκτροπή μέρους του αέρα το οποίο την παρακάμπτει χωρίς να τη διαπερνά.

Η μέγιστη θεωρητικά παραγόμενη ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$C_{p,max} = 16/27 = 0,593 \quad (6.1.4)$$

και επειδή πρωτοϋπολογίστηκε από τον Betz λέγεται όριο του Betz. Οι διάφορες απώλειες και άλλες αποκλίσεις που υπάρχουν στην πραγματική ροή όπως μηχανικές τριβές ή στροβιλισμοί στον αέρα που υποβαθμίζουν την ενέργεια του ανέμου σε θερμότητα μειώνουν το μέγιστο συντελεστή ισχύος σε 0,46 με 0,47.

Ο συντελεστής ισχύος σε κάθε συγκεκριμένο τύπο α/κ εξαρτάται από το λόγο λ (tip-speed ratio) της ταχύτητας, λόγω περιστροφής του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα V του ανέμου.

$$\lambda = \omega * R/V \quad (6.1.5)$$

Από τη σχέση 6.1.2 φαίνεται πως η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μεταβληθεί ουσιαστικά ακόμα και σε πολύ μικρές αποστάσεις, η παραγόμενη ισχύς και ενέργεια από μία ανεμογεννήτρια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση εγκατάστασής της. Για το λόγο αυτό η θέση εγκατάστασης είναι ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα με την επιλογή α/γ με μεγάλο C_p .

Μέχρι σήμερα έχει επινοηθεί και κατασκευαστεί μία μεγάλη ποικιλία αιολικών μηχανών που για την παρουσίαση κάθε μίας χρειάζεται ιδιαίτερη προσέγγιση. Μία κατ' αρχήν ταξινόμηση των αιολικών μηχανών είναι ο χωρισμός τους σε δύο κατηγορίες που η μία περιλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και η άλλη τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.

Και στις δύο περιπτώσεις διαχωρίζονται οι ανεμοκινητήρες με μικρή και μεγάλη στιβαρότητα. Ο όρος στιβαρότητα δίνει το λόγο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς τη μετωπική επιφάνεια σάρωσης S της πτερωτής. Για ανεμοκινητήρα οριζόντιου άξονα είναι:

$$\sigma = n * C * R / \pi * R^2 \quad (6.1.6)$$

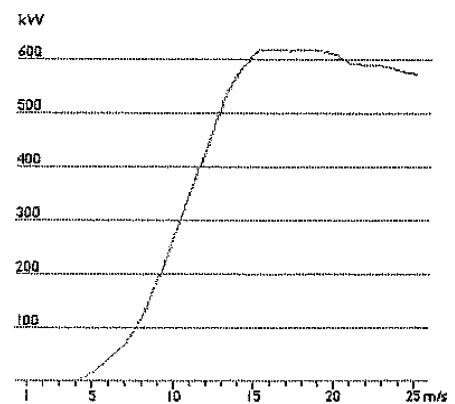
ενώ για ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι:

$$\sigma = n * C/R \quad (6.1.7)$$

Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα ο δρομέας αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια με υλικό κατασκευής αλουμίνιο, ξύλο, πλαστικό ή fiberglass με δυνατότητα μεταβολής κλίσης των πτερυγίων, ολόκληρων ή μόνο του άκρου τους με κατάλληλο μηχανισμό τοποθετημένο συνήθως στο χώρο μπροστά από τον άξονα περιστροφής. Ο δρομέας ανάλογα με την κατασκευή τοποθετείται ανάντη ή κατάντη του πύργου στήριξης και έχει δυνατότητα αλλαγής προσανατολισμού.

Ο δρομέας περιστρέφει τον άξονα της ανεμογεννήτριας που εδράζεται στο κιβώτιο των μηχανισμών, όπου υπάρχουν ο πολλαπλασιαστής στροφών, η ηλεκτρογεννήτρια, το σύστημα ελέγχου και ο μηχανισμός πέδησης. Η γεννήτρια μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, σύγχρονη ή ασύγχρονη. Οι ασύγχρονες γεννήτριες είναι γενικά πιο απλής κατασκευής και λειτουργούν μόνο παράλληλα με το δίκτυο (γιατί παίρνουν ρεύμα διέγερσης από αυτό) αλλά η ισχύς τους πρέπει να είναι μικρή ως προς την ισχύ του δικτύου. Οι σύγχρονες γεννήτριες είναι λιγότερο οικονομικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και παράλληλα με το δίκτυο και αυτόνομα και επειδή αυτοδιεγείρονται η ισχύς τους μπορεί να είναι συγκρίσιμη με αυτή του δικτύου και για τη σύνδεση με το δίκτυο απαιτείται ρύθμιση ισχύος. Ο πύργος στήριξης μπορεί να είναι είτε χαλύβδινος είτε από σκυρόδεμα.

Η παραγόμενη ισχύς από μία ανεμογεννήτρια $P_g(V)$ φαίνεται στο Σχήμα 3.1 όπου παρίσταται η τυπική καμπύλη ισχύος της α/γ συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου V . Η ανεμογεννήτρια αρχίζει να δίνει ισχύ όταν η ταχύτητα του ανέμου φθάσει την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut in speed) V_{min} , και δίνει την ονομαστική ισχύ P_r στην ονομαστική ταχύτητα (rated wind speed) V_r , και για λόγους ασφαλείας σταματά να



Σχ. 6.1

λειτουργεί όταν η ταχύτητα φτάσει στην ταχύτητα αποκοπής (Cut out speed) V_{max} . Η καμπύλη ισχύος περιγράφεται αναλυτικά από την 6.1.8.

$$(6.1.8) P_g = \begin{cases} 0, & \text{για } V < V_{min} \\ P_r, & \text{για } \begin{cases} n_m * n_c * C_p(\lambda) * 1/2 \rho * S * V^3, & \text{για } V_{min} < V < V_r \\ V_r < V < V_{max} \end{cases} \end{cases}$$

Το τμήμα της καμπύλης μεταξύ V_{min} και V_r μπορεί να προσεγγισθεί χονδρικά από ευθεία ή για μεγαλύτερη ακρίβεια από το παρακάτω πολυώνυμο.

$$P_g = a + b * V + c * V^2 \quad (6.1.9)$$

ΑΚΖ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η παραγωγή ηλεκτρισμού είναι μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες καθώς όλες οι δραστηριότητες συνδέονται άμεσα με τη χρήση του ηλεκτρισμού. Η Ελλάδα, ως γνωστό, παράγει το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρισμού από μόνη της μέσω των λιγνιτικών μονάδων. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) και την παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω αυτών. Μέσω των Α.Π.Ε. παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικές σχεδόν επιπτώσεις προς το περιβάλλον και για αυτό το λόγο παρατηρείται μια στροφή προς τις Α.Π.Ε.

Η χώρα μας λόγω ανεπιτυχών ενεργειακών πολιτικών έφτασε τα τελευταία χρόνια να βασίζει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών κατά 65% στο εισαγόμενο πετρέλαιο, ενώ κοινό είναι το αίσθημα ότι είναι προικισμένη από τη φύση με άφθονες ενεργειακές πηγές ανανεώσιμων μορφών. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα οι χρήσεις των Α.Π.Ε. εμφανίζεται στο νησιωτικό χώρο και ιδίως με τη μορφή των αιολικών πάρκων, καθώς το αιολικό δυναμικό σε αυτές τις περιοχές το επιτρέπει.

Εδώ και δέκα περίπου χρόνια γίνεται αρκετός λόγος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αξιοποίησή τους. Η κρίση του πετρελαίου, η επικείμενη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η βούληση των κρατών για εθνική και ανεξάρτητη ενεργειακή πολιτική με την αξιοποίηση των εγχώριων μορφών ενέργειας, οδηγούν στη χρήση των Α.Π.Ε. και δίνουν σε μεγάλο βαθμό λύση στα παραπάνω προβλήματα. Πηγή ενέργειας όπως η αιολική έχουν ένα χαρακτηριστικό που τις δίνει την ονομασία ανανεώσιμες, ότι δηλαδή από τη φύση ανανεώνονται διαρκώς και προσφέρονται στον άνθρωπο δωρεάν για εκμετάλλευση. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα οι χρήσεις των Α.Π.Ε. εμφανίζεται στο νησιωτικό χώρο και ιδίως με τη μορφή των αιολικών πάρκων, καθώς το αιολικό δυναμικό σε αυτές τις περιοχές το επιτρέπει.

Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό των Α.Π.Ε. είναι ότι δεν είναι εξαγωγίμες, συνεπώς η εκμετάλλευσή τους πρέπει να γίνεται στη θέση που εμφανίζονται άρα πρόκειται για ένα αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Αξίζει να αναφερθεί επίσης ότι δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον οπότε η εκμετάλλευσή τους είναι συνεπής προς μια οικολογική σωστή αντιμετώπιση της σχέσης ανθρώπινης δραστηριότητας και περιβάλλον, μια σχέση που μόνο τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος συνειδητοποίησε ότι πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη σε όλα τα σενάρια οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης.

Σύμφωνα με όλα όσα αναφέραμε παραπάνω, και στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια (Μ.Π.Η.Α.Ε.) είναι αναγκαία η χρήση της ανάλυσης κύκλου ζωής και ιδιαίτερα στα πρώτα στάδια δηλαδή της κατασκευής και της εγκατάστασης της μονάδας καθώς κατά τη λειτουργία της οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σχεδόν αμελητέες, όπως και από όλες τις Α.Π.Ε. και για αυτό άλλωστε χαρακτηρίζονται σαν φιλικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προς το περιβάλλον.

Σκοπός είναι να υπολογιστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

6.5. Στάδια για ΑΚΖ Αιολικού Πάρκου

Για την ΑΚΖ ενός αιολικού πάρκου τα στάδια που λαμβάνουν χώρα από την κατασκευή της ανεμογεννήτριας μέχρι την απόρριψη των διαφόρων τμημάτων της είναι:

- Εξαγωγή πρώτων υλών
- Μεταφορά πρώτων υλών
- Επεξεργασία υλικών
- Κατασκευή τμημάτων που αποτελούν την α/γ
- Μεταφορά των τμημάτων
- Συναρμολόγηση της α/γ
- Λειτουργία της α/γ
- Παροπλισμός της α/γ
- Διάθεση προϊόντων της α/γ

6.5.1. Καθορισμός και Οριοθέτηση του Συστήματος

Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου που μελετάμε το σύστημα καθορίζεται όχι μόνο με βάση τη λειτουργία του αλλά και

- Τις γεωγραφικές θεωρήσεις
- Τα χρονικά όρια
- Τις πηγές εισερχόμενων στοιχείων

Οπότε προκύπτει ότι το σύστημα αντιπροσωπεύει το αιολικό πάρκο. Η είσοδος αναφέρεται στον αέρα που δίνει την κινητική ενέργεια και από την έξοδο προκύπτει η ηλεκτρική ενέργεια.

Η διάρκεια ζωής των επιμέρους στοιχείων των Α/Γ και άρα και του αιολικού πάρκου ορίζεται στα 20 χρόνια και κατά την διάρκεια αυτή θεωρούμε ότι δεν γίνεται καμιά αντικατάσταση κάποιου κύριου στοιχείου των α/γ.

6.5.2. Στοιχεία Αιολικού Πάρκου

Το Α/Π που εξετάζουμε αποτελείται από 18 Α/Γ τοποθετημένες σε δύο σειρές και κάθε σειρά αποτελείται από 9 α/γ. Η απόσταση των δύο σειρών είναι 580m ενώ η απόσταση μεταξύ των α/γ είναι 188m.

Ο σωληνοειδής ατσάλινος πύργος έχει ύψος περίπου 41,5m. Η πρόσβαση στην γεννήτρια και στην τουρμπίνα γίνεται μέσω μιας εσωτερικής σκάλας.

Η παραγόμενη ισχύς μεταφέρεται μέσω καλωδίων από το εσωτερικό του πυλώνα στον πίνακα ελέγχου ο οποίος είναι εγκατεστημένος στη βάση και συνδέεται μέσω υπογείων καλωδίων με το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής με τη σειρά του, που είναι εγκατεστημένος εξωτερικά του πυλώνα, ανυψώνει την τάση από 690Volt σε 21.000 volt.

Όλοι οι μετασχηματιστές συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους και η κύρια γραμμή ισχύος καταλήγει στον υποσταθμό. Ο υποσταθμός αποτελεί ξεχωριστό χώρο στις κτιριακές εγκαταστάσεις του αιολικού πάρκου για λόγους ασφαλείας. Η παραγόμενη ενέργεια μεταφέρεται μέσω μιας ανεξάρτητης γραμμής μεταφοράς στον κοντινότερο υποσταθμό και από εκεί διανέμεται στους καταναλωτές.

6.5.3. Μοντέλο Της ΑΚΖ

Με την ΑΚΖ προσπαθούμε να υπολογίσουμε τα ποσά τις ενέργειας που χρησιμοποιούμε σε κάθε περίπτωση που σχετίζονται με την κατασκευή των υλικών, τη μεταφορά και την κατασκευή, καθώς και τις εκπομπές των καυσαερίων που παράγονται κατά τις παραπάνω διαδικασίες. Αυτό είναι σημαντικό ιδίως στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς αρκετοί ισχυρίζονται ότι η ενέργεια παίρνουμε από τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κατά τη λειτουργία τους, είναι μικρότερη από αυτή που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή αυτών των τεχνολογιών.

Το μοντέλο της ΑΚΖ βασίζεται στις παρακάτω υποθέσεις:

- Διάρκεια ζωής α/γ 20 χρόνια
- Δεν γίνεται καμία αντικατάσταση κύριου συστατικού κατά τη διάρκεια ζωής.

Για όλα τα υλικά, τα ποσά ενέργειας και οι εκπομπές των ρύπων που υπολογίζουμε βάση της ΑΚΖ των υλικών, προκύπτουν από το άθροισμα των αντίστοιχων ποσοτήτων που προκύπτουν κατά την απόκτηση, επεξεργασία, μεταφορά και διάθεση των επιμέρους υλικών.

Είναι αναγκαίο να κάνουμε κάποιες υποθέσεις σχετικά με τη χώρα και την περιοχή από όπου προέρχεται το υλικό, τη διαδικασία επεξεργασίας, τη διαδικασία διάθεσης και κάποιες υποθέσεις σχετικά με την ανακύκλωση του υλικού.

Τα υλικά από τα οποία αποτελείται μια Α/Γ μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές χώρες, γεγονός που καθιστά δύσκολο των ακριβή υπολογισμό τόσο των ποσοτήτων ενέργειας που χρησιμοποιούνται όσο και των αερίων που εκπέμπονται. Εμείς θα υποθέσουμε ότι η ενέργεια που χρησιμοποιούμε κατά τα στάδια της εξόρυξης των υλικών, μεταφοράς, επεξεργασίας και διανομής προέρχεται από τη Δανία. Αυτό σημαίνει ότι οι υπολογισμοί που θα κάνουμε δεν είναι ακριβής καθώς τα στάδια που προαναφέραμε μπορεί να πραγματοποιηθούν και σε κάποια άλλη χώρα όπου εκεί οι συνθήκες είναι εντελώς διαφορετικές. Παραδείγματος χάρη το αλουμίνιο παράγεται στη Νορβηγία με τη χρήση υδρογόνου ενώ στη Δανία με τη καύση άνθρακα, είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι τα καυσαέρια που παράγονται στη Δανία είναι πολύ περισσότερα από τα αντίστοιχα της Νορβηγίας.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω η συνολική ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή, μεταφορά και κατασκευή 1Kg υλικού μιας Α/Γ φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ο χαλκός και ο ψευδάργυρος απαιτούν πολύ ενέργεια, ενώ για το μπετόν και το γυαλί έχουν μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια.

Όμως για την εξόρυξη, τη μεταφορά και την παραγωγή των υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή της Α/Γ καταναλώνεται ενέργεια. Επειδή ο χάλυβας αποτελεί το κυριότερο μέταλλο, όπως είδαμε και παραπάνω, είναι φυσικό να απαιτεί περισσότερη ενέργεια για την εξόρυξη του.

Πέρα από τις απαιτήσεις ενέργειας στην ΑΚΖ καθοριστικό ρόλο παίζει και οι εκπομπές των αερίων. Σε ότι σχετίζεται με τις αέριες εκπομπές χρησιμοποιούμε στοιχεία της Δανίας. Οι υπολογισμοί των εκπομπών προέρχονται από την ενέργεια που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή των υλικών. Για τη μεταφορά των υλικών χρησιμοποιούνται βαριά οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ως καύσιμο υλικό το πετρέλαιο.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα στοιχεία που σχετίζονται με τις αέριες εκπομπές για την παραγωγή του κάθε υλικού, που συμπεριλαμβάνει την εξόρυξη, την μεταφορά, την επεξεργασία και τελικά την κατασκευή του υλικού.

Πίνακας 6.1. Συνολική κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή των υλικών.

	<u>ΚΟΚ</u> (MJ/kg)	<u>ΑΝΘΡΑΚΑ</u> Σ (MJ/kg)	<u>ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ</u> (MJ/kg)	<u>ΦΥΣΙΚ</u> <u>Ο</u> <u>ΑΕΡΙΟ</u> (MJ/kg)	<u>ΣΥΝΟΛ</u> <u>Ο</u> (MJ/kg)
ΧΑΛΥΒΑΣ	1.6	14.1-20.7	4.9-8.2	0.1	20.7-30.6
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	0	23.1-31.5	8-11.4	1.4-2.9	32.5-45.8
ΧΑΛΚΟΣ	3	45.1	13.6	16.5	78.2
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	0	30.8	9.8	5.1	45.7
PVC	0	19	12.6	6.6	38.2
ΕΛΑΣΤΙΚΑ	0	19.8	20.5	0	40.3
ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΣΙΑΗΡΟΣ	7.4	10.6	18.2	0.1	36.3
ΜΠΕΤΟΝ	0	3.45	0.23	0	3.68
ΜΟΛΥΒΔΟΣ	0	20.3	9	6.3	35.6
ΨΕΥΔΑΡΙΓΥΡΟΣ	0	61.3	9.3	2.4	73
ΓΥΑΛΙ	0	1	0.8	7.5	9.3
ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΓΥΑΛΙ	0	2	0.8	5.3	8.1
ΜΟΝΩΤΙΚΟΣ ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ (m ³)	168	84	81	3	336
ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΓΥΑΛΙ (m ³)	0	121	6	102	229

Πίνακας 6.2. Αέριες εκπομπές ανά kg παραγόμενου προϊόντος.

	SO ₂ , g	NO _x , g	CO ₂ , g	N ₂ O, g	CH ₄ , g	NMVOC, g	CO, g
ΧΑΛΥΒΑΣ	12-17	8-11	1871-2742	0.06-0.08	0.03-0.05	0.15-0.17	0.88-0.98
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	18-24	11-15	2866-4001	0.09-0.12	0.05-0.08	0.13-0.16	0.67-0.82
ΧΑΛΚΟΣ	35.61	23.19	6536	0.19	0.16	0.25	1.57
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	22.91	14.71	3941	0.12	0.08	0.2	1.1
PVC	14.75	10.49	3113	0.09	0.08	0.2	1.04
ΕΛΑΣΤΙΚΑ	16.06	10.61	3398	0.1	0.06	0.18	1.06
ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΣΙΑΗΡΟΣ	14.58	8.89	3114	0.09	0.06	0.18	1.57
ΜΠΕΤΟΝ	0.01	2.5	703	0	0	0	0
ΜΟΛΥΒΔΟΣ	18.19	19.82	2953	0.11	0.07	0.55	2.03
ΨΕΥΔΑΡΙΓΥΡΟΣ	47.49	35.66	6648	0.23	0.12	0.6	2.39
ΓΥΑΛΙ	0.87	2.41	581	0.01	0.04	0.15	0.66
ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟ ΓΥΑΛΙ	1.58	2.48	551	0.01	0.03	0.14	0.64
ΜΟΝΩΤΙΚΟ (m ³)	6.08	2.82	1042	0.03	0.02	0.06	0.82
ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΓΥΑΛΙ (m ³)	4.98	3.96	1008	0.03	0.03	0.08	0.36
ΜΠΕΤΟΝ	0.6	3.2	835	0	0	0	0

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε οι εκπομπές των CO₂, SO₂, NO_x είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα υπόλοιπα. Πιο αναλυτικά παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας που περιέχει τις συνολικές μέσες τιμές εκπομπών που προκύπτουν από τα παραπάνω στοιχεία του πίνακα.

SO ₂ , g	NO _x , g	CO ₂ , g	N ₂ O, g	CH ₄ , g	NMVO C, g	CO, g
219.2	163.2	40160	1.185	0.855	2.897	14.915

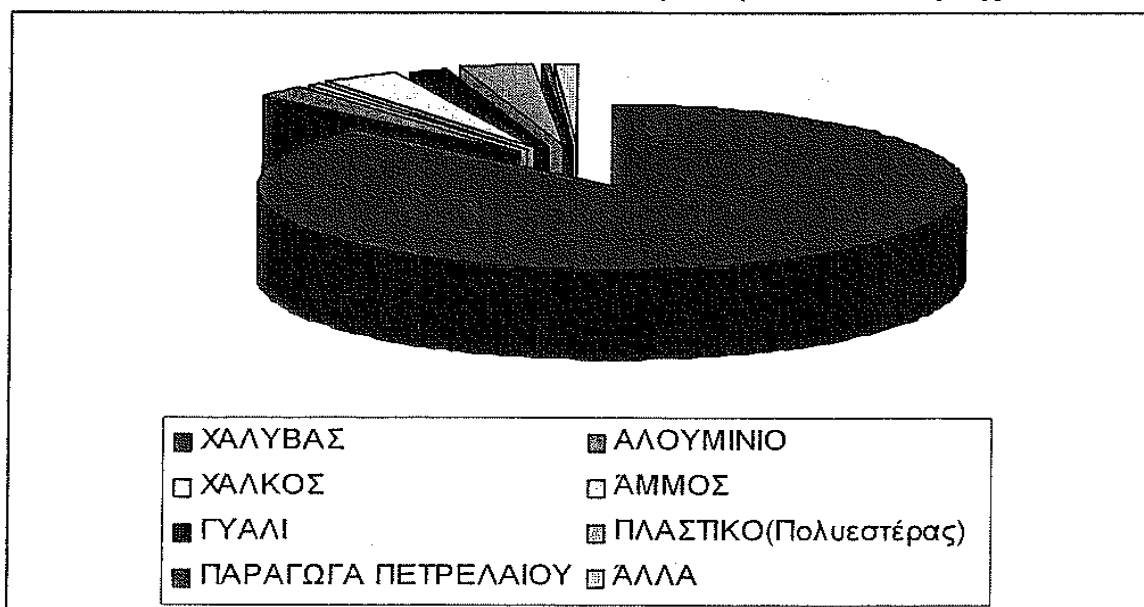
ΑΚΖ ΓΙΑ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

Στην μελέτη που θα κάνουμε μελετάμε όπως προαναφέραμε μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 500 kW και με ύψος 40m. Για την κατασκευή αυτής της Α/Γ χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά από υλικά. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κυριότερα από αυτά τα υλικά καθώς και η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε και το ποσοστό συμμετοχής τους.

Πίνακας 6.3. Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του αιολικού πάρκου.

ΥΛΙΚΑ	Kg	ΠΟΣΟΣΤ Ο
ΧΑΛΥΒΑΣ	948.600	87.18%
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	25.200	2.31%
ΧΑΛΚΟΣ	6.300	0.58%
ΑΜΜΟΣ	37.800	3.47%
ΓΥΑΛΙ	19.800	1.83%
ΠΛΑΣΤΙΚΟ (Πολυεστέρας)	36.000	3.31%
ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	1.800	0.16%
ΑΛΛΑ	12.600	1.16%

Βάση του παραπάνω πίνακα προκύπτει το διάγραμμα πίτας όπου γίνεται πιο εύκολα κατανοητή το ποσοστό συμμετοχής του κάθε υλικού για την κατασκευή της Α/Γ.



Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία για την κατασκευή μιας Α/Γ χρησιμοποιούμε σαν κύριο υλικό το χάλυβα ενώ τα υπόλοιπα υλικά έχουν μικρό ποσοστό συμμετοχής.

Αξίζει να αναφερθεί, ότι για την κατασκευή του αιολικού πάρκου μεγάλο κομμάτι κατέχει και η διαδικασία θεμελίωσης των Α/Γ. Για τη θεμελίωση χρησιμοποιούμε μπετόν σε μεγάλη ποσότητα και ενισχυμένο σίδηρο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αυτά τα στοιχεία.

Πίνακας 6.4 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του αιολικού πάρκου.

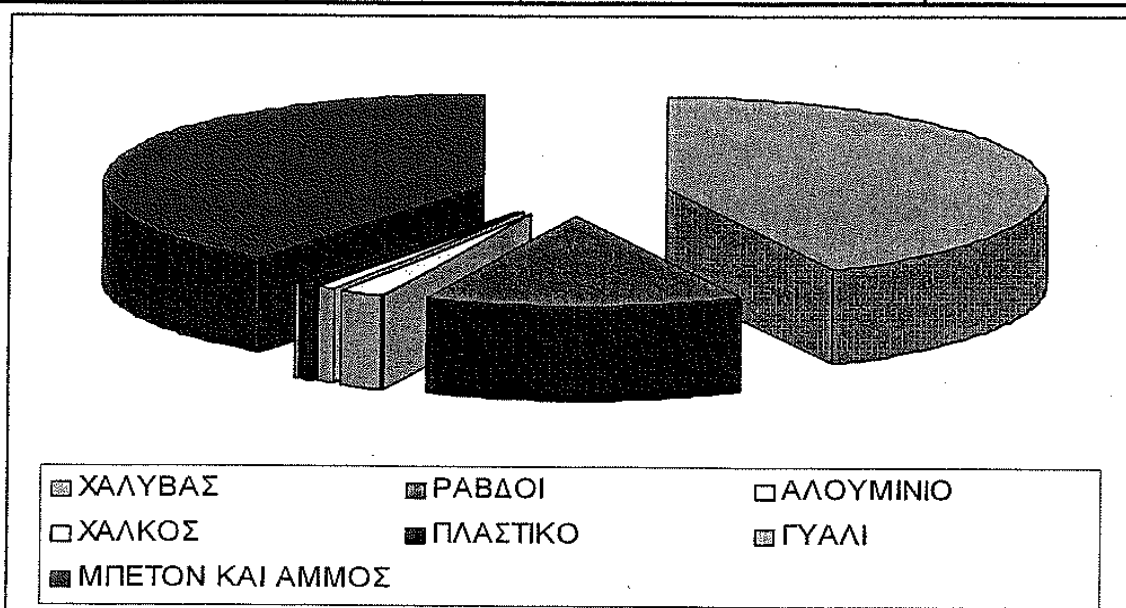
ΘΕΜΕΛΙΑ	
ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΣΙΔΗΡΟΣ	216.000
ΜΠΕΤΟΝ	5.085.000

6.5.4. Πρώτες Ύλες

Αρχικά για την κατασκευή του αιολικού πάρκου πρέπει να παραχθούν οι πρώτες ύλες από τις οποίες θα προκύψουν οι Α/Γ. Το αρχικό αυτό στάδιο συμπεριλαμβάνει την εξόρυξη, τη μεταφορά και την παραγωγή των πρώτων υλών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποσά της ενέργειας που χρησιμοποιούνται στο στάδιο αυτό.

Πίνακας 6.5 Ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή των πρώτων υλών.

ΥΛΙΚΟ	MJ/ανεμ. 5	MJ/Kwh	ΠΟΣΟΣΤΟ
ΧΑΛΥΒΑΣ	19.514.62 5	4.928E-02	42,80%
ΡΑΒΔΟΙ	6.170.775	1.558E-02	13,53%
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	876.525	2.213E-03	1,92%
ΧΑΛΚΟΣ	464.100	1.172E-03	1,02%
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	20.775	5.146E-04	0,45%
ΓΥΑΛΙ	181.350	4.580E-04	0,40%
ΜΠΕΤΟΝ ΚΑΙ ΑΜΜΟΣ	18.180.82 5	4.591E-02	39,88%
ΣΥΝΟΛΟ	45.591.97 5	1.151E-01	100%



Στο στάδιο κατασκευής της Α/Γ εκπέμπονται, όπως είδαμε και παραπάνω, ρύποι οι οποίοι οφείλονται στην ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα που καταναλώνονται καθώς και στους ρύπους που παράγονται για τη μεταφορά των υλικών.

Η μεταφορά γίνεται κυρίως χερσαία με βαριά οχήματα τα οποία ως κύριο καύσιμο χρησιμοποιούν το πετρέλαιο.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του αιολικού πάρκου δεν παρατηρούνται εκπομπές αέριων ρύπων, αλλά ούτε καταναλώνουμε κάποια ποσά ενέργειας.

Μετά το τέλος λειτουργίας της Α/Γ ακολουθεί η διάθεση των υλικών και των τμημάτων που αποτελούν την Α/Γ. Παραπάνω έγινε εκτενή αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή της Α/Γ τα περισσότερα εκ των οποίων είναι ανακυκλώσιμα και μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή κάποιας άλλης Α/Γ.

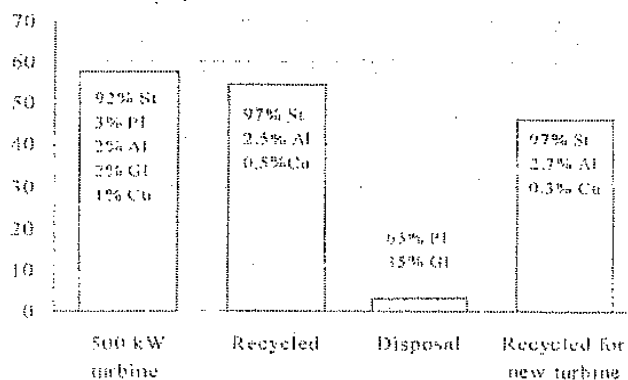
Για την Α/Γ που μελετάμε έχει βάρος περίπου γύρω στους 55 τόνους από τους οποίους το 87.18% είναι χάλυβας ο οποίος χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πύργου. Τα υλικά που δεν ανακυκλώνονται είναι το γυαλί και τα πλαστικά που κατέχουν συνολικά 5.14% και αυτά αποβάλλονται. Το υπόλοιπο 94.86% είναι ανακυκλώσιμο. Από τα υλικά που ανακυκλώνονται το 80% μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή μιας νέας Α/Γ. αυτό γίνεται γιατί

σε μια καινούρια Α/Γ ο χάλυβας πρέπει να προέρχεται μέχρι 85% από ανακυκλώσιμο χάλυβα και κατά 15% από νέο, ακατέργαστο χάλυβα.

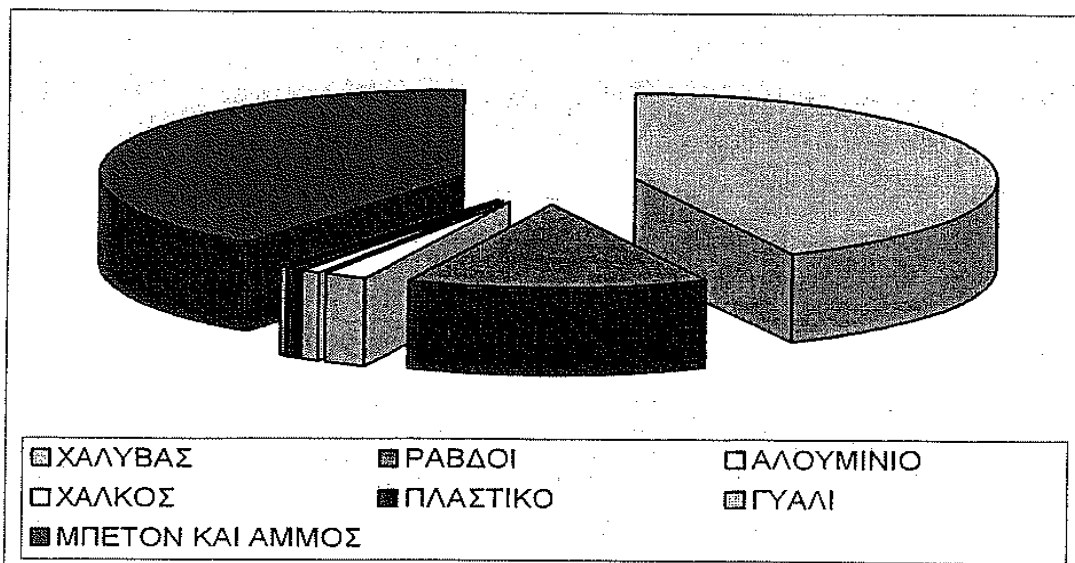
Με τον ίδιο τρόπο και το αλουμίνιο της καινούργιας Α/Γ αποτελείται κατά 85% από ανακυκλούμενο υλικό και 15% από νέο, ενώ ο χαλκός παράγεται από 40% από ανακυκλωμένο χαλκό και 60% από ακατέργαστο. Όλα τα στοιχεία που προαναφέραμε συνοψίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Για την αποσυναρμολόγηση και την εναπόθεση των υλικών και των τμημάτων της Α/Γ μετά το τέλος του κύκλου ζωής απαιτείται ενέργεια. Τα ποσά της ενέργειας που απαιτούνται για την προαναφερθείσα διαδικασία αποτυπώνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 6.6: .Ενέργεια που απαιτείται για την αποσυναρμολόγηση της Α/Γ και τη διάθεση των υλικών.



ΥΛΙΚΟ	ΜJ/ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	ΜJ/ΚWh	ΠΟΣΟΣ ΤΟ
ΧΑΛΥΒΑΣ	500.375	$1,264 \cdot 10^{-3}$	42,80%
ΡΑΒΔΟΙ	158.225	$3,996 \cdot 10^{-4}$	13,53%
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	22.475	$5,676 \cdot 10^{-5}$	1,92%
ΧΑΛΚΟΣ	11.900	$3,005 \cdot 10^{-5}$	1,02%
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	5.225	$1,319 \cdot 10^{-5}$	0,45%
ΓΥΑΛΙ	4.650	$1,174 \cdot 10^{-5}$	0,4%
ΜΠΕΤΟΝ ΚΑΙ ΑΜΜΟΣ	466.175	$1,177 \cdot 10^{-3}$	39,88%
ΣΥΝΟΛΟ	1.169.025	$2,952 \cdot 10^{-3}$	100%



Ομοίως κατά τη διάθεση των υλικών και την αποσυναρμολόγηση της Α/Γ το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας χρησιμοποιείται για τα θεμέλια και το χάλυβα.

Κατά την αποσυναρμολόγηση και διάθεση των υλικών εκπέμπονται αντίστοιχα κάποιοι ρύποι οι οποίοι αναλυτικά παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:

Πίνακας 6.7

	SO_2 g	NO_x g	CO_2 , g	N_2O , g	CH_4	NMVOC	CO g
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	3,6	6	4680	0,16	0,24	0,36	87,52
PVC	3,6	6	4680	0,16	0,24	0,36	87,52
ΕΛΑΣΤΙΚΑ	1,8- 3,6	3-6	2340-4680	0,08-0,16	0,16-0,24	0,18-0,36	43,8- 87,5

Οπότε οι συνολικές αέριες εκπομπές από όλα τα στάδια που μελετήσαμε παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.8

SO_2 , g	NO_x , g	CO_2 , g	N_2O , g	CH_4	NMVOC	CO g
229.1	179.7	53030	1.625	1.515	3.887	255.66

Εκτός από τους ρύπους που παράγονται για την κατασκευή της Α/Γ και τη διάθεση των υλικών τους προκύπτουν και κάποια προβλήματα κατά τη διάρκεια λειτουργίας της.

6.6. Αποτίμηση Επιπτώσεων

Κατά τη διάρκεια της αποτίμησης των επιπτώσεων ασχολούμαστε με τα ακόλουθα

- Ταξινόμηση των επιπτώσεων
- Χαρακτηρισμό των επιπτώσεων
- Κανονικοποίηση των επιπτώσεων
- Αξιολόγηση των επιπτώσεων

Κατά το στάδιο της ταξινόμησης των επιπτώσεων ασχολούμαστε με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από τα αέρια που εκπέμπονται κατά τα διάφορα στάδια για την κατασκευή του αιολικού πάρκου – αναλυτικότερα, με την ύπαρξη αέριων εκπομπών που συμβάλουν στην εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, την όξινη βροχή, τον ευτροφισμό, την καταστροφή του στρώματος του όζοντος, το σχηματισμό φωτοχημικών, την οικολογική και ανθρώπινη τοξικότητα.

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

	ΠΟΣΟΤΗΤΑ/ΚΓ ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ
CO_2	53030	1	53030
CH_4	1.515	11	16.66
N_2O	1.625	270	438.75

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΓ CO_2

53485.41

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

	ΠΟΣΟΤΗΤΑ/Kg ΥΛΙΚΟΥ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ
SO ₂	229.1	1	229.1
NO _x	179.7	0.7	125.79

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ KG SO₄

354.89

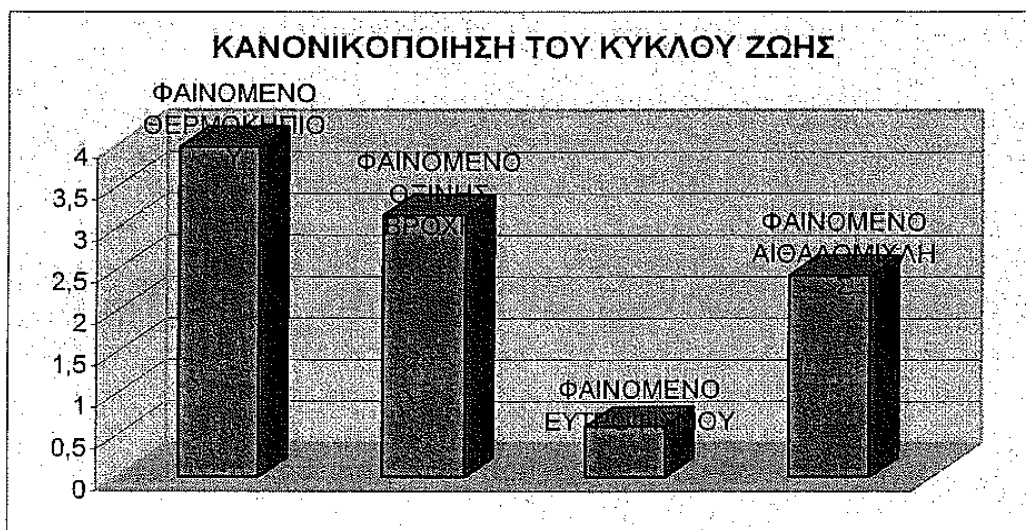
Οι συντελεστές χαρακτηρισμού προκύπτουν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Στη συνέχεια με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς θα υπολογίσουμε τις τιμές κανονικοποίησης πολλαπλασιάζοντας τις ισοδύναμες εκπομπές για κάθε κατηγορία επίπτωσης με τους αντίστοιχους συντελεστές κανονικοποίησης που παίρνουμε από τον πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9

	ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΤΙΜΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΟΥ Kg CO ₂ eq	53485.41	0.0000742	3.9686
ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ Kg SO ₄ eq	354.89	0.00888	3.1514

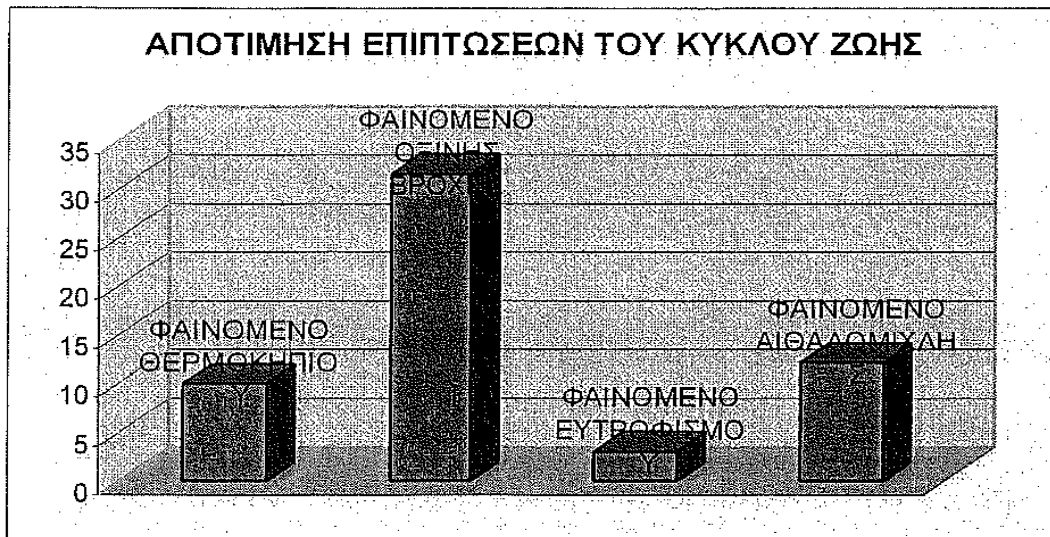
Οπότε προκύπτει τελικά με τους περαιτέρω υπολογισμούς το παρακάτω διάγραμμα.



Στη συνέχεια και πάλι με βάση τον πίνακα 6.9 υπολογίζονται οι τιμές αξιολόγησης πολλαπλασιάζοντας τις τιμές κανονικοποίησης με τους αντίστοιχους συντελεστές αξιολόγησης για κάθε φαινόμενο.

	ΤΙΜΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΟΥ	3.9686	2.5	9.9215
ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ	3.1514	10	31.514
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ	0.612	5	3.06
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΑΛΗΣ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ	2.428	5	12.14

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει τελικά το παρακάτω διάγραμμα.



Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί και για τα επί μέρους στάδια για να μπορέσουμε να κάνουμε και κάποιες συγκρίσεις.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αντίστοιχες αέριες εκπομπές που προκύπτουν για την κατασκευή και το τελικό στάδιο της αποσυναρμολόγησης.

SO ₂ , g	NO _x , g	CO ₂ , g	N ₂ O, g	CH ₄	NM VOC	CO, g
229.1	179.7	53030	1.625	1.515	3.887	255.66
9.9	16.5	12870	0.44	0.66	0.99	240.74

6.7. Κατασκευή

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ
CO ₂	40160	1	40160
CH ₄	0.855	11	9.4
N ₂ O	1.185	270	319.95

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ KG CO₂

40489.35

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ
SO ₂	219.2	1	219.2
NO _x	163.2	0.7	114.24

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ KG SO₄

333,44

Οι συντελεστές χαρακτηρισμού προκύπτουν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Στη συνέχεια με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς θα υπολογίσουμε τις τιμές κανονικοποίησης πολλαπλασιάζοντας τις ισοδύναμες εκπομπές για κάθε κατηγορία επίπτωσης με τους αντίστοιχους συντελεστές κανονικοποίησης που παίρνω από τον πίνακα 6.9.

	<u>ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ</u> <u>ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ</u> Kg CO ₂ eq	40489.35	0.0000742	3.004
<u>ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ</u> Kg SO ₄ eq	333.44	0.00888	2.961

Στη συνέχεια και πάλι με βάση τον πίνακα 6.9 υπολογίζονται οι τιμές αξιολόγησης πολλαπλασιάζοντας τις τιμές κανονικοποίησης με τους αντίστοιχους συντελεστές αξιολόγησης για κάθε φαινόμενο.

	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ</u>	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ</u> <u>ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ</u>
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ</u>	3.004	2.5	7.51
<u>ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ</u>	2.961	10	29.61
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ</u>	0.5558	5	2.779
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΑΛΗΣ</u> <u>ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ</u>	2.323	5	11.615

6.8. Αποσυναρμολόγηση

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

	<u>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ</u>	<u>ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ</u> <u>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</u>
CO ₂	12870	1	12870
CH ₄	0.66	11	7.26
N ₂ O	0.44	270	118.8

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ KG CO₂

12996.06

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΞΙΝΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

	<u>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ</u>	<u>ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ</u> <u>ΠΟΣΟΤΗΤΑ</u>
SO ₂	9.9	1	9.9
NO _x	16.5	0.7	11.55

ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ KG SO₄

21.45

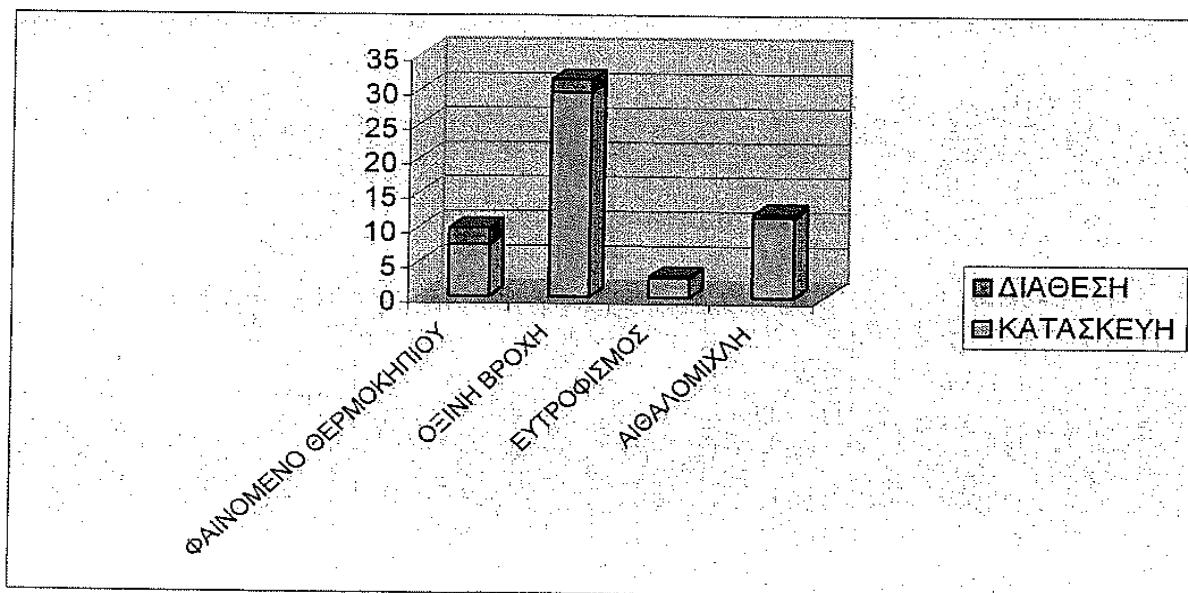
Οι συντελεστές χαρακτηρισμού προκύπτουν από τους αντίστοιχους πίνακες.

Στη συνέχεια με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς θα υπολογίσουμε τις τιμές κανονικοποίησης πολλαπλασιάζοντας τις ισοδύναμες εκπομπές για κάθε κατηγορία επίπτωσης με τους αντίστοιχους συντελεστές κανονικοποίησης που παίρνουμε από τον πίνακα 6.9

	<u>ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ</u> <u>ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ</u> Kg CO ₂ eq	12996.06	0.0000742	0.964
<u>ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ</u> Kg SO ₄ eq	21.45	0.00888	0.19

Στη συνέχεια και πάλι με βάση τον πίνακα 8 υπολογίζονται οι τιμές αξιολόγησης πολλαπλασιάζοντας τις τιμές κανονικοποίησης με τους αντίστοιχους συντελεστές αξιολόγησης για κάθε φαινόμενο.

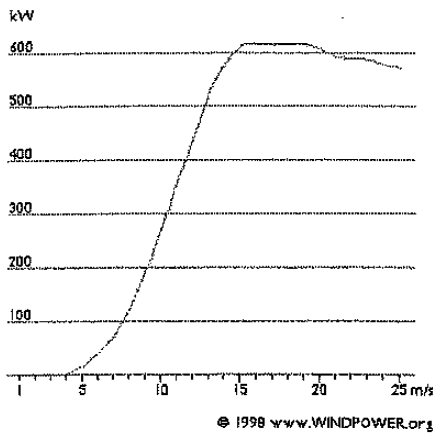
	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	<u>ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ</u> <u>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ</u>	<u>ΤΙΜΕΣ</u> <u>ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ</u> <u>ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ</u>
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ</u>	0.964	2.5	2.41
<u>ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ</u>	0.19	10	1.9
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ</u>	0.0562	5	0.281
<u>ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ</u> <u>ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΑΛΗΣ</u> <u>ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ</u>	0.105	5	0.525



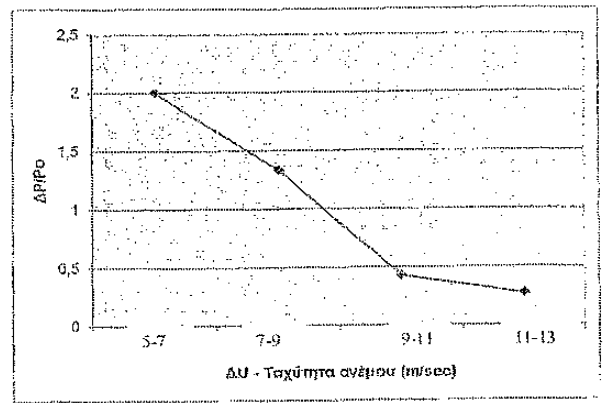
Απ' ότι φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, οι αέριοι ρύποι που εκπέμπονται επιδρούν περισσότερο στο φαινόμενο της όξινης βροχής και λιγότερο στο φαινόμενο του ευτροφισμού.

6.9. Εξεργειακή Ανάλυση Αιολικής Ενέργειας

Θα γίνει εξεργειακή ανάλυση για μία ανεμογεννήτρια 500kW που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη. Από τα τεχνικά της χαρακτηριστικά που φαίνονται στο σχ. 6.2 δίνεται ότι η διάμετρός της είναι 40m. Επίσης από την καμπύλη ισχύος του σχήματος 6.3 σχηματίζεται ο πίνακας στον οποίο φαίνεται η παραγόμενη ισχύς ως συνάρτηση του αέρα.



Σχήμα 6.2: Παραγόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας ως συνάρτηση της ταχύτητας του αέρα



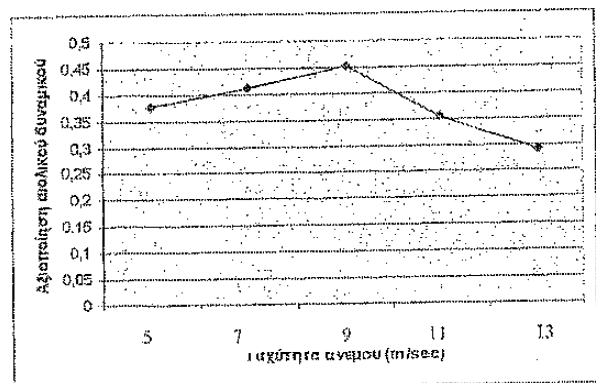
Σχήμα 6.3. Λόγος μεταβολής παραγόμενης ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου

Το σχήμα 6.3 είναι βασισμένο στα δεδομένα του πίνακα.

Ο λόγος της μεταβολής της παραγόμενης ισχύος εξαρτάται τόσο από της ονομαστική ισχύ της γεννήτριας αλλά και από την ταχύτητα του ανέμου.

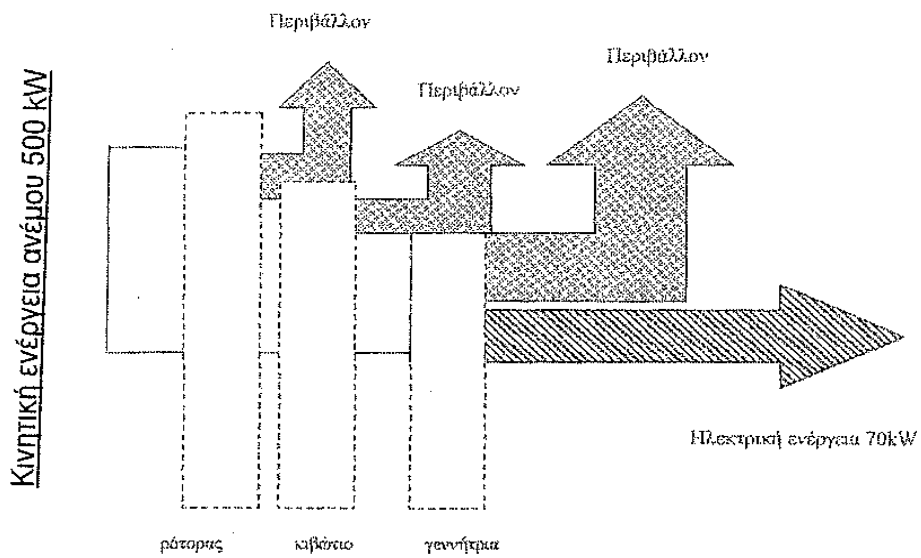
Το μέγεθος που ενδιαφέρει στην παρούσα εργασία είναι η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού ή αλλιώς η απόδοση της ανεμογεννήτριας που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που παράγεται από την ανεμογεννήτρια ανά τετραγωνικό μέτρο της περωτής προς την πυκνότητα ενέργειας του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο. Η απόδοση αυξάνει σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα για μικρές ταχύτητες και είναι σχεδόν σταθερή για ταχύτητες πάνω από 7m/sec: Η πυκνότητα ενέργειας του ανέμου δίνεται από το γινόμενο $1/2\rho v^3$ όπου P η πυκνότητα του αέρα που λαμβάνεται ίση με $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Όπως έχει σημειωθεί και προηγουμένως και όπως φαίνεται και στο σχήμα η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί το ολικό δυναμικό του ανέμου. Σύμφωνα με το όριο του Betz μια ανεμογεννήτρια μπορεί να εκμεταλλευτεί μέχρι το 60% του αιολικού δυναμικού. Βέβαια στην πράξη η απόδοση είναι περίπου στο 35 - 45%. Η υπόλοιπη ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται είναι απώλεια εξέργειας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση που η μέση ταχύτητα του ανέμου σε όλη τη διάρκεια του χρόνου είναι 9m/sec η απόδοση βρίσκεται στο μέγιστο όριο του 45%, για τα νησιά στην Ελλάδα.



Σχήμα 6.4 Αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού σε συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.

Η απώλεια εξέργειας εμφανίζεται κυρίως ως θερμότητα. Η θερμότητα αποδίδεται στο περιβάλλον λόγω της τριβής μεταξύ του άξονα της περωτής και των κουζινέτων, της θερμότητας που απάγεται από το λιπαντικό του μειωτήρα, της θερμότητας που απάγεται από το υγρό ψύξης της γεννήτριας και τέλος από τα θυρίστορ που βοηθούν στο ομαλό ξεκίνημα της γεννήτριας και καταναλώνουν το 1-2% της ενέργειας που περνά από αυτά.



Σχήμα 6.5: Απώλειες εξέργειας στα διάφορα μέρη της ανεμογεννήτριας

REFERENCES

- [1] Michaelis P., (1998), 'Life cycle assessment of energy systems', Centre for environmental strategy, University of Surrey
- [2] 'Profile of the Fossil Fuel Electric Power Generation Industry', Office of Compliance Sector Notebook Project, US Environmental Protection Agency, September 1997
- [3] Δρόσος Γιώργος (2002), «Παθητικά Ηλιακά Συστήματα - Εξεργειακή Ανάλυση - Ανάλυση Κύκλου Ζωής Ηλιακού Θερμοσίφωνα», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ενεργειακός Τομέας, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Επιβλέπων: Χ. Κορωναίος, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος.
- [4] Μαλλιοπούλου Αναστασία (2003), «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στον Α.Η.Σ. Αγίου Δημητρίου / Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για την Ελαχιστοποίηση των Ρύπων», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ενεργειακός Τομέας, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Επιβλέπων: Χ. Κορωναίος, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος.
- [5] Εργασίες από μάθημα Κύκλος Ζωής Ενεργειακών Συστημάτων, 2003