

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΩΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΛΑΙΟΛΑΔΟΥ

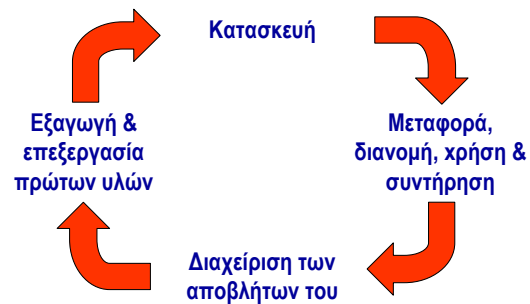
*Μ. Αβρααμίδης, Ν. Κυθραιώτου και Δ. Φάττα**

Εργαστήριο Μηχανικής Περιβάλλοντος ΓΑΙΑ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Καλλιπόλεως 75, 1678 Λευκωσία

**: Email: dfatta@ucy.ac.cy, Τηλ.: 22892275, 22892286*

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) είναι μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων 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 τη χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η ανάλυση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής (Σχήμα 1) του προϊόντος, της διεργασίας ή της δραστηριότητας: εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών, κατασκευή, μεταφορά, διανομή, χρήση, συντήρηση και διαχείριση των αποβλήτων [1]. Πρόκειται δηλαδή για ένα εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και υποστήριξης 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



Σχήμα 1. Κύκλος Ζωής Προϊόντος

περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Οι ρίζες της τεχνικής της ΑΚΖ επεκτείνονται πίσω στη δεκαετία του 70 όταν ακαδημαϊκοί στην Ελβετία, Γερμανία και τις ΗΠΑ ανέπτυξαν τεχνικές για ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς υπολογισμούς κατά το στάδιο του σχεδιασμού προϊόντων. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80 τα οφέλη της τεχνικής έγιναν αισθητά στη βιομηχανία, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '90 ένα κύμα ερευνητικών προγραμμάτων έδωσε ιδιαίτερη ώθηση στην ΑΚΖ. Εντούτοις, θεωρείται ότι η καθιέρωση της ως περιβαλλοντικό εργαλείο έγινε μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 90 με την έκδοση της σχετικής σειράς διεθνών προτύπων ISO 14040 - 14049.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής παρέχει στο Μηχανικό Περιβάλλοντος αλλά και στον Παραγωγό ενός Προϊόντος, ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση και ανάλυση των επιπτώσεων στο περιβάλλον που μπορούν να αποδοθούν άμεσα ή έμμεσα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος [2]. Το πεδίο εφαρμογής της ΑΚΖ έχει διευρυνθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά, η ΑΚΖ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαγνωστικό εργαλείο για τον προσδιορισμό των διεργασιών του κύκλου ζωής που χρήζουν περιβαλλοντικής βελτίωσης, για την περιβαλλοντική σύγκριση προϊόντων με την ίδια λειτουργία ή χρήση, για την περιβαλλοντική πιστοποίηση προϊόντων ή υπηρεσιών (eco-labelling), τον

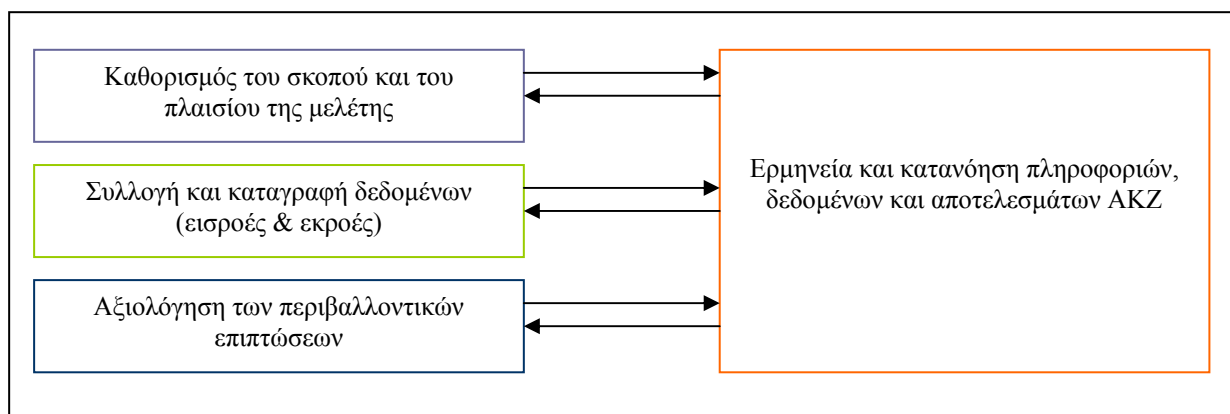
οικολογικό σχεδιασμό νέων προϊόντων (eco-design) αλλά και για την επιλογή κατάλληλων περιβαλλοντικών δεικτών.

Η τεχνική βασίζεται στη δημιουργία ενός είδους μοντέλου, το οποίο διαμορφώνει ο χρήστης προσπαθώντας να περιγράψει όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικά ένα σύστημα. Το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ένα στατικό μοντέλο προσομοίωσης που αποτελείται από διεργασίες (unit processes), η κάθε μια από τις οποίες αντιπροσωπεύει μια ή περισσότερες δραστηριότητες.

Η Μεθοδολογία της AKZ

Η εφαρμογή της AKZ χωρίζεται σε τέσσερα βασικά στάδια (Σχήμα 2):

1. Τον ορισμό του σκοπού (goal) και του πλαισίου (scope) της μελέτης
2. Την απογραφική ανάλυση κύκλου ζωής (life cycle inventory analysis)
3. Την ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής (life cycle impact assessment)
4. Την ερμηνεία της μελέτης.



Σχήμα 2. Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [2]

Σκοπός και Πλαίσιο

Ο καθορισμός του σκοπού και πλαισίου της ανάλυσης είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή της τεχνικής γιατί από αυτό θα εξαρτηθεί η έκταση της σε χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό και οικονομικούς πόρους. Επιπρόσθετα όπως και κάθε μοντέλο, το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την AKZ αναπόφευκτα περιέχει απλοποιήσεις και παραδοχές. Ο ξεκάθαρος ορισμός του σκοπού και πλαισίου της ανάλυσης είναι για το χρήστη ένα κομβικό σημείο κατά το οποίο θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι οι παραδοχές και απλοποιήσεις αυτές θα είναι τέτοιες που δεν θα επιφέρουν σημαντική αλλοίωση στο τελικό αποτέλεσμα. Τα σημαντικότερα ζητήματα που συνδέονται με το σκοπό και το πλαίσιο της AKZ, είναι:

- Η ακριβής αποτύπωση του σκοπού για τον οποίο γίνεται η AKZ
- Ο λεπτομερής καθορισμός του κύκλου ζωής και της χρήσης του προϊόντος
- Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας
- Ο ορισμός και περιγραφή των ορίων του συστήματος

- Ο καθορισμός των ποιοτικών προδιαγραφών για τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν
- Οι υποθέσεις, περιορισμοί και απαιτήσεις για την επακόλουθη ερμηνεία
- Το ακροατήριο στο οποίο τα αποτελέσματα θα διαχυθούν και ο τρόπος που θα εφαρμοστούν
- Ο τύπος και η μορφή της έκθεσης για τη μελέτη

Ο καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου προκύπτει από την ανάγκη για συνέπεια κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της ΑΚΖ. Στην πράξη, το πλαίσιο της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου λεπτομέρειας που απαιτείται για την εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Το αποτέλεσμα της μελέτης εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια των στοιχείων που εισάγονται.

Λειτουργική Μονάδα

Η λειτουργική μονάδα είναι ένα βασικό στοιχείο της ΑΚΖ που πρέπει να καθοριστεί. Η λειτουργική μονάδα είναι ένα μέτρο της λειτουργίας του συστήματος υπό μελέτη και παρέχει μια αναφορά τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα, επιτρέποντας τη σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων. Ο καθορισμός μιας λειτουργικής μονάδας πιθανό να είναι δύσκολος, καθώς αυτή πρέπει να είναι ακριβής και συγκρίσιμη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη τη μελέτη. Για παράδειγμα, η λειτουργική μονάδα για ένα σύστημα που αφορά μία βαφή, μπορεί να οριστεί ως η μονάδα επιφάνειας που καλύπτεται για 10 έτη. Μια σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός συστήματος βαφής και ενός συστήματος χαρτιού ταπετσαρίας τοίχου με την ίδια λειτουργική μονάδα είναι επομένως δυνατή.

Όρια του Συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιες διεργασίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη μελέτη ΑΚΖ. Ο καθορισμός των ορίων του συστήματος, είναι εν μέρει υποκειμενικός, και γίνεται συνήθως κατά τον ορισμό του πλαισίου. Όρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι για παράδειγμα τα όρια μεταξύ τεχνόσφαιρας (διεργασίες, υλικά και άλλα είδη που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας) και οικόσφαιρας (διεργασίες και υλικά που δεν προκύπτουν από κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα), γεωγραφικά και χρονικά όρια και τα όρια μεταξύ του κύκλου ζωής υπό μελέτη και των κύκλων ζωής άλλων συστημάτων (π.χ. παραγωγή κεφαλαιουχικών αγαθών).

Ποιότητα δεδομένων

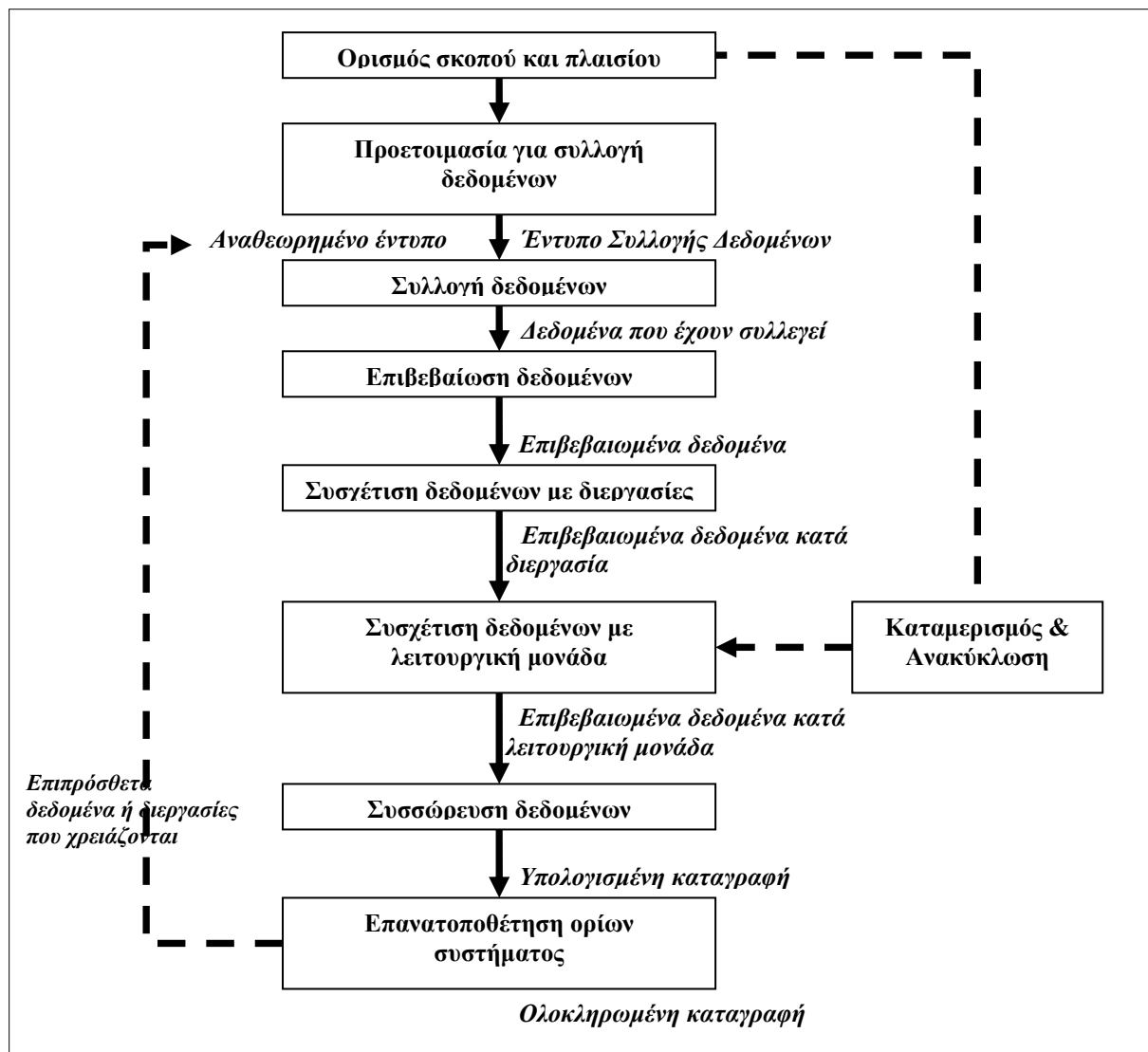
Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων από τις μελέτες ΑΚΖ, εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που εισάγονται. Οι ακόλουθες παράμετροι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: χρονική, γεωγραφική και τεχνολογική κάλυψη, ακρίβεια και αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων, συνέπεια και επαναληψιμότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για συλλογή των δεδομένων, και τέλος το σφάλμα και τα κενά δεδομένων. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να καθορίζονται όρια (threshold points) σχετικά με την πληρότητα των δεδομένων.

Συλλογή Δεδομένων: Καταγραφή Κύκλου Ζωής

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για κάθε διεργασία που βρίσκεται εντός των ορίων του συστήματος. Τα δεδομένα που χρειάζονται είναι συνδυασμός εισροών και εκροών σε κάθε διεργασία που περιλαμβάνεται στα όρια του συστήματος. Για τη συλλογή δεδομένων πρέπει, μεταξύ άλλων, να σχεδιάζονται κατάλληλα έντυπα συλλογής δεδομένων. Στη

συνέχεια τα δεδομένα επαληθεύονται και σχετίζονται με τη λειτουργική μονάδα προκειμένου να επιτραπεί η συνάθροιση των αποτελεσμάτων. Ένα πολύ ευαίσθητο βήμα σε αυτήν τη διαδικασία υπολογισμού είναι η κατανομή των ροών στο περιβάλλον π.χ. εκπομπές στον αέρα, νερό και έδαφος. Επίσης, ένα άλλο πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι αρκετές διεργασίες παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα, που πιθανόν να μην βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος. Επομένως, τόσο οι εξαγωγές πρώτων υλών όσο και οι περιβαλλοντικές εκπομπές που σχετίζονται με τη συνολική διεργασία, θα πρέπει να καταμερίζονται στα διαφορετικά προϊόντα της διεργασίας.

Η συλλογή δεδομένων είναι το στάδιο με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε πόρους και χρόνο σε μία ΑΚΖ. Το **Σχήμα 3** δείχνει τις απαιτήσεις σε στοιχεία κατά τη διάρκεια μίας ΑΚΖ, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14041. Τα συστήματα παραγωγής προϊόντων συνήθως περιλαμβάνουν ορισμένες διεργασίες οι οποίες είναι οι ίδιες σχεδόν για όλες τις μελέτες, όπως, η προμήθεια ενέργειας, οι μεταφορές, οι υπηρεσίες επεξεργασίας αποβλήτων και η παραγωγή χημικών ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ονομάζονται διεργασίες παρασκήνιου (background processes). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με στοιχεία για πολλές από αυτές. Η επαναχρησιμοποίηση στοιχείων από προηγούμενες μελέτες μπορεί να απλοποιήσει την εργασία συλλογής δεδομένων, εντούτοις αυτό πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά.



Σχήμα 3. Σχηματική επεξήγηση των αναγκών σε στοιχεία για το στάδιο καταγραφής κατά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής [3]

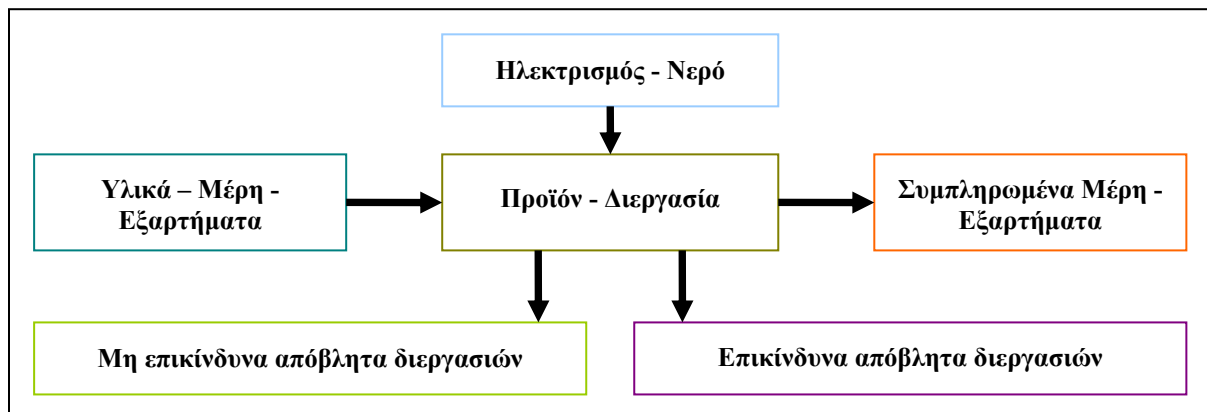
Ωστόσο για αρκετές από τις διεργασίες του συστήματος είτε δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα είτε τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα δεν είναι αντιπροσωπευτικά της διεργασίας που περιλαμβάνεται στον κύκλο ζωής υπό εξέταση. Οι διεργασίες αυτές είναι γνωστές ως διεργασίες προσκηνίου (foreground processes) και για αυτές απαιτείται η συλλογή πρωτογενών στοιχείων από το υπό μελέτη σύστημα.

Διάγραμμα Ροής (Flow Diagram)

Το διάγραμμα ροής των διαδικασιών διαμορφώνει μια ποιοτική γραφική απεικόνιση όλων των σχετικών διεργασιών που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής του συστήματος που μελετάται. Αποτελείται από μια ακολουθία διαδικασιών που συνδέονται από τις ροές υλικών και ενέργειας. Στόχος του είναι η επικέντρωση του ενδιαφέροντος στις πιο σχετικές διεργασίες παρά η πλήρης αποτύπωση του συστήματος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις διεργασίες που πιθανότατα παράγουν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επεμβάσεις.

Τα περιεχόμενα μιας διεργασίας σε ένα διάγραμμα ροής για ένα συγκεκριμένο οριακό σύστημα παρουσιάζονται στο **Σχήμα 4**. Εξαιρετικά σημαντικό είναι όλες οι αναφορές κατά την εισαγωγή των

συλλεγμένων στοιχείων στο μοντέλο, να γίνονται ως προς τη λειτουργική μονάδα για να διατηρούνται τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας, θεμέλιος λίθος για την ΑΚΖ.



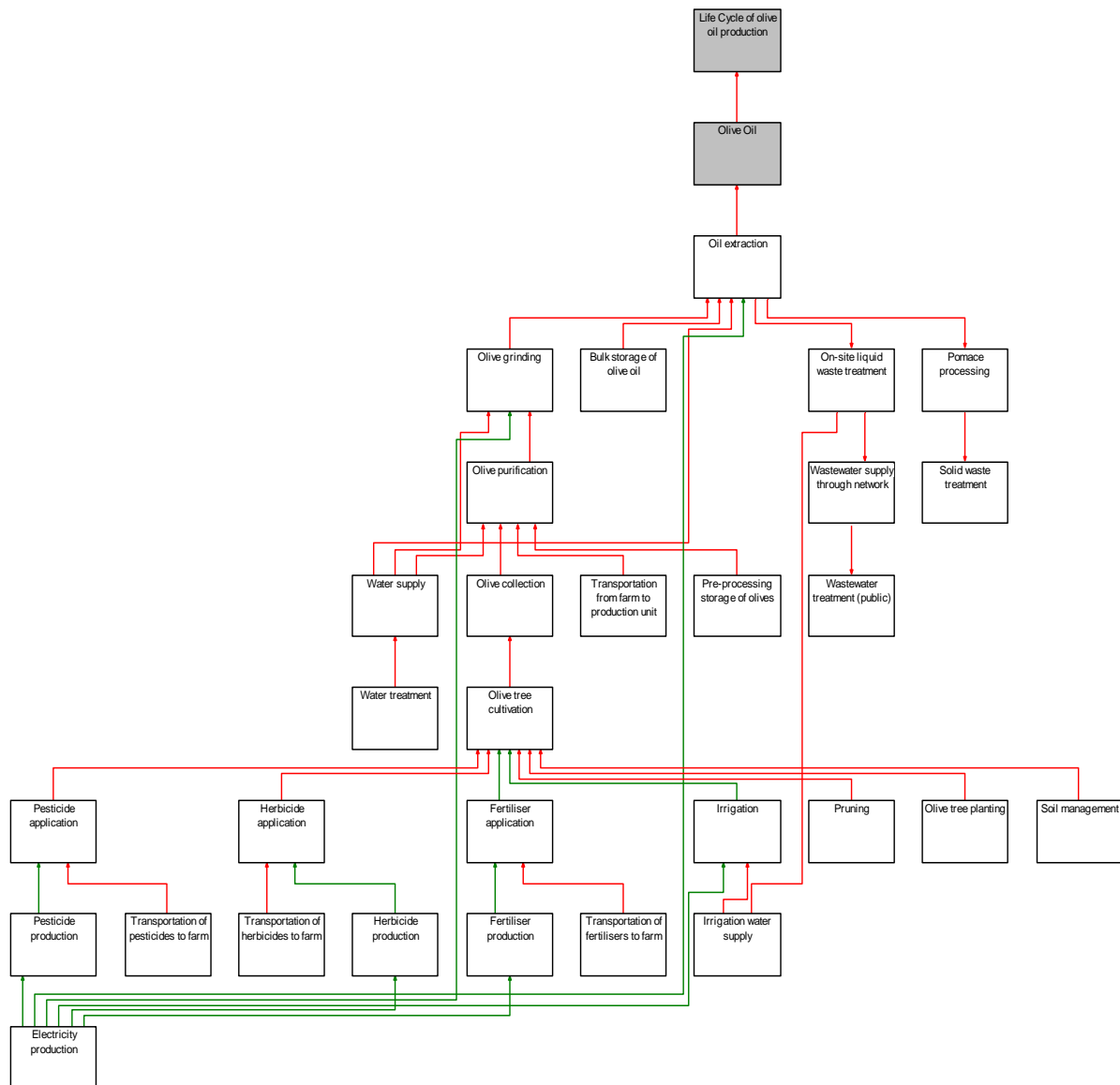
Σχήμα 4. Πρότυπο αναγκών σε δεδομένα για διεργασίες [4]. Για κάθε μονάδα οι διαδικασίες είναι: εισαγωγή των στοιχείων (πόροι, εκπομπές, και περιβαλλοντικές ανταλλαγές), και ενδιάμεσες ροές προϊόντων (που συνδέουν τις διαδικασίες).

Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στη παραγωγή ελαιόλαδου



Το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Κύπρου συμμετέχει στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα LIFE - Περιβάλλον μέσα από το πρόγραμμα “Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως Υποστηρικτικό Εργαλείο Λήψης Αποφάσεων για την Οικολογική Παραγωγή Ελαιόλαδου” (LIFE04 ENV/GR/000110, 2004-2006), το οποίο υλοποιείται από κοινού με το Πολυτεχνείο Κρήτης (Ελλάδας) και τον Οργανισμό Fundacion LEIA C.D.T. (Ισπανίας), με συμμετοχή περιοχών από τις τρεις αυτές χώρες που παράγουν ελαιόλαδο (περιοχή Λυθροδόντα, περιοχή Βουκολιών Κρήτης και περιοχή Navara Ισπανίας). Στόχος του έργου είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) στην παραγωγή ελαιόλαδου στις τρεις αυτές περιοχές.

Το πρόγραμμα ξεκίνησε το Νοέμβριο του 2004 και θα ολοκληρωθεί τον Οκτώβριο του 2006. Η πρώτη φάση του προγράμματος, περιλάμβανε την καταγραφή εθνικών και διεθνών νομοθεσιών σχετικά με το ελαιόλαδο, περιγραφή της παρούσας κατάστασης ως προς την παραγωγή ελαιόλαδου (μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για πότισμα, κλάδεμα, μέθοδος παραγωγής ελαιολάδου, διάθεση αποβλήτων παραγωγής ελαιολάδου κ.λπ.) για την κάθε μία από τις τρεις περιοχές και χώρες που συμμετέχουν και τέλος βιβλιογραφική ανασκόπηση για μελέτες ΑΚΖ που έγιναν στο παρελθόν με επιτυχία, για παρόμοιου τύπου προϊόντα. Στη δεύτερη φάση, αναλύθηκε η μεθοδολογία της ΑΚΖ, καθορίστηκε ο σκοπός και το πλαίσιο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για την παραγωγή ελαιόλαδου και αναπτύχθηκε το μοντέλο της ανάλυσης στο ειδικό λογισμικό SimaPro 6, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5**.



Σχήμα 5. Δικτυακό διάγραμμα μοντέλου AKZ για την παραγωγή ελαιόλαδου στο λογισμικό SimaPro 6.

Ως σκοπός της AKZ έχει καθοριστεί η ανάπτυξη ενός εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Tool) για τη βελτίωση της παραγωγής ελαιολάδου ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις τρεις υπό εξέταση περιοχές της Μεσογείου. Ο κύκλος ζωής ελαιολάδου που θα αναλυθεί είναι η πιο αντιπροσωπευτική αλυσίδα παραγωγής για κάθε χώρα και αυτός θα καθοριστεί κατά τη φάση της Απογραφικής Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (LCI). Ως προϊόν μελέτης έχει οριστεί το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, όπως περιγράφεται από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ ως λειτουργική μονάδα έχει οριστεί η “μέση ποσότητα ελαιόλαδου που χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες ενός ατόμου σε σχέση με τη μαγειρική για 68 μέρες” που αντιστοιχεί σε ένα λίτρο ελαιόλαδου (ροή αναφοράς). Τα όρια του συστήματος περιλαμβάνουν 30 διεργασίες που έχουν προκαταρκτικά προσδιοριστεί και αφορούν την παραγωγή και μεταφορά χημικών ουσιών (λιπάσματα, εντομοκτόνα και φυτοκτόνα), την καλλιέργεια της ελιάς με όλες τις επί μέρους εργασίες, την μεταφορά των ελιών στο ελαιοτριβείο και όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί μέχρι την εξαγωγή του ελαιόλαδου. Από τα όρια του

συστήματος έχουν εξαιρεθεί η συσκευασία, διανομή, χρήση και κατανάλωση του ελαιόλαδου, η παραγωγή, μεταφορά, αντικατάσταση και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών και η μεταφορά του προσωπικού.

Οι 30 διεργασίες του συστήματος έχουν κατηγοριοποιηθεί σε διεργασίες προσκηνίου και διεργασίες παρασκηνίου και στην παρούσα 3^η φάση του προγράμματος έχει ξεκινήσει η συλλογή των αναγκαίων δεδομένων από κάθε περιοχή για την απογραφική ανάλυση.



Με το τέλος του προγράμματος, τον ερχόμενο Οκτώβριο, αναμένεται ότι θα έχουν προσδιοριστεί τα στάδια εκείνα της παραγωγής του ελαιόλαδου που επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον και επομένως χρήζουν βελτίωσης. Για το σκοπό αυτό θα εκδοθούν φυλλάδια με σχετικές οδηγίες προς τους παραγωγούς και θα οργανωθούν εκπαιδευτικά σεμινάρια για να διαχυθούν τα συμπεράσματα της ΑΚΖ σε όλους εκείνους που θα πρέπει να τα εφαρμόσουν, έτσι ώστε να βελτιωθεί η συνολική περιβαλλοντική εικόνα της παραγωγής του ελαιόλαδου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) (1991) A Technical Framework for Life Cycle Assessment
- [2] Tan R., Culaba B.A. (2004) Environmental Life-Cycle Assessment: A tool for Public and Corporate Policy Development, De La Salle University, Manila
- [3] ISO/EN 14041 (1998): Environmental management – life cycle assessment- goal and scope definition and inventory analysis
- [4] Udo de Haes et al. (2002) *The conceptual structure of life-cycle impact assessment*, Pensacola, FL, USA: SETAC Press