



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ**  
**«ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**  
**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ»**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΓΑΔ ΜΑΡΙΑ-ANNA**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΑΤΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2015**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>4</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Τα ζιζανιοκτόνα ως φυτοφάρμακα .....</b>	<b>10</b>
1.1 Τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα .....	10
1.2 Ορισμός ζιζανίων και ζιζανιοκτόνων .....	10
1.3 Ιδιότητες ζιζανιοκτόνων .....	11
1.4 Λόγοι μελέτης ζιζανιοκτόνων για περιβαλλοντική μελέτη .....	12
<b>2. Περιβαλλοντική Πορεία και Συμπεριφορά Ζιζανιοκτόνων .....</b>	<b>14</b>
2.1 Γενικά .....	14
2.2 Πορεία και συμπεριφορά στο Έδαφος .....	14
2.3 Πορεία και συμπεριφορά στο Νερό.....	18
2.4 Πορεία και συμπεριφορά στον Αέρα.....	22
<b>3. Τοξικολογία Ζιζανιοκτόνων και Νομοθεσία.....</b>	<b>24</b>
3.1 Τοξικολογία Ζιζανιοκτόνων .....	24
3.2 Νομοθεσία .....	28
<b>4. Η μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής .....</b>	<b>34</b>
4.1 Γενικά .....	34
4.2 Η ΑΚΖ και το Ευρωπαϊκό Προγραμματικό Πλαίσιο .....	36
4.3 Στάδια Μεθοδολογίας.....	37
4.3.1 Ορισμός Σκοπού και Αντικειμένου (Στάδιο 1).....	38
4.3.2 Απογραφή Δεδομένων Κύκλου Ζωής (Στάδιο 2) .....	41
4.3.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Στάδιο 3).....	45
4.3.4 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων (Στάδιο 4) .....	46
<b>5. Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής.....</b>	<b>47</b>
5.1 Γενικά .....	47
5.2 Ορισμοί κι Αρχές.....	48
5.3 Στάδια της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής.....	49
5.3.1 Επιλογή και Καθορισμός Κατηγοριών Επιπτώσεων (Στάδιο 1) .....	50
5.3.2 Ταξινόμηση (Στάδιο 2) .....	51
5.3.3 Χαρακτηρισμός (Στάδιο 3) .....	52
5.3.4 Κανονικοποίηση (Στάδιο 4).....	53

5.3.5 Ομαδοποίηση (Στάδιο 5) .....	53
5.3.6 Στάθμιση (Στάδιο 6).....	54
5.3.7 Εκτίμηση και Τεκμηρίωση Αποτελεσμάτων (Στάδιο 7).....	55
<b>6. Το Μοντέλο PestLCI.....</b>	<b>56</b>
6.1 Εισαγωγικά .....	56
6.2 Σχεδιασμός Μοντέλου .....	58
6.3 Πλεονεκτήματα.....	61
6.4 Μειονεκτήματα.....	62
6.5 Συμπεράσματα .....	63
<b>7. Το Μοντέλο p-EMA .....</b>	<b>64</b>
7.1 Σχεδιασμός Μοντέλου .....	64
7.2 Υπολογισμοί συγκεντρώσεων .....	66
7.2.1 Έδαφος.....	66
7.2.2 Υπόγεια ύδατα .....	66
7.2.3 Επιφανειακά ύδατα .....	66
7.3 Συμπεράσματα .....	67
<b>8. Το Μοντέλο USES-LCA 2.0 .....</b>	<b>69</b>
8.1 Γενικά .....	69
8.2 Υπολογισμός παραγόντων πορείας κι έκθεσης .....	70
8.3 Υπολογισμός παραγόντων επιπτώσεων σε άνθρωπο .....	71
8.4 Υπολογισμός οικολογικών παραγόντων.....	72
<b>9. Το Μοντέλο USEtox.....</b>	<b>73</b>
9.1 Σχεδιασμός μοντέλου .....	73
9.2 Περιορισμοί μοντέλου .....	75
<b>10. Ο ρόλος των δεικτών κινδύνου στην περιβαλλοντική αξιολόγηση των φυτοφαρμάκων.....</b>	<b>77</b>
10.1 Γενικά .....	77
10.2 Η χρήση δεικτών κινδύνου στον αγροτικό τομέα .....	77
10.3 Ιδιότητες δεικτών κινδύνου .....	78
<b>11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>80</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>85</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον κι η ρύπανση που προκαλείται επιφέρει ανεπανόρθωτες ζημιές σε ολόκληρη την ανθρωπότητα. Μεγάλες προσπάθειες γίνονται ώστε να θεσπιστούν ενεργειακές και περιβαλλοντικές πολιτικές σε επίπεδο χωρών Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο με σκοπό την βιωσιμότητα και την αειφορία του πλανήτη γη.

Μια μεγάλη κατηγορία προϊόντων που χρησιμοποιείται ευρέως τις τελευταίες δεκαετίες προκαλώντας περιβαλλοντικά προβλήματα υψίστης σημασίας είναι τα αγροχημικά προϊόντα και πιο συγκεκριμένα τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα (φυτοφάρμακα). Τα ζιζάνια αποτελούν το σοβαρότερο ανταγωνιστικό παράγοντα σε κάθε αγρο-οικοσύστημα της συμβατικής γεωργίας τόσο οικονομικά όσο κι αποτελεσματικά. Συνεπώς, είναι αναγκαία η αντιμετώπιση των ζιζανίων με χρήση χημικών σκευασμάτων που ονομάζονται ζιζανιοκτόνα. Πρόκειται για προϊόντα που χρησιμοποιούνται στον πρωτογενή τομέα με σκοπό την προστασία των καλλιεργειών και την εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής μελέτης είναι η μελέτη των μοντέλων περιβαλλοντικής αξιολόγησης των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και συγκεκριμένα της ομάδας των ζιζανιοκτόνων, εστιάζοντας κυρίως στη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Η σπουδαιότητα της περιβαλλοντικής αξιολόγησης έγκειται στην πορεία και την συμπεριφορά των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος, στο νερό και στον αέρα.

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί μια ολοκληρωμένη, πολύπλευρη και σύγχρονη μέθοδο για την παρακολούθηση της πορείας και της συμπεριφοράς διάφορων χημικών ουσιών και φυσικά των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον. Ειδικότερα το τρίτο στάδιο της ανάλυσης, που είναι η εκτίμηση των επιπτώσεων κύκλου ζωής, αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη των μεθοδολογιών που εφαρμόζουν τα μοντέλα εκτίμησης περιβαλλοντικών συνεπειών των φυτοφαρμάκων. Λόγω των παραπάνω απαιτήσεων, αναλύθηκε η μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής και το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής των φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

Ακολούθως, δόθηκε έμφαση στα επικρατέστερα μοντέλα παρακολούθησης της ρύπανσης των φυτοπροστατευτικών προϊόντων. Επισημαίνεται ότι οι αρχές δόμησης και λειτουργίας των παραπάνω μοντέλων εδράζονται στις αρχές της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Πιο συγκεκριμένα, αναλύθηκαν τα μοντέλα PestLCI, p-EMA, USES-LCA 2.0 και USEtox και πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη.

Τέλος παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα από τη μελέτη των χαρακτηριστικών των φυτοφαρμάκων και των προαναφερόμενων μοντέλων, στα

οποία συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εκάστοτε μοντέλου καθώς και βελτιωτικές προτάσεις.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργική παραγωγή βασίζεται στη χρήση αγροχημικών προϊόντων προκειμένου να διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα οι αποδόσεις στις καλλιέργειες. Η χρήση αυτών των χημικών ουσιών στις σύγχρονες γεωργικές πρακτικές θεωρείται αναπόσπαστο μέρος της επιτυχίας του γεωργικού κλάδου. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται μπορεί να επηρεάσουν τους οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο τους και να προκαλέσουν ρύπανση του εδάφους, των υδάτων αλλά και του αέρα. Γι' αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια υπάρχει ολοένα αυξανόμενη ανησυχία για τους κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση των φυτοφαρμάκων για τον άνθρωπο και για το ευρύτερο περιβάλλον.

Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη να προσδιοριστεί η έκταση του πραγματικού προβλήματος σχετικά με τη χρήση των φυτοφαρμάκων. Για το σκοπό αυτό, διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση φυτοφαρμάκων αλλά οι περισσότερες από αυτές έχουν πολλούς περιορισμούς που εμποδίζουν την αποτελεσματική εκτίμηση. Πιο συγκεκριμένα, έχουν σχεδιαστεί μεθοδολογίες που εστιάζουν στη μεταφορά και στη συμπεριφορά των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον αμέσως μετά την εφαρμογή τους παραβλέποντας όμως τις πιθανές επιπτώσεις τους στον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα. Άλλη ομάδα μεθόδων ασχολείται με την τύχη των φυτοφαρμάκων και την έκθεσή τους σε διάφορους οργανισμούς, στον άνθρωπο και στο περιβάλλον χωρίς όμως να διευκρινίζει το εύρος των επιπτώσεων. Μια σύγχρονη κι αποτελεσματική μεθοδολογία για την ολιστική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των φυτοφαρμάκων είναι η περιβαλλοντική εκτίμηση κύκλου ζωής που αποτελεί μέρος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ). Με αυτή τη μεθοδολογία εκτιμώνται οι επιπτώσεις σε ολόκληρο το κύκλο ζωής των φυτοφαρμάκων. Βασικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας είναι ότι είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά είδη επιπτώσεων που να μπορούν να εφαρμοστούν για διαφορετικά προϊόντα κι εκτιμά τις επιπτώσεις τόσο για τον άνθρωπο όσο και τα οικοσυστήματα.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύεται ο κλάδος των φυτοπροστατευτικών προϊόντων καθώς και οι στόχοι και τα οφέλη που επιτυγχάνονται από την χρήση τους. Ακολούθως παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ζιζανίων και των ζιζανιοκτόνων, και αναλύονται οι όροι 'αλληλοπάθεια' και 'ανταγωνισμός' σε επίπεδο ζιζανίων και ζιζανιοκτόνων. Τέλος αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους η περιβαλλοντική μελέτη θα εξειδικευτεί στην αξιολόγηση της ομάδας των φυτοφαρμάκων.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στην πορεία και συμπεριφορά των ζιζανιοκτόνων στο περιβάλλον. Η γνώση της πορείας και συμπεριφοράς στους στο έδαφος είναι πολύ σημαντική γιατί σχετίζεται με την αποτελεσματική αντιμετώπιση των ζιζανίων, την διάρκεια της ζωής τους και την υπολειμματική τους δράση στο έδαφος και την ενδεχόμενη ρύπανση του περιβάλλοντος από την χρήση των ζιζανιοκτόνων. Επιπλέον αναφέρονται οι τρόποι μεταφοράς και διεύθυνσής τους στο έδαφος αλλά και τα

προβλήματα που δημιουργούνται από την παραμονή τους σε αυτό. Ακολούθως εξετάζεται η συμπεριφορά των ζιζανιοκτόνων στο νερό καθώς αποτελούν σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Από τα φυτοφάρμακα, τα ζιζανιοκτόνα αναφέρονται ως οι κυριότερες ομάδες που ευθύνονται για την ρύπανση επιφανειακών υδάτων καθιστώντας τα ακατάλληλα ως πόσιμα ή αρδευτικά. Όμως η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από ζιζανιοκτόνα αποτελεί πιο σοβαρό πρόβλημα από εκείνη των επιφανειακών υδάτων διότι στα υπόγεια ύδατα δεν αποδομούνται ταχέως επειδή η αραίωση της συγκέντρωσή τους γίνεται με πιο αργούς ρυθμούς. Επίσης αναφέρονται οι τρόποι ρύπανσης τόσο των επιφανειακών υδάτων όσο και των υπογείων από τα φυτοφάρμακα αλλά και οι παράγοντες που ευθύνονται για την ρύπανση αυτών. Επιπροσθέτως γίνεται αναφορά για την συμπεριφορά των ζιζανιοκτόνων στον αέρα, τους τρόπους εισροής στην ατμόσφαιρα και τους παράγοντες που επηρεάζουν την μετακίνησή τους. Γενικά η πορεία των ζιζανιοκτόνων και των φυτοφαρμάκων αποτελεί μηχανισμό ρύπανσης των οικοσυστημάτων ανεξαρτήτως του τύπου εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει πληροφορίες για την τοξικολογία των ζιζανιοκτόνων και για την ισχύουσα νομοθεσία. Για την έγκριση κάθε νέου φυτοφαρμάκου ή ζιζανιοκτόνου πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σειρά από ελέγχους δεδομένων ασφαλείας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρουσιάζεται πίνακας με απαραίτητα προαπαιτούμενα στοιχεία για την έγκριση κυκλοφορίας ενός ζιζανιοκτόνου. Η επικινδυνότητα ενός ζιζανιοκτόνου εκφράζεται ως συνάρτηση της τοξικότητας του και της έκθεσης του ανθρώπου σε αυτό. Παρουσιάζεται πίνακας κατάταξης ομάδων ζιζανιοκτόνων με βάση το ενδεχόμενο πρόκλησης καρκίνου στον άνθρωπο. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αναγκαιότητα για τη μελέτη και την αξιολόγηση των οικολογικών και τοξικολογικών επιδράσεων των ζιζανιοκτόνων και γενικά των φυτοφαρμάκων στα φυτά στα ζώα και στα οικοσυστήματα. Τέλος επισυνάπτεται πίνακας με την ομαδοποίηση της τοξικότητας των ζιζανιοκτόνων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής μέσω της οποίας προσδιορίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα στάδια εξόρυξης πόρων που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή υλικών, παραγωγής υλικών, παραγωγής του προϊόντος, χρήσης του προϊόντος και διαχείρισής του μετά την χρήση του. Αφού γίνει αναφορά στους ορισμούς της ανάλυσης κύκλου ζωής, ακολουθεί η παρουσίαση των τεσσάρων σταδίων της αξιολόγησης του κύκλου ζωής. Τα στάδια αυτά είναι ο προσδιορισμός σκοπού κι αντικείμενου μελέτης, η απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής, η εκτίμηση των επιπτώσεων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής κι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο, κατά το οποίο ορίζεται ο σκοπός και το αντικείμενο, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του προς μελέτη συστήματος, τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα και τον τρόπο που θα διεξαχθεί η μελέτη. Σ' αυτό το στάδιο, λαμβάνονται υπόψη στοιχεία που σχετίζονται με το σκοπό, το αντικείμενο, τη λειτουργική μονάδα, τα όρια του συστήματος, την ποιότητα των δεδομένων, τις συγκρίσεις ανάμεσα στα συστήματα. Το δεύτερο στάδιο της απογραφής δεδομένων του κύκλου ζωής αφορά όλες τις διεργασίες που εμπλέκονται στο σύστημα και σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας και μάζας. Περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, τον επαναπροσδιορισμό των ορίων του

συστήματος, τις διαδικασίες υπολογισμού για τη ποσοτικοποίηση εισροών-εκροών που ανταλλάσσονται μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος και την κατανομή. Το τρίτο στάδιο της ανάλυσης κύκλου ζωής αφορά στην εκτίμηση των επιπτώσεων κι ο στόχος του είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος που εξετάζεται βάσει των αποτελεσμάτων απογραφής από το δεύτερο στάδιο και σε σχέση με τους στόχους και το αντικείμενο της μελέτης. Σ' αυτό το στάδιο γίνεται περαιτέρω επεξεργασία του συνόλου των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων από τη σκοπιά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κοινωνικών δεδομένων. Στο τέταρτο στάδιο της ανάλυσης κύκλου ζωής, όλα τα αποτελέσματα που έχουν διεξαχθεί από την ανάλυση ερμηνεύονται και χρησιμοποιούνται προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις που να ωφελούν παράλληλα το εξεταζόμενο σύστημα, το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Ο βασικός στόχος στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι να προσδιοριστούν βελτιώσεις που να μπορούν να εφαρμοστούν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης, που αφορά στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, γιατί σ' αυτό το στάδιο βασίζονται τα μοντέλα παρακολούθησης της ρύπανσης των φυτοφαρμάκων που θα αναπτυχθούν στα επόμενα κεφάλαια. Στόχος της αξιολόγησης των επιπτώσεων είναι η σύνδεση του κάθε αποτελέσματος της καταγραφής του κύκλου ζωής με τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιδράσεις που προκαλεί. Μέσω αυτής της διαδικασίας παρέχονται ακριβή δεδομένα που είναι κατάλληλα για την κατάταξη και χαρακτηρισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την πραγματοποίηση συγκρίσεων. Ακολούθως, παραθέτονται οι ορισμοί κι οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων, το οποίο αποτελείται από κάποια στάδια. Αυτά τα στάδια είναι η συλλογή κι ο καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων, η κατάταξη, ο χαρακτηρισμός, η κανονικοποίηση, η ομαδοποίηση, η στάθμιση, η αξιολόγηση κι η έκθεση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Στο έκτο, έβδομο, όγδοο και ένατο κεφάλαιο παρουσιάζονται αντίστοιχα τα μοντέλα PestLCI, p-EMA, USES-LCA 2.0 και USEtox που αφορούν στην τύχη και παρακολούθηση των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον. Ειδικότερα, αναλύεται για το κάθε μοντέλο ο σκοπός για τον οποίο αναπτύχθηκε η μεθοδολογία του, η δομή του, τα δεδομένα που απαιτούνται να εισάγονται από το χρήστη καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του.

Στο δέκατο κεφάλαιο αναλύεται η χρήση δεικτών κινδύνου στην περιβαλλοντική αξιολόγηση των φυτοφαρμάκων κι ο ρόλος τους ως εργαλείο στον αγροτικό τομέα ώστε να περιγράφουν τους κινδύνους που εγκυμονούν τα φυτοφάρμακα για το περιβάλλον. Στόχος της συγκεκριμένης ανάλυσης θεωρείται ότι είναι η επιλογή εκείνων των φυτοφαρμάκων που εμφανίζουν τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τέλος στο ενδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η σημασία χρήσης φυτοπροστατευτικών προϊόντων κι οι λόγοι μελέτης της κατηγορίας των ζιζανιοκτόνων και της πορείας τους στο περιβάλλον μετά την εφαρμογή τους. Ακόμη, γίνεται συγκριτική μελέτη των



μοντέλων που αφορούν την πορεία και τη παρακαλούθηση των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον και προτείνονται βελτιώσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**

### **Τα ζιζανιοκτόνα ως φυτοφάρμακα**

---

#### **1.1 Τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα**

Τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα αποτελούν μια ευρεία κατηγορία αγροχημικών που χρησιμοποιούνται στην γεωργία με σκοπό την εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων των καλλιεργειών μέσω:

- της προστασίας τους από αρρώστιες που προκαλούν διάφοροι μύκητες (μυκητοκτόνα), έντομα (εντομοκτόνα),
- της ενίσχυσης του ανταγωνισμού τους έναντι των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα)
- της προαγωγής της αύξησής/ανάπτυξής τους (φυτορυθμιστικές ενώσεις ή «ορμόνες»).

Αν και η τάση στην φυτοπροστασία είναι η μείωση της χρήσης χημικών σκευασμάτων, η αντικατάστασή τους με άλλες εναλλακτικές μεθόδους (καλλιεργητικές τεχνικές, βιολογικοί μέθοδοι «βιοζιζανιοκτόνα») δεν φαίνεται να μπορεί να επιτευχθεί με επιτυχία, τουλάχιστον στην επιχειρησιακή γεωργία. Γι' αυτό τον λόγο, η σύγχρονη πρακτική φυτοπροστασίας βασίζεται στην χρήση χημικών ενώσεων, κυρίως σε περιοχές με ανεπτυγμένη γεωργία (Ζίωγας-Μαρκόγλου, 2010).

#### **1.2 Ορισμός ζιζανίων και ζιζανιοκτόνων**

Τα ζιζάνια αποτελούν το σοβαρότερο ανταγωνιστικό παράγοντα σε κάθε αγρο-οικοσύστημα της συμβατικής γεωργίας τόσο οικονομικά όσο κι αποτελεσματικά κι αντιμετωπίζονται με χρήση χημικών ουσιών που είναι γνωστές ως ζιζανιοκτόνα.

Τα ζιζάνια παρεμβαίνουν κι επηρεάζουν τις διάφορες καλλιέργειες κυρίως με ανταγωνισμό για θρεπτικά στοιχεία, CO<sub>2</sub>, νερό, φως και χώρο. Χαρακτηριστικό γνώρισμά τους, χάρις στο οποίο επικρατούν των καλλιεργειών, είναι το δυνατό και πλούσιο ριζικό τους σύστημα. Η μείωση των αποδόσεων που προκαλούν στις καλλιέργειες οφείλεται επίσης στην αλληλοπάθεια που πολλά εξ αυτών –αν όχι όλα– παρουσιάζουν για μία ή περισσότερες καλλιέργειες (Λόλας, 2003).

## **Ορισμοί**

Ανταγωνισμός: η από μέρος ενός φυτού απομάκρυνση ή ο περιορισμός από το περιβάλλον του ενός ή περισσότερων βασικών παραγόντων απαραίτητων για την κανονική αύξηση/ανάπτυξη ενός άλλου φυτού, στο ίδιο περιβάλλον.

Αλληλοπάθεια: η από μέρος ενός φυτού προσθήκη στο περιβάλλον του ενός ή περισσότερων χημικών ουσιών που παρεμποδίζουν ή θα παρεμποδίσουν την κανονική αύξηση/ανάπτυξη ενός άλλου φυτού, στο ίδιο περιβάλλον. Αλληλοπαθητικές ουσίες παράγονται σ' όλα τα μέρη του φυτού (φύλλα/στελέχη/ρίζες/ριζώματα/άνθη/καρποί/σπόροι) (Λόλας, 2003).

Επιπλέον, τα ζιζάνια επιδρούν αρνητικά και στην ποιότητα των καλλιεργειών, γεγονός που αποτελεί λογικό επακόλουθο της ισχυρής ανταγωνιστικότητας έναντι των φυτών. Έχει αναφερθεί όμως ότι δυσχεραίνουν και την ποιότητα των ζωικών προϊόντων. Γι' αυτόν αλλά και γι' άλλους λόγους (δηλητηρίαση ζώων και/ή ανθρώπου), ορισμένα ζιζάνια θεωρούνται εξαιρετικά επιβλαβή (Λόλας, 2003). Συνεπώς, είναι αναγκαία η αντιμετώπιση των ζιζανίων με χρήση χημικών σκευασμάτων που ονομάζονται ζιζανιοκτόνα.

Τα ζιζανιοκτόνα αποτελούν μια σημαντική κατηγορία των φυτοπροστατευτικών προϊόντων που εφαρμόζονται στο έδαφος κι έχουν σαν σκοπό την καταπολέμηση της ανεπιθύμητης εμφάνισης των ζιζανίων. Η χρήση τους στη συμβατική αλλά και στην ολοκληρωμένη και αειφορική γεωργία είναι εντελώς απαραίτητη για μια ασφαλή, αποτελεσματική και οικονομική γεωργική παραγωγή.

Παρόλη την υψηλή ανάγκη χρήσης ζιζανιοκτόνων στον πρωτογενή τομέα, η χρήση τους προκαλεί αρκετά προβλήματα και εγκυμονεί πολλούς κινδύνους.

Τα σπουδαιότερα απ' αυτά είναι:

- (1) τα επιβλαβή υπολείμματα των ζιζανιοκτόνων στις τροφές, στα σιτηρέσια, στα νερά, στο έδαφος, στα φυτά, στην άγρια ζωή,
- (2) η ρύπανση κι υποβάθμιση του περιβάλλοντος,
- (3) η γενετική ανθεκτικότητα ζιζανίων στα ζιζανιοκτόνων,
- (4) η φυτοτοξικότητα σε καλλιέργειες γειτονικών χωραφιών ή σε καλλιέργειες που μεγαλώνουν στο ίδιο χωράφι κατά το ίδιο χρονικό διάστημα (Λόλας, 2003).

### **1.3 Ιδιότητες ζιζανιοκτόνων**

Γενικά ένα φυτοπροστατευτικό προϊόν και πιο συγκεκριμένα ένα ζιζανιοκτόνο για να χαρακτηριστεί «καλό» πρέπει να έχει κάποιες βασικές προϋποθέσεις.

Αυτές οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ζιζανιοκτόνο είναι οι ακόλουθες:

- Εκλεκτικός έλεγχος μόνο των ζιζανίων
- Καμία επίδραση στην καλλιέργεια ή σε άλλους οργανισμούς
- Παραμονή στο έδαφος για ορισμένο χρόνο (διάρκεια ζωής)
- Καμία μετακίνηση παρά μόνο στη ζώνη εφαρμογής
- Καμία άλλη δυσμενή αλληλεπίδραση με άλλα γεωργικά φάρμακα
- Εύκολη και γρήγορη αποδόμηση (καταστροφή), χωρίς υπολείμματα/ρύπανση του περιβάλλοντος

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, στην πράξη, ελάχιστα ζιζανιοκτόνα εδάφους έχουν όλες ή τις περισσότερες προαναφερόμενες ιδιότητες (Λόλας, 2003).

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των ζιζανιοκτόνων είναι το χρονικό διάστημα που παραμένει στο έδαφος αμετάβλητο και βιολογικά ενεργό που είναι γνωστό ως διάρκεια ζωής ή υπολειμματικότητα του ζιζανιοκτόνου ή γενικά του φυτοπροστατευτικού προϊόντος. Η παρουσία μιας ποσότητας για περισσότερο χρόνο από αυτόν που χρειάζεται για τον έλεγχο των ζιζανίων συνιστά τα υπολείμματά του, που είναι ανεπιθύμητα από γεωργική και περιβαλλοντική άποψη. Ακόμη, δύναται να προκληθεί ζημιά ή/και καταστροφή από τα υπολείμματα ενός ζιζανιοκτόνου στο έδαφος σε καλλιέργεια που ακολουθεί στο ίδιο χωράφι, την ίδια ή/και τις επόμενες χρονιές. Αυτή η ζημιά/καταστροφή ονομάζεται υπολειμματική φυτοτοξικότητα. Κάθε ζιζανιοκτόνο έχει διαφορετική διάρκεια ζωής στο έδαφος κι ενδέχεται να έχει καταστρεπτικά προβλήματα που όμως είναι σχετικά εύκολο να προληφθούν, να διαγνωσθούν και να αντιμετωπιστούν.

#### **1.4 Λόγοι μελέτης ζιζανιοκτόνων για περιβαλλοντική μελέτη**

Τα ζιζάνια αποτελούν ένα καίριο πρόβλημα της γεωργίας και τα ζιζανιοκτόνα, ως μέσο αντιμετώπισης τους, απασχολούν ιδιαίτερος της επιστημονική κοινότητα. Η αποτελεσματικότητα της χρήσης τους, στα πλαίσια της βιώσιμης κι αειφόρου γεωργικής παραγωγής, εγκυμονεί περιβαλλοντικούς κινδύνους στους οποίους θα δοθεί έμφαση στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική μελέτη. Η ποσοτική κι η ποιοτική μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διεγείρει το ενδιαφέρον όχι μόνο των επιστημών, αλλά και των βιομηχανιών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ως αντικείμενο τίθεται σε προτεραιότητα σε εθνικό επίπεδο σε πολλές χώρες της Ε.Ε αλλά και της Αμερικής και γίνονται συντονισμένες προσπάθειες για την κατανόηση και την πρόληψη των περιβαλλοντικών ρίσκων της χρήσης των ζιζανιοκτόνων και γενικότερα των φυτοφαρμάκων.

Βασικό πρόβλημα από την εμφάνιση ζιζανίων είναι η αύξηση του κόστους παραγωγής στον πρωτογενή τομέα γιατί πολλά ζιζάνια είναι ξενιστές εντόμων ή ασθενειών που πρέπει να αντιμετωπισθούν για να μην προσβάλλουν τις καλλιέργειες σε μετέπειτα στάδιο. Σε μερικές περιπτώσεις ζιζανίων, η συγκομιδή τους

δυσχεραίνεται διότι απαιτείται μεγαλύτερος κόπος για τον καθαρισμό του σπόρου, μειώνεται η ποιότητα και το χωράφι μολύνεται με σπόρους που θα δώσουν ζιζάνια τα επόμενα χρόνια (Λόλας, 2003). Συνεπώς, με τα ζιζανιοκτόνα γίνεται εξοικονόμηση χρημάτων στο πρωτογενή τομέα διατηρώντας χαμηλά τα κόστη παραγωγής και εξασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα των καλλιεργειών.

Επιπροσθέτως, τα ζιζάνια που αναπτύσσονται σε αρδευτικά και στραγγιστικά κανάλια αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στην οικονομική εκμετάλλευση του νερού. Σε κανάλια με πολλά ζιζάνια, η ροή του νερού περιορίζεται σημαντικά, γεγονός που μπορεί να συμβάλλει στην ανύψωση της στάθμης του υπόγειου νερού στα διπλανά χωράφια κι οι περαιτέρω συνέπειες μπορούν να θεωρηθούν δεδομένες. Σε άλλες περιπτώσεις τα κανάλια μπορούν επίσης και να φράξουν και το νερό να κατακλύσει τα παρακείμενα χωράφια. Σε όποια κανάλια τα νερά μένουν στάσιμα δημιουργούνται εστίες για την ανάπτυξη επιβλαβών εντόμων. Κανάλια με πολλά ζιζάνια χρειάζονται περισσότερα έξοδα για τον καθαρισμό τους (Λόλας, 2003). Επομένως, η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων και σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να προλαμβάνει περαιτέρω προβλήματα που μπορούν να προκληθούν από την ανεπιθύμητη εμφάνιση των ζιζανίων.

Παρομοίως, τα ζιζάνια σε δρόμους, στις γραμμές των τρένων, στα τηλεφωνικά δίκτυα, στους βιομηχανικούς χώρους και στους χώρους αναψυχής είναι εξίσου ενοχλητικά κι ανεπιθύμητα κι απαιτούν άμεση αντιμετώπιση με εφαρμογή ζιζανιοκτόνων (Λόλας, 2003).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

### ***Περιβαλλοντική Πορεία και Συμπεριφορά Ζιζανιοκτόνων***

---

#### **2.1 Γενικά**

Προκειμένου να αποφεύγονται προβλήματα και κίνδυνοι από την χρήση των ζιζανιοκτόνων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση της τύχης και συμπεριφοράς των ζιζανιοκτόνων στο περιβάλλον. Γενικά, το περιβάλλον είναι ένας καθοριστικός παράγοντας όχι μόνο της δραστηριότητας αλλά και της εκλεκτικότητας των ζιζανιοκτόνων. Όμως, ανεξάρτητα από το ζιζανιοκτόνο, ως προϊόν, και τον τρόπο/χρόνο εφαρμογής του είναι πιθανό πάντα το μεγαλύτερο μέρος του να παραμένει πάνω ή μέσα στο έδαφος ή να συγκρατείται από τα φύλλα του φυτού και κατ'επέκταση ένα μέρος του να καταλήγει στην ατμόσφαιρα (Λόλας, 2003).

#### **2.2 Πορεία και συμπεριφορά στο Έδαφος**

Η γνώση της πορείας και συμπεριφοράς των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος καθώς επίσης και ποιοι παράγοντες την επηρεάζουν έχει πολύ μεγάλη σημασία επειδή σχετίζεται με την:

- Επιτυχία ή αποτυχία στην αντιμετώπιση των ζιζανίων (αποτελεσματικότητα).
- Διάρκεια ζωής και υπολειμματική δράση των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος (βιολογική διαθεσιμότητα).
- Τελική πορεία του ζιζανιοκτόνου, η οποία έχει σχέση με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος γενικότερα και του αγροοικοσυστήματος ειδικότερα.

Μετά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου, το ζιζανιοκτόνο ξεκινά να δέχεται επιδράσεις από διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες, από τους οποίους κάποιοι διασπών ή αποσυνθέτουν το ζιζανιοκτόνο και κάποιοι άλλοι το μετακινούν στο έδαφος, στα φυτά ή στην ατμόσφαιρα.

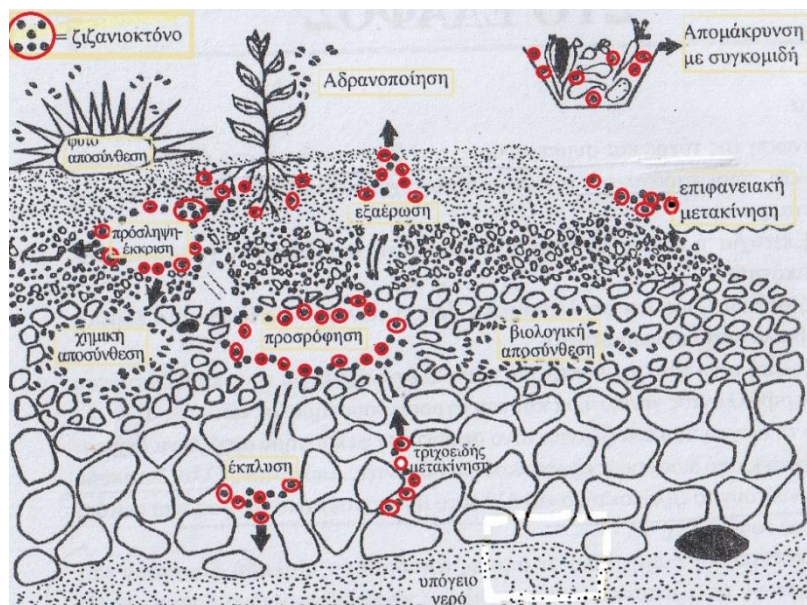
Η αποδόμηση των ζιζανιοκτόνων διακρίνεται σε: (α) Βιολογική αποσύνθεση, (β) Χημική αποσύνθεση και (γ) Φωτοαποσύνθεση.

## Ορισμοί

Βιολογική Αποσύνθεση είναι η διάσπαση, αποσύνθεση ή αδρανοποίηση του ζιζανιοκτόνου που οφείλεται σε ζωντανούς οργανισμούς, δηλαδή φυτά, ζώα ή μικροοργανισμούς.

Χημική Αποσύνθεση είναι η καθαρά χημική διάσπαση χωρίς καμία επίδραση από ζωντανούς οργανισμούς.

Φωτοαποσύνθεση είναι η χημική διάσπαση που οφείλεται στη δράση του φωτός.



*Εικόνα 1: Πορεία ζιζανιοκτόνων στο περιβάλλον (Weber, 1977)*

Ακόμη, τα ζιζανιοκτόνα μπορούν να μετακινηθούν με τους ακόλουθους τρόπους:

- Πρόσρροφηση στα εδαφικά κολλοειδή.
- Έκπλυση στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.
- Εξάτμιση ή εξάχνωση (πητικότητα) και διαφυγή στην ατμόσφαιρα με μορφή ατμών.
- Πρόσρρηση ή/και έκκριση από τα φυτά.
- Συγκράτηση ή/και πρόσρρηση από τη βλάστηση και απομάκρυνση με τη συγκομιδή.
- Επιφανειακή μετακίνηση με διάβρωση, άνεμο ή νερό.

### **Ορισμοί**

Προσρόφηση είναι η προσέλκυση και συγκράτηση ιόντων ή/και μορίων των ζιζανιοκτόνων πάνω στην επιφάνεια των ανόργανων κι οργανικών κολλοειδών του εδάφους

Έκπλυση είναι η μετακίνηση του ζιζανιοκτόνου με νερό μέσα στο έδαφος στα βαθύτερα στρώματα

Πτητικότητα είναι η διαφυγή του ζιζανιοκτόνου με τη μορφή ατμών από την υγρή ή στερεή φάση του στην αέρια φάση

Πρόσληψη είναι η απομάκρυνση του ζιζανιοκτόνου από το έδαφος και η κατάληξή του σε ζιζάνια ή καλλιεργούμενα φυτά

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόσληψη των ζιζανιοκτόνων από φυτά μπορεί να είναι είτε προσωρινή, εάν τα υπέργεια τμήματα των φυτών παραμένουν στο φυτό, είτε οριστική, εάν αυτά τα τμήματα του φυτού απομακρύνονται με την συγκομιδή. Όμως, υπάρχουν και μερικά ζιζανιοκτόνα που δεν μπορούν να απομακρυνθούν γιατί είναι πολύ ευκίνητα μέσα στο φυτό κι έχουν την ιδιότητα να μετακινούνται στο ριζικό σύστημα. Η χρήση των φυτών μ' αυτόν τον τρόπο ανήκει στην κατηγορία της «πράσινης τεχνολογίας» κι είναι γνωστή ως φυτοαποκατάσταση.

Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό προκύπτει ότι παραμονή των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος πέρα της κρίσιμης περιόδου δημιουργεί τα ακόλουθα προβλήματα:

- Δυσμενής επίδραση ζιζανιοκτόνου ή καταστροφή μιας άλλης καλλιέργειας στο ίδιο χωράφι, την ίδια ή την επόμενη/ες χρονιά/ές.
- Πρόσληψη και συγκέντρωση ζιζανιοκτόνου στα γεωργικά προϊόντα που παράγονται στο ίδιο έδαφος και καταναλώνονται αργότερα. (μετακινούμενα ζιζανιοκτόνα).
- Επίδραση σε ωφέλιμους μικροοργανισμούς που σχετίζονται με την γονιμότητα του εδάφους.
- Πιθανότητα μετακίνησης του ζιζανιοκτόνου μέσα στο περιβάλλον και έκπλυση του στα υπόγεια νερά.

Ακόμη, έχει βρεθεί ότι επανειλημμένη εφαρμογή ζιζανιοκτόνου μπορεί να δρα αθροιστικά στα υπολείμματά του κι ενδέχεται να περιορίζει και να μειώνει τις αποδόσεις της κανονικής καλλιέργειας. Συμπερασματικά, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τη διάρκεια ζωής των ζιζανιοκτόνων που χρησιμοποιούνται ώστε να αντιμετωπίζεται η υπολειμματική τους δράση.



*Πίνακας 1 - Διάρκεια ζωής γνωστών ζιζανιοκτόνων (εμπορικά ονόματα) (WSSA Handbook, 2002)*

<b>Μήνες</b>				
<b>1</b>	<b>1-3</b>	<b>3-6</b>	<b>6-12</b>	<b>&gt;12</b>
Proparil	Dual	Comodor	Atrazine	Atrazine
Tillam	Lasso	Cobex	Karmex	Glean
Vernam	Blazer	Nortron	Devrinol	Logran
Frontier	Bladex	Bladex	Ronstar	Sinbar
Callisto	Prometryn	Linuron	Stomp	Tordon
	Goal	Goal	Treflan	Bromacil
		Goltix	Simazine	Simazine
		Cotoran	Centium	Zorial
		Sencor	Sencor	Facet
		Kerb	Kerb	
		Pyramin	Scepter	
		Overtop	Classic	
			Zorial	
			Facet	

Η καλύτερη αντιμετώπιση της υπολειμματικής φυτοτοξικότητας των ζιζανιοκτόνων εδάφους είναι η πρόληψή της με διάφορα μέτρα που υπάρχουν.

Ενδεικτικά αναφέρονται:

- η εφαρμογή της ενδεικνυόμενης δόσης,
- η μέθοδος και χρόνος εφαρμογής,
- η καλλιέργεια εδάφους,
- η χρήση ζιζανιοκτόνων που προσλαμβάνονται και διασπώνται από τις καλλιέργειες,
- οι συνδυασμοί ζιζανιοκτόνων,
- η αμειψισπορά και
- η χρήση ανθεκτικής καλλιέργειας-ποικιλίας.

Συμπερασματικά, από μελέτες που έχουν γίνει έχει διαπιστωθεί ότι το περιβάλλον επηρεάζει τόσο τις φυσιολογικές και βιοχημικές λειτουργίες των φυτών όσο και τον μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων μέσα στο φυτό. Οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι δύο: (1) το φως και (2) η θερμοκρασία. Γι' αυτό το λόγο, υπάρχουν κάποια σκευάσματα που δρουν μόνο σε συνθήκες φωτός ενώ η αποτελεσματικότητα κάποιων άλλων αυξάνεται παρουσία χαμηλής έντασης φωτός πριν την εφαρμογή τους και παρουσία υψηλής έντασης μετά τον ψεκασμό τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους 30°C συμβάλλει στην αύξηση της δράσης των ζιζανιοκτόνων.

### 2.3 Πορεία και συμπεριφορά στο νερό

Τα ζιζανιοκτόνα είναι γνωστά για τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις στα φυτά, στην άγρια ζωή, στον άνθρωπο και στο αβιοτικό περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρας). Αποτελούν σημαντικό παράγοντα υποβάθμισης όχι μόνο των εδαφών αλλά κυρίως των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Από τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, τα ζιζανιοκτόνα αναφέρονται ανάμεσα στις κυριότερες ουσίες ενδεχόμενης επιβάρυνσης – ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων οι οποίες τα καθιστούν ακατάλληλα ως πόσιμα και/ή αρδευτικά.

Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έχουν αποδείξει ότι η παρουσία ζιζανιοκτόνων στα επιφανειακά – υπόγεια ύδατα αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου αλλά και κάθε άλλης μορφής ζωής όπως των φυτών, της άγριας ζωής και μικροοργανισμών (Beitz et al, 1994). Εκτεταμένες μελέτες στις Η.Π.Α. έχουν δείξει ότι η σημαντικότερη πηγή ρύπανσης είναι η γεωργία η οποία με τα λιπάσματα και τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα ευθύνεται για το 70% της ρύπανσης στα ποτάμια – ρυάκια και το 50% των λιμνών (Λόλας, 2003). Σε παρόμοια αποτελέσματα έχουν καταλήξει κι άλλες μελέτες που έχουν διεξαχθεί στην Ε.Ε. όπως στην Αγγλία, Ιταλία, Γερμανία, Δανία κι Ολλανδία (Borner, 1994).

Όσον αφορά στην Ελλάδα, οι επιπτώσεις στα ύδατα από την χρήση ζιζανιοκτόνων είναι πολύ περιορισμένες. Εξίσου ελάχιστες είναι κι οι μελέτες για την επιβάρυνση των νερών είτε σε επίπεδο χώρας είτε σε επίπεδο περιφέρειας (Λόλας, 2003). Τα αποτελέσματα μελέτης της επιβάρυνσης των υπόγειων υδάτων στη λεκάνη του Αξιού, έδειξαν ότι 78 σε 142 γεωτρήσεις 10 έως 150 μέτρων περιείχαν ανιχνεύσιμα υπολείμματα από μία ή περισσότερες δειγματοληψίες, ενώ σε ποσοστό 22 % των γεωτρήσεων η συγκέντρωση ήταν πάνω από το επιτρεπτό όριο των 0,1 μg/L (Charizopoulos et al., 1999). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι απ' όλα τα αποτελέσματα των μελετών φαίνεται ότι αρκετά ζιζανιοκτόνα μετά την εφαρμογή τους μετακινούνται στο περιβάλλον κι είναι πιθανό να επιβαρύνουν μ' αυτό τον τρόπο τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

Όμως, η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από τα ζιζανιοκτόνα είναι πολύ πιο σοβαρό πρόβλημα από ότι εκείνο των επιφανειακών υδάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ζιζανιοκτόνα στα υπόγεια ύδατα δεν αποδομούνται τόσο γρήγορα όσα στα

επιφανειακά ύδατα κι επίσης η αραίωση της συγκέντρωσης στα υπόγεια ύδατα γίνεται με πιο αργό ρυθμό. Σε πολλές περιπτώσεις, ακόμη, τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο και τα ζώα ως πόσιμο νερό κι ως αρδευτικό νερό για τις καλλιέργειες (Λόλας, 2003). Αντίθετα, τα επιφανειακά ύδατα ανανεώνονται συχνά με καινούρια νερά κι ως συνέπεια αραιώνονται γρήγορα οι συγκεντρώσεις των ζιζανιοκτόνων ενώ η παρουσία οξυγόνου υποβοηθάει την αποδόμησή του. Η αργή αποδόμηση και αραίωση ποσοτήτων ζιζανιοκτόνων στα υπόγεια ύδατα σημαίνει παρουσία και ρύπανση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Τα επιφανειακά ύδατα επιβαρύνονται με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Απορροή ζιζανιοκτόνου
2. Διάβρωση εδάφους
3. Μετακίνηση ψεκαστικού διαλύματος
4. Παράπλευρη στράγγιση εδαφών ψεκασμένων με ζιζανιοκτόνο
5. Απευθείας εφαρμογή στο νερό
6. Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις
7. Τυχαία ή εν γνώσει απόρριψη ζιζανιοκτόνων σε νερά

Οι τρόποι με τους οποίους επιβαρύνονται τα υπόγεια ύδατα είναι η έκπλυση και τα φυσικά ανοίγματα.

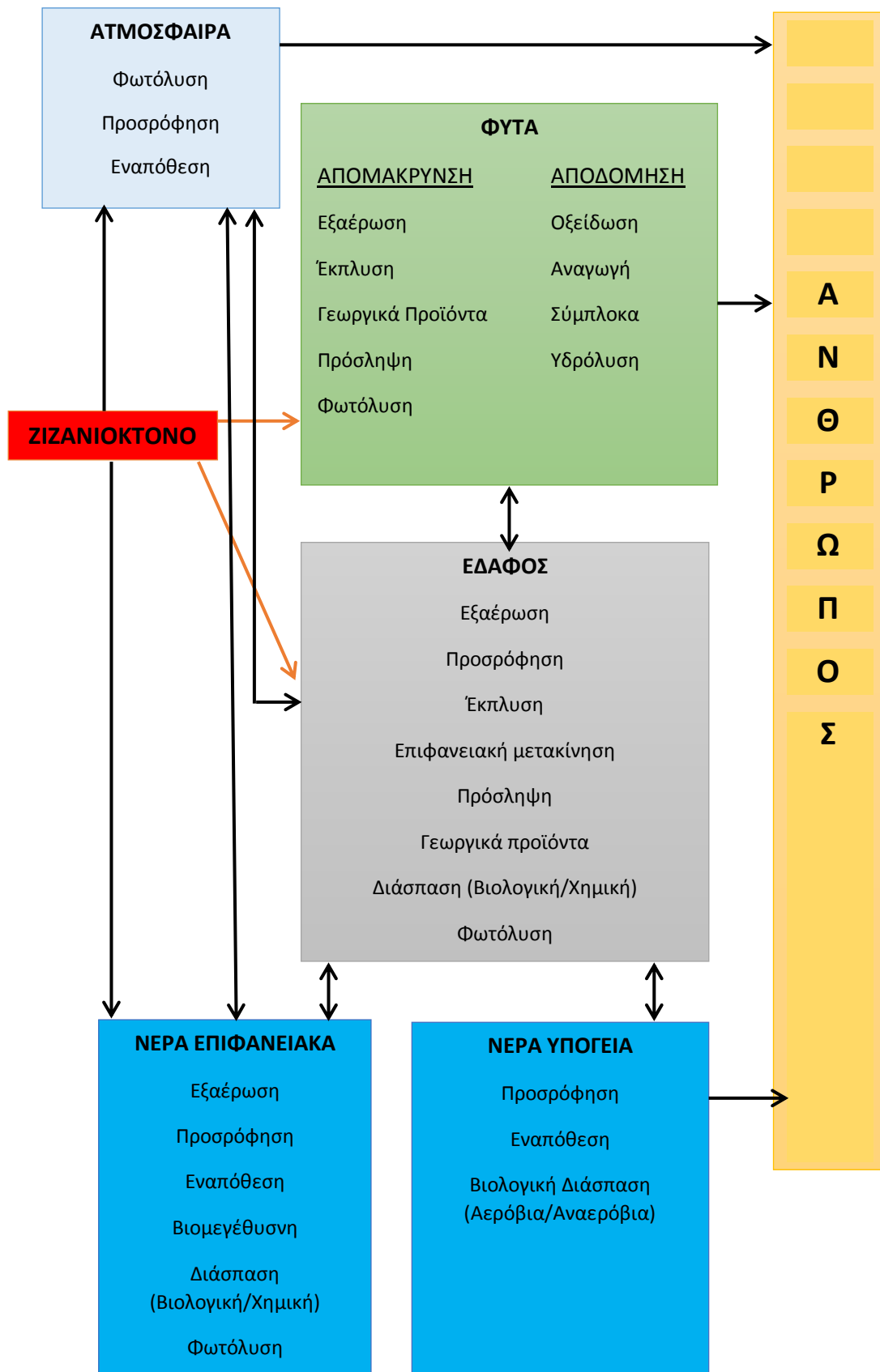
Από την ποσότητα ενός ζιζανιοκτόνου στο έδαφος εκπλύνεται, μόνο το μέρος εκείνο που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα. Οι κίνδυνοι που προκύπτουν από την παρουσία των ζιζανιοκτόνων στα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα είναι η «βιοσυγκέντρωση» σε ορισμένους υδρόβιους οργανισμούς και η «βιομεγέθυνση» τους στην τροφική αλυσίδα, στην κορυφή της οποίας βρίσκεται ο άνθρωπος. Σε περιπτώσεις λιποφιλικών ζιζανιοκτόνων, αξίζει να σημειωθεί ότι η βιομεγέθυνση μπορεί να είναι μέχρι κι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από αυτή που αντιστοιχεί σε συγκεντρώσεις τοξικές σε κάθε μορφή ζωής.

Αυτό που ισχύει γενικά είναι ότι μετά από πιθανή έκπλυση ζιζανιοκτόνων στο έδαφος, τα αβαθή υπόγεια ύδατα αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο της ρύπανσης. Εάν τα ζιζανιοκτόνα δεν προσροφηθούν στο έδαφος και χαρακτηρίζονται από υψηλή υδατοδιαλυτότητα χωρίς δυνατότητα εύκολης αποδόμησης στο έδαφος, είναι πιθανό να εκπλυθούν και να καταλήξουν σε κάθε μορφή ζωής. Παρόλα αυτά, ζιζανιοκτόνα έχουν ανιχνευτεί σε υπόγεια ύδατα σε μεγάλα βάθη έως 220 μέτρα (Fenelon and Moore, 1998) και έτσι δεν μπορούν να θεωρηθούν ασφαλή/κατάλληλα σε ορισμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες.

Στη ρύπανση των υδάτων με ζιζανιοκτόνα, δύο παράγοντες έχουν ιδιαίτερη σημασία όπου είναι η απόσταση μεταφοράς και η διάρκεια ζωής του ζιζανιοκτόνου στο νερό. Είναι γνωστές αρκετές περιπτώσεις μεταφοράς ζιζανιοκτόνου σε επιφανειακά

τρεχούμενα νερά που φθάνουν πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, όπως το ατύχημα στη Βασιλεία Ελβετίας το 1986 που επιβάρυνε το Ρήνο μέχρι τις εκβολές.

Έχουν προταθεί μέτρα προστασίας των υδάτων από ζιζανιοκτόνα που αφορούν τις πηγές προέλευσής τους είτε αυτές είναι σημειακές είτε διάχυτες. Οι σημειακές περιλαμβάνουν περιπτώσεις ατυχημάτων, σκόπιμες απορρίψεις, αδειάσματα-ξεπλύματα ψεκαστικών κλπ. Και τα μέτρα είναι κυρίως η ευαισθητοποίηση των εμπλεκομένων- χρηστών των φυτοπροστατευτικών προϊόντων ώστε να δείχνουν την κατάλληλη προσοχή ή/και να μην προβαίνουν σε ενέργειες που σχετίζονται με την επιβάρυνση των υδάτων. Για τις διάχυτες πηγές, τα μέτρα είναι περισσότερα και συμπεριλαμβάνουν οποιαδήποτε ενέργεια περιορίζει ή σταματά την κατάληξη των ζιζανιοκτόνων σε υδάτινους αποδέκτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα αποτελεσματικό μέτρο είναι η ζώνη προφύλαξης η οποία είναι έκταση που παρεμβάλλεται ανάμεσα στην επιφάνεια που ψεκάζεται κι έναν υδάτινο αποδέκτη (αρδευτικό κανάλι, ρυάκι, ποτάμι κλπ) ή περιβάλλει έναν υδάτινο αποδέκτη (λίμνη, δεξαμενή κλπ). Οι λωρίδες αυτές μπορούν να έχουν φυσική βλάστηση ή να καλύπτονται με ειδική, χωρίς να δέχονται κατεργασία εδάφους.



Εικόνα 2 - Πορεία ζιζανιοκτόνων στο περιβάλλον μετά την εφαρμογή τους (Λόλας, 2003)

## 2.4 Πορεία και συμπεριφορά στον Αέρα

Τα ζιζανιοκτόνα μπορούν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους και ο βασικότερος όλων μέσω του οποίου διαφεύγει η μεγαλύτερη ποσότητα των ζιζανιοκτόνων είναι μέσω της μετακίνησης του ψεκαστικού υγρού. Σε κάθε εφαρμογή ζιζανιοκτόνου, με εξαίρεση τα κοκκώδη, σωματίδια ή σταγόνες από ψεκαστικό υγρό μπορούν να παρασυρθούν από τον αέρα και να μεταφερθούν σε μέρη άλλα από εκείνα του ψεκασμού. Ο τρόπος, η απόσταση μετακίνησης αλλά και η ποσότητα του ζιζανιοκτόνου που μεταφέρεται ποικίλει. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μικρά σωματίδια, από υδάτινα σκευάσματα μετακινούνται ευκολότερα ενώ ειδικές προσθετικές ουσίες στα σκευάσματα και χαμηλή πίεση στην εφαρμογή του ψεκαστικού που χρησιμοποιείται σε χαμηλό ύψος από την ψεκαζόμενη επιφάνεια του εδάφους μπορούν να μειώσουν την μετακίνηση.

Ακόμη, πρέπει να αποφεύγονται οι ψεκασμοί ζιζανιοκτόνων όταν υπάρχουν έντονοι άνεμοι. Πειράματα που έχουν διεξαχθεί δείχνουν ότι με ιδανικές συνθήκες η μετακίνηση ψεκαστικού υγρού είναι 2% ενώ σφάλματα στην εφαρμογή προκαλούν απώλειες έως 4%. Εάν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα τότε είναι αρκετά πιθανό ότι δεν θα ελευθερωθούν ζιζανιοκτόνα στην ατμόσφαιρα, δεν θα υπάρχουν προβλήματα φυτοτοξικότητας σε καλλιέργειες γειτονικών καλλιεργειών που είναι έτοιμες για συγκομιδή (Λόλας, 2003).

Η μετακίνηση ατμών ζιζανιοκτόνου αποτελεί έναν άλλο τρόπο διαφυγής του ζιζανιοκτόνου κι αφορά στα πτητικά ζιζανιοκτόνα, που οι ατμοί τους μεταφέρονται με τη βοήθεια αέρα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ζημιές συνήθως προκαλούνται σε γειτονικές ή απομακρυσμένες καλλιέργειες. Η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων συνίσταται να γίνεται πριν την σπορά ώστε να αποφεύγονται διαφυγές στην ατμόσφαιρα και ζημιές σε παρακείμενες καλλιέργειες. Προκειμένου η πτητικότητα (εξάτμιση) του προϊόντος να διατηρείται χαμηλή πρέπει να είναι μικρή η πίεση των ατμών του, να επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες κατά την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου στο έδαφος, τα εδάφη να χαρακτηρίζονται από χαμηλή υγρασία και κατάλληλο pH για να εξασφαλίζεται υψηλή προσρόφηση στο περιβάλλον. Από πειράματα που έχουν διεξαχθεί στις Η.Π.Α. έχει διαπιστωθεί ότι υπό ευνοϊκές συνθήκες μπορεί να υπάρχει διαφυγή στην ατμόσφαιρα ακόμα και σε ποσοστό 60-80%, ποσοστό που γίνεται αμελητέο εάν εφαρμοστούς οι οδηγίες εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου. Γενικά, συνιστάται η χρήση σκευασμάτων με χαμηλή ή μηδενική πτητικότητα.

Μέσω της αεροδιάβρωσης, τα ζιζανιοκτόνα διαφεύγουν με τα σύννεφα σκόνης που δημιουργούνται σε κυρίως αμμουδερά χωράφια. Τα ζιζανιοκτόνα προσροφόνται στα σωματίδια της σκόνης και μετακινούνται από τον αέρα.

Η φωτοαποσύνθεση αφορά στη διαδικασία αποδόμησης του ζιζανιοκτόνου πάνω στο έδαφος, το φυτό ή μέσα στους οργανισμούς και στην ατμόσφαιρα. Με την έκθεσή τους στον ήλιο, απορροφούν ηλιακή ενέργεια και υφίστανται φωτοχημικές

αντιδράσεις με αποτέλεσμα την μερική ή την ολική απενεργοποίηση τους (Λόλας, 2003).

Γενικά, η φωτοχημική διάσπαση των ζιζανιοκτόνων αποτελεί τον κύριο τρόπο υποβάθμισης και καταστροφής των ζιζανιοκτόνων στην ατμόσφαιρα. Υπάρχει όμως κι ένας άλλος τρόπος διαφυγής των ζιζανιοκτόνων με οικολογική σημασία, σύμφωνα με τον οποίον η επιστροφή των ζιζανιοκτόνων στην επιφάνεια του εδάφους ή των φυτών γίνεται με την βροχή, με συνέπεια την πρόκληση ακόμα και φυτοτοξικότητας.

Από περιβαλλοντική σκοπιά, η πορεία των ζιζανιοκτόνων και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων γενικότερα, αποτελεί το μηχανισμό ρύπανσης οικοσυστημάτων μακριά από τον τόπο εφαρμογής των ζιζανιοκτόνων καθώς και προστατευόμενων φυσικών η ανθρωπογενών οικοσυστημάτων. Εάν τα ζιζανιοκτόνα που κατακρημνίζονται με την βροχή στο έδαφος, δεν επανέλθουν στην ατμόσφαιρα, τότε η πορεία τους είναι όμοια με κείνη των ζιζανιοκτόνων στο έδαφος ή στα φυτά. Εξίσου σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η κινητικότητα των ζιζανιοκτόνων και των προϊόντων διάσπασής τους στην ατμόσφαιρα κι ο διασκορπισμός τους κι η μεταφορά τους με τις κινούμενες αέριες μάζες σε άλλα σημεία στην ατμόσφαιρα από αυτά όπου ελευθερώθηκαν. Μικρό μέρος από τα ζιζανιοκτόνα, τέλος, χάνεται στη τροπόσφαιρα (Λόλας, 2003).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### *Τοξικολογία Ζιζανιοκτόνων και Νομοθεσία*

---

#### **3.1 Τοξικολογία Ζιζανιοκτόνων**

Η τοξικολογία αφορά τις επιδράσεις των ζιζανιοκτόνων στην υγεία του ανθρώπου. Οι επιδράσεις αυτές συνεπάγονται από τοξικολογικές μελέτες όχι στον ίδιο τον άνθρωπο αλλά σε πειραματόζωα και κυρίως ποντικούς. Σε πρώτο στάδιο, κάθε φυτοπροστατευτικό προϊόν ελέγχεται ως προς την τοξικότητα αλλά πραγματοποιούνται και άλλες μελέτες που αφορούν την επίδραση του στο αναπαραγωγικό σύστημα στον άνθρωπο αλλά και σε ζώα, την δυνατότητα πρόκλησης τερατογενέσεων, μεταλλαξιγένεσης αλλά και καρκινογένεσης.

Γενικά για κάθε νέο φυτοπροστατευτικό προϊόν και στην περίπτωση μας για τα νέα ζιζανιοκτόνα που παράγονται προκειμένου να εγκριθεί η κυκλοφορία τους πρέπει να πραγματοποιηθεί μια μεγάλη σειρά από ελέγχους – δεδομένων ασφαλείας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στην τοξικολογία η επικινδυνότητα ενός ζιζανιοκτόνου εκφράζεται ως συνάρτηση της τοξικότητας του και της έκθεσης του ανθρώπου σε αυτό. Με την τοξικότητα μετριέται η ποσότητα ενός ζιζανιοκτόνου η οποία βλάπτει τον άνθρωπο ή είναι θανατηφόρα. Με τον όρο «έκθεση» εκτιμάται η πιθανότητα να δεχθεί ο άνθρωπος μια βλαπτική - θανατηφόρα δόση ενός ζιζανιοκτόνου.

Η τοξικότητα ενός ζιζανιοκτόνου στον άνθρωπο μπορεί να είναι οξεία, υποχρόνια ή χρόνια. Οξεία τοξικότητα είναι η ιδιότητα ή η δυνατότητα ενός ζιζανιοκτόνου να προκαλεί βλάβη ή ασθένεια στον άνθρωπο, σύντομα (0-7 μέρες) μετά την έκθεση σε αυτό του ανθρώπου. Μετριέται με τον δείκτη LD<sub>50</sub> ενώ στη περίπτωση οξείας τοξικότητας με αναπνοή, παρουσία ενός ζιζανιοκτόνου στον αέρα χρησιμοποιείται ο δείκτης LC<sub>50</sub>. Υποχρόνια τοξικότητα είναι η ιδιότητα ή η δυνατότητα ενός ζιζανιοκτόνου να προκαλεί βλάβη ή ασθένεια στον άνθρωπο μετά από επανειλημμένη έκθεση για περιορισμένο όμως χρόνο. Στην χρόνια τοξικότητα το πειραματόζωο εκτίθεται σε διαφορετικές δόσεις ενός ζιζανιοκτόνου για περισσότερο χρονικό διάστημα από 12-24 μήνες.



**Πίνακας 2 - Μερικά απαιτούμενα τοξικολογικά - οικοτοξικολογικά στοιχεία που απαιτούνται για την έγκριση κυκλοφορίας ενός ζιζανιοκτόνου (Λόλας, 2003)**

<b>Χημικές - Φυσικές ιδιότητες δραστικής ουσίας</b>	<b>Συμπεριφορά στα Φυτά</b>	<b>Χρήση ζιζανιοκτόνων</b>
Χημική σύσταση Μοριακό βάρος Χρώμα, Οσμή Φάση Πυκνότητα Πτητικότητα Σημείο ζέσεως & τήξεως, Υδατοδιαλυτότητα, Σταθερότητα, pH	Είσοδος Μετακίνηση Μηχανισμός δράσης Μεταβολισμός Άλλες βιολογικές ιδιότητες Συμπτώματα φυτοτοξικότητας Ανθεκτικότητα ζιζανίων	Χρόνος εφαρμογής Καλλιέργειες Ζιζάνια ελεγχόμενα Δόση
<b>Χημικές- Φυσικές ιδιότητες σκευάσματος</b>	<b>Συμπεριφορά στο έδαφος</b>	<b>Επικινδυνότητα στο περιβάλλον</b>
Κίνδυνος φωτιάς, έκρηξης, διάβρωσης Χρόνος/συνθήκες διατήρησης Αντίδοτα Συνδυαστικότητα.	Προσρόφηση Έκπλυση Φωτοαποσύνθεση Πτητικότητα Διάσπαση Υπολειμματικότητα Ημιζωή Προβλήματα αμειψισποράς	Μέλισσες, Ωφέλιμα έντομα, Γαιοσκώληκες Υδατικά οικοσυστήματα Τοξικότητα σε ψάρια, Άγρια ζωή Βιομεγέθυνση.
	<b>Επικινδυνότητα στον άνθρωπο- κατοικίδια</b>	
	Οξεία/Χρόνια/Υποχρόνια τοξικότητα Ερεθισμός οφθαλμών και δέρματος Μεταβολισμός, Αποβολή, Συσσώρευση, Καρκινογένεση, Τερατογένεση, Μεταλλαξιγένεση	

Σημαντικές έννοιες για μελέτες τοξικότητας κι υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων (Λόλας, 2003, Ζιώγας & Μαρκόγλου, 2010)

### **Μέση θανατηφόρος δόση 50% (Lethal Dose, LD<sub>50</sub>)**

Είναι η δόση στην οποία θανατώνεται το 50 % των πειραματόζωων κι η οποία εκφράζεται σε mg δραστικής ουσίας ανά kg ζώντος σωματικού βάρους. Αποτελεί μέτρο της οξείας τοξικότητας κι ανάλογα με την τιμή LD<sub>50</sub> οι ενώσεις χαρακτηρίζονται στις αντίστοιχες κατηγορίες, όπως περιγράφει ο ακόλουθος πίνακας:

Άκρως τοξικές:	LD <sub>50</sub> < 1 mg/kg
Πολύ τοξικές:	LD <sub>50</sub> = 1-5 mg/kg
Τοξικές:	LD <sub>50</sub> = 5-50 mg/kg
Μέσης τοξικότητας:	LD <sub>50</sub> = 50-500 mg/kg
Ελαφρώς τοξικές:	LD <sub>50</sub> > 500 mg/kg

### **Θανατηφόρα συγκέντρωση 50% (Lethal Concentration, LC<sub>50</sub>)**

Είναι η απαιτούμενη δόση για να σκοτώσει τα μισά μέλη του ελεγχόμενου πληθυσμού μετά από έναν συγκεκριμένο χρόνο δοκιμής . Οι αριθμοί LD<sub>50</sub> χρησιμοποιούνται συχνά ως ένας γενικός δείκτης οξείας τοξικότητας μιας ουσίας (Herbicide Handbook, 2002).

### **No effect Concentration - NEC**

Αποτελεί μέτρο ποσότητας του ρύπου ανά μονάδα όγκου νερού ή εδάφους που να μην μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε υδατικά και εδαφικά οικοσυστήματα. Τα NECs υπολογίζονται από πειραματικά δεδομένα οξείας (Lethal Dose, LD<sub>50</sub>) και χρόνιας τοξικότητας (No Observed Effect Concentration, NOEC) ουσιών σε συνδυασμό με συντελεστές παρεκβολής (extrapolation coefficients).

### **No Observable Adverse Effect Level – NOAEL**

Είναι η μέγιστη συγκέντρωση φαρμάκου η οποία στο διάστημα της κανονικής ζωής του πειραματόζωου δεν προκαλεί ανατρεψίμες δυσμενείς επιδράσεις. Αποτελεί μέτρο της χρόνιας τοξικότητας κι εκφράζεται σε mg/kg ζώντος βάρους/ μέρα.

### **Ημερήσια αποδεκτή λήψη για τον άνθρωπο (Acceptable Daily Intake – ADI)**

Είναι η ημερήσια, αποδεκτή, μη τοξική δόση σε τρόφιμα και ποτά ανά μονάδα μάζας σώματος. Εκτιμά την επίδραση των φυτοφαρμάκων στην ανθρώπινη υγεία μέσω της πρόσληψής του με το φαγητό και το πόσιμο νερό. Προσδιορίζεται από την μέγιστη δόση που δεν παρατηρήθηκαν τοξικές επιδράσεις σε πειραματόζωα κατά τα πειράματα χρόνιας τοξικότητας με τη χρήση ενός συντελεστή ασφάλειας (Safety Factor, SF) τουλάχιστον 100.

$$ADI = \frac{NOAEL}{SF}$$

Όταν η μέγιστη θεωρητική λήψη υπολειμμάτων είναι μικρότερη της ADI, τότε το φυτοφάρμακο θεωρείται ασφαλές από την άποψη του κινδύνου της χρόνιας τοξικότητας για τον καταναλωτή

#### **Δόση Αναφοράς (Reference Dose- RfD)**

Πρόκειται για τη συγκέντρωση με την χαμηλότερη τοξικολογική ποσότητα ενός ζιζανιοκτόνου κάτω από την οποία οποιαδήποτε έκθεση του ανθρώπου δεν αναμένεται να προκαλέσει βλάβη. Υπολογίζεται μόνο για τα ζιζανιοκτόνα που δεν θεωρούνται γονιδιοτοξικά καρκινογόνα. Υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο όπου UF είναι ο συντελεστής αβεβαιότητας (UF= 10,100,1000) και MF είναι υποκειμενικός επιδιορθωτικός παράγοντας που παίρνει τιμές από 0 έως 10 ανάλογα με την αξιοπιστία των μετρήσεων.

$$RfD = \frac{NOAEL}{UF \times MF}$$

Τα ζιζανιοκτόνα κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση το ενδεχόμενο πρόκλησης καρκίνου στον άνθρωπο. Η κατηγοριοποίηση αυτή είναι διαφορετική στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Διεθνή Υπηρεσία Έρευνας για το καρκίνο (International Agency for Researchon Cancer, IARC). Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατάταξη των ζιζανιοκτόνων σε αυτές τις κατηγορίες δεν είναι οριστική που σημαίνει ότι νέες ή πιο πλήρεις μελέτες μπορούν να αποδείξουν μεγαλύτερη ή μικρότερη τοξικότητα των ζιζανιοκτόνων, με αποτέλεσμα να αλλάξουν κατηγορία.

**Πίνακας 3 - Ομάδες κατάταξης των ζιζανιοκτόνων με βάση το ενδεχόμενο πρόκλησης καρκίνου σε άνθρωπο κατά IARC και ΕΕ (Λόλας, 2003).**

IARC		ΕΕ	
<i>Κατηγορίες</i>	<i>Χαρακτηρισμός</i>	<i>Κατηγορίες</i>	<i>Χαρακτηρισμός</i>
<b>1</b>	Γνωστά καρκινογόνα	<b>1</b>	Γνωστά Καρκινογόνα
<b>2α</b>	Πιθανά καρκινογόνα	<b>2</b>	Θεωρούνται καρκινογόνα
<b>2β</b>	Ενδεχόμενα καρκινογόνα	<b>3</b>	Πιθανώς καρκινογόνα
<b>3</b>	Μη κατατάξιμο		
<b>4</b>	Πιθανώς μη καρκινογόνο		

Ιδιαίτερα απασχολεί και η πορεία των ζιζανιοκτόνων στον άνθρωπο αλλά και στα ζώα. Οι ανησυχίες αφορούν το μεταβολισμό των ζιζανιοκτόνων και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων γενικότερα, την κατανομή τους στους διάφορους ιστούς-όργανα, τον τρόπο και χρόνο αποβολής τους από τον άνθρωπο και τα ζώα.

Από έρευνες που έχουν διεξαχθεί σχετικά με το atrazine, αφού χορηγήθηκε σε αρουραίους, το 20% αποβλήθηκε με τα κόπρανα σε 72 ώρες ενώ το υπόλοιπο 80% κατέληξε στο αίμα. Μετά το πέρας άλλων 72 ωρών, το 65% αποβλήθηκε με τα ούρα και το 15 % κατακρατήθηκε στο ήπαρ, νεφρά και πνεύμονες.

Στην περίπτωση του glyphosate βρέθηκε ότι δεν απορροφάται από το πεπτικό σωλήνα κι αποβάλλεται γρήγορα από το σώμα των θηλαστικών. Μετά από 10 μέρες από την χορήγησή του σε αρουραίους, μόνο ίχνη του ζιζανιοκτόνου εντοπίστηκαν στους ιστούς των πειραματόζωων. Ίδια αποτελέσματα βρέθηκαν σε άλλες μελέτες που έγιναν με αγελάδες, κότες και χοίρους. Οι συγκεντρώσεις στο γάλα και τα αυγά ήταν μη ανιχνεύσιμες (Λόλας, 2003).

Τα πρώτα χρόνια εισαγωγής και χρήσης των ζιζανιοκτόνων και γενικότερα των φυτοπροστατευτικών προϊόντων στην γεωργία (αρχές δεκαετίας 50'), οι έλεγχοι και τα τοξικολογικά δεδομένα ήταν πολύ περιορισμένα στην Ε.Ε. Μετά την δεκαετία του 70', άρχισε να γίνεται γνωστό ότι η αλόγιστη χρήση τους μπορεί να προκαλεί πολύ σοβαρές βλάβες στον άνθρωπο και σε πολλούς άλλους οργανισμούς αλλά και στο περιβάλλον γενικότερα.

Η οικοτοξικολογία είναι μια νέα σχετικά επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη και την αξιολόγηση των οικολογικών και τοξικολογικών επιδράσεων των διάφορων ουσιών – ρύπων στους πληθυσμούς, στα φυτά, στα ζώα και στα οικοσυστήματα σε συνδυασμό με την πορεία - συμπεριφορά αυτών τους ουσιών στο περιβάλλον (Forbes&Forbes, 1994). Πιο συγκεκριμένα, η οικοτοξικολογία των ζιζανιοκτόνων χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες που αφορούν: (α) τις οικολογικές επιδράσεις των ζιζανιοκτόνων και (β) την περιβαλλοντική πορεία – συμπεριφορά των ζιζανιοκτόνων.

### **3.2 Νομοθεσία**

Η εναρμόνιση της νομοθεσίας σχετικά με την εμπορία, χρήση, διαδικασία/δοκιμές έγκρισης κλπ. Στα κράτη μέλη της ΕΕ για τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα διέπεται από την:

- Οδηγία 91/414 EEC  
και συμπληρώθηκε από τις Οδηγίες:
- 3600/92 EEC,
- 451//2000 EC,
- 490/2002 EC,
- 1112/2002 EC και

- 2076/2002 EC.

Με τις παραπάνω οδηγίες όλα τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων και των ζιζανιοκτόνων, κατατάχθηκαν σε τέσσερις λίστες για επανέλεγχο – έγκριση.

Όσον αφορά στην νομοθεσία για την προστασία των υδάτων, το ενδιαφέρον άρχισε να εκδηλώνεται από τη δεκαετία του 1970 με τη θέσπιση διάφορων οδηγιών όπως:

- 75/440/EEC για λήψη επιφανειακών υδάτων ως πόσιμων,
- 76/464/EEC για τις επικίνδυνες ουσίες στα ύδατα,
- 80/68/EEC που αφορά τα υπόγεια ύδατα,
- 80/778/EEC για τον καθορισμό των ανώτατων ορίων φυτοπροστατευτικών προϊόντων στο πόσιμο νερό,
- 76/464/EEC για την απάλειψη ή περιορισμό των επικίνδυνων ουσιών στα ύδατα λόγω της μεγάλης διάρκειας ζωής, της αυξημένης τοξικότητας και της ικανότητάς τους να βιοσυγκεντρώνονται,
- 2000/60/EC οι επικίνδυνες ουσίες μετονομάζονται σε ουσίες προτεραιότητας, και
- 97/57/EC που περιλαμβάνει τις αρχές προστασίας των υδατοαποθεμάτων που χρησιμεύουν ως πηγές πόσιμου νερού.

Στον παρακάτω πίνακα, εκτός από τα ζιζανιοκτόνα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, συμπεριλήφθηκε κι η τοξικότητα για μερικές ουσίες καθημερινής χρήσης, όπως είναι η καφεΐνη, ασπιρίνη, μαγειρικό αλάτι και η νικοτίνη ώστε η σύγκριση και η εκτίμηση των τιμών LD<sub>50</sub> για τα ζιζανιοκτόνα να είναι πιο ρεαλιστική. Από αυτή την σύγκριση φαίνεται ότι πολλά ζιζανιοκτόνα έχουν μεγαλύτερο LD<sub>50</sub> δηλαδή είναι λιγότερο τοξικά σε σχέση με την ασπιρίνη και αρκετά ζιζανιοκτόνα λιγότερο τοξικά ακόμα και από το μαγειρικό αλάτι.

**Πίνακας 4 - Ομαδοποίηση τοξικότητας ζιζανιοκτόνων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα**

Ομάδα LD <sub>50</sub> (mg/kg)	Ζιζανιοκτόνο	LD <sub>50</sub>		RfD	ADI
		Επίμνες	Ποντικός		
50-500	Bromoxynil	440	160	0.02	0.003
	Cyanazine	182	380	-	0.002
	<b>Καφεΐνη</b>	<b>192</b>	-	-	-
	Diquat	230	125	-	0.002

	Haloxyfop	337	-	0.0005	0.0003
	<b>Νικοτίνη</b>	<b>53</b>	-	-	-
	Paraquat	112	-	0.005	0.004
	<b>Βιταμίνη D</b>	<b>10</b>	-	-	-
<b>501 - 5000</b>	<b>Ασπιρίνη</b>	<b>1240</b>	<b>750</b>	-	-
	<b>Μαγειρικόαλάτι</b>	<b>3320</b>	-	-	-
	Alachlor	930	1100	0.01	0.0025
	Atrazine	3090	-	0.035	0.005
	Bentazon	1100	400	0.0025	0.1
	Butylate	4689	-	0.05	-
	Clethodium	1630	-	-	0.01
	Clomazone	2077	-	-	0.1
	Cycloate	3200	-	-	-
	2,4-D	764	-	-	0.05
	Dicamba	1707	-	0.03	0.03
	Dichlofop-meth.	567	-	-	0.002
	Difenzoquat	637	31	-	-
	Dimethenamid	1570	-	-	-
	Diuron	3400	-	0.002	0.006
	EPTC	1672	3160	-	0.09
	Fenoxaprop-eth	3310	-	-	0.004
	Fluazifop-butyl	4096	-	-	0.003
	Flufenacet	1617	-	-	-
	Flurochloridone	4000	-	-	-
Glufosinate	2170	-	-	0.02	
Ioxynil	110	-	-	0.004	

	Isoproturon	1826	3350	-	0.015
	Linuron	1254	-	0.002	0.003
	MCPA	1600	800	-	0.01
	Mecoprop	650	-	-	0.01
	Metolachlor	2877	-	0.1	0.08
	Metamitron	2403	-	-	-
	Metribuzin	1090	-	0.025	0.02
	Molinate	720	795	0.002	0.002
<b>501 – 5000</b>	Naptalam	1770	-	-	0.065
	Pebulate	1675	1652	-	0.007
	Prometryn	3750	3750	0.004	0.03
	Propachlor	1800	-	-	0.02
	Propanil	1080	-	-	0.1
	Pyrozon	2200	30000	-	-
	Pyridate	4690	-	-	0.036
	Quinclorac	2610	-	-	-
	Quizalofop	1670	2350	-	0.01
	Sethoxydium	2676	-	0.09	0.18
	Terbacil	1255	-	-	0.06
	Thiobencarb	1033	2745	-	0.007
	Trialate	1100	-	-	0.005
	Triclopyr	713	-	0.025	0.005
Tralkoxydium	1258	1235	-	0.005	
<b>&gt;5000</b>	Aclonifen	>5000	-	-	-
	Amitrole	>5000	>5000	-	0.001
	Asulam	>5000	-	-	0.02

Benfluralin	>5000	>10000	-	0.05
Bensulfuron	>5000	-	-	.02
Bromacil	5175	-	-	0.1
Chlorsulfuron	5545	-	-	0.05
Carfentrazone	>5000	-	-	-
Desmedipham	>10250	>500	-	-
Cycloxydim	3490	>5000	-	0.07
Dinitramine	5000	-	-	-
Ethalfluralin	>10000	>10000	-	-
Ethofumesate	>5400	-	-	0.07
Fluometuron	6416	-	0.0003	-
Glyphosate	5600	-	0.1	0.3
Imazamethaben	>5000	-	-	-
Imazapyr	>5000	-	-	-
Imazamox	>5000	-	-	-
Imazethapyr	>5000	-	-	0.25
Isoxaflutole	>5000	-	-	-
Mesotrione	>5000	-	-	-
Napropamide	>5000	-	-	0.1
Nicosulfuron	>5000	-	-	-
Norflurazon	9000	-	-	0.02
Oxadiazon	>5000	-	-	0.05
Oxyfluorthen	>5000	5900	0.003	0.025
Pendimethalin	>5000	-	0.04	0.125
Phenmedipham	>8000	-	-	0.01
Pretilachlor	6099	-	-	-



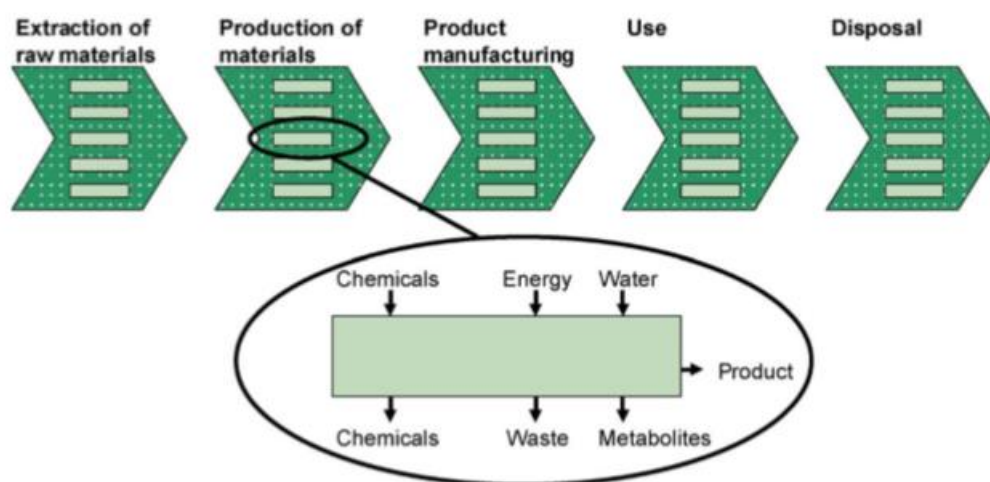
	Primisulfuron	>5050	-	-	-
	Propyzamide	>16000	-	-	0.02
	Propaquizafop	>5000	30009	-	0.003
	Rimsulfuron	>5000	-	-	0.02
	Simazine	>5000	-	0.005	0.005
	Sulcotrione	-	-	-	-
	Thifensulfuron	>5000	-	-	0.01
	Triasulfuron	>5000	-	-	0.01
	Tribenuron	>5000	-	-	0.01
	Trifluralin	>10000	>5000	0.075	0.02
	Triflusulfuron	>5000	-	-	-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Η μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

#### 4.1 Γενικά

Ο πρωταρχικός σκοπός για τον οποίο αναπτύχθηκε το εργαλείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment – LCA) ήταν η σύγκριση εναλλακτικών τελικών προϊόντων, όπως διάφοροι τύποι συσκευασίας γάλακτος ή διάφοροι τύποι βρεφικών πανών με βάση την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλούν καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Κατά τη δεκαετία του 1990, ενσωματώθηκε γρήγορα στα υψηλότερα στρατηγικά επίπεδα, συμπεριλαμβανομένης της λήψης αποφάσεων και της χάραξης πολιτικής σε εταιρικό επίπεδο. Στις ημέρες μας η ανάλυση κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση ενός μεγάλου εύρους προϊόντων και δραστηριοτήτων. Χαρακτηριστικά αναφέρονται η οικολογική σήμανση στο σχεδιασμό προϊόντων, τα ενεργειακά συστήματα, η παραγωγή τροφίμων και οι εναλλακτικές μεταφορές (Goedkoop et al., 2013).



Εικόνα 2 - Στάδια κύκλου ζωής προϊόντος (Birkved et al., 2006)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής είναι μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του. Η συγκεκριμένη διεργασία αναλύει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα κάτωθι στάδια:

1. Η εξόρυξη των πόρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των υλικών
2. Η παραγωγή των συστατικών μερών/στοιχείων του προϊόντος
3. Η χρήση του προϊόντος
4. Η διαχείριση μετά την απόρριψή του, είτε μέσω της επαναχρησιμοποίησης είτε μέσω της ανακύκλωσής του ή/και μέσω της τελικής απόθεσής του.

Το συνολικό σύστημα των διαδικασιών που περιλαμβάνονται στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος καλείται «σύστημα προϊόντος». Η περιβαλλοντική επιβάρυνση καλύπτει όλους τους τύπους των επιδράσεων στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων:

1. της εξόρυξης διαφόρων πόρων,
2. των εκπομπών επικίνδυνων ουσιών και
3. των διαφόρων τύπων χρήσης της γης.

Ο όρος «προϊόν» λαμβάνεται με την ευρύτερη έννοιά του, περιλαμβάνοντας φυσικά αγαθά αλλά και υπηρεσίες τόσο στο λειτουργικό όσο και στο στρατηγικό επίπεδο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε συγκριτικές μελέτες AKZ, δεν είναι τα προϊόντα που θέτουν τη βάση για σύγκριση αλλά η παρεχόμενη λειτουργία αυτών των προϊόντων. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ενώ εγγενώς έχει ποσοτικό χαρακτήρα – ορίζεται βάσει ποσοτικών χαρακτηριστικών- ενδέχεται ή/και απαιτείται σε πολλές περιπτώσεις να εμπεριέχει και ποιοτικά χαρακτηριστικά, ώστε να αποδοθεί μία όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη εικόνα των περιλαμβανόμενων περιβαλλοντικών επιδράσεων.

### **Ορισμοί**

#### **Ορισμός της AKZ από τον SETAC (Lindfors et al., 1995):**

«Μία διαδικασία αξιολόγησης του περιβαλλοντικού βάρους που σχετίζεται με ένα σύστημα παραγωγής, ή δραστηριότητα μέσω της αναγνώρισης και της ποσοτικής περιγραφής της ενέργειας, των χρησιμοποιούμενων υλικών, των αποβλήτων που ελευθερώνονται στο περιβάλλον και της εκτίμησης των επιδράσεων αυτής της ενέργειας, των υλικών και των αποβλήτων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος ή της δραστηριότητας, περικλείοντας την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών, την παραγωγή, τη διάθεση, τη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόρριψη συμπεριλαμβανομένων όλων των μεταφορών. Η AKZ αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιδράσεις του συστήματος μετά από μελέτη σε περιοχές οικολογικών συστημάτων, ανθρώπινης υγείας και μείωσης πόρων. Δεν αξιολογεί τις οικονομικές ή κοινωνικές επιδράσεις.»

#### **Ορισμός της AKZ από τον ISO/FDIS (1997):**

«Η AKZ είναι μία τεχνική για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πλευρών και των πιθανών επιδράσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, μέσω:

- της σύνθεσης μιας καταγραφής των σχετικών εισόδων και εξόδων ενός συστήματος
- της αξιολόγησης των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων που σχετίζονται με αυτές τις εισόδους και τις εξόδους

- της ερμηνείας των αποτελεσμάτων των φάσεων της καταγραφής και των επιδράσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης.

Η AKZ μελετά τις περιβαλλοντικές πλευρές και τις πιθανές επιδράσεις κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη. Οι γενικές κατηγορίες περιβαλλοντικών επιδράσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη περιλαμβάνουν τη χρήση πόρων, την ανθρώπινη υγεία και τις οικολογικές συνέπειες».

### **Ορισμός της AKZ από το ISO 14040 (2006):**

«Η AKZ κατευθύνει τις περιβαλλοντικές πλευρές και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιδράσεις (π.χ. τη χρήση πόρων και τις περιβαλλοντικές συνέπειες των εκπομπών) κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών, μέσω της παραγωγής, της χρήσης, της διαχείρισης στο τέλος της ζωής (end-of-life treatment), της ανακύκλωσης και της τελικής απόρριψης. Είναι η σύνθεση και η αξιολόγηση των εισροών, εκροών και των πιθανών περιβαλλοντικών επιδράσεων του συστήματος ενός προϊόντος σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.»

### **4.2 Η AKZ και το Ευρωπαϊκό Προγραμματικό Πλαίσιο**

Οι προσεγγίσεις στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής, ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας διέπονται από ευκαιρίες και από κινδύνους. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σκιαγραφούνται σε όλα τα στάδια της υφιστάμενης διεργασίας, αρχής γενομένης της εξόρυξης των φυσικών πόρων έως και την απόθεση του τελικού προϊόντος.

Για αυτό το σκοπό υπάρχει μια συνέχεια των προσεγγίσεων κύκλου ζωής από ποιοτικές έως περιεκτικές ποσοτικές προσεγγίσεις (μελέτες AKZ). Άνθρωποι, οργανισμοί και κυβερνήσεις χρησιμοποιούν αυτές τις ποικίλες προσεγγίσεις κύκλου ζωής από τις καθημερινές αγορές, επιλέγοντας αντικείμενα για το χώρο εργασίας, στο μηχανολογικό σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος, ή στην ανάπτυξη μιας νέας κυβερνητικής πολιτικής (UNEP/SETAC, 2004). Το Ευρωπαϊκό Προγραμματικό Πλαίσιο για την Έρευνα (European Framework Programme for Research, FP) αντιπροσωπεύει το κύριο χρηματοδοτικό όργανο που χρησιμοποιείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση για έρευνα και δραστηριότητες ανάπτυξης.

Η απόφαση να εισαχθεί η ανάγκη της διεξαγωγής μελετών ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής και κοινωνικών AKZ σε συμφωνία με το ISO 14040 σε πολλές από τις εργασίες του FP7 σε σχέση με την ανάπτυξη των περιβαλλοντικών τεχνολογιών, οδήγησαν στην αυξημένη αναγνώριση και χρήση της AKZ. Η Αξιολόγηση Βιωσιμότητας των Τεχνολογιών (Sustainability Assessment of Technologies, SAT) έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού η βιωσιμότητα είναι όλο και περισσότερο στο επίκεντρο των περισσότερων πολιτικών και βιομηχανικών αποφάσεων. Με στόχο την αξιολόγηση αναδυόμενων τεχνολογιών σε διάφορα πεδία, η προσέγγιση κύκλου ζωής είναι απαραίτητη για να βοηθήσει στην αποφυγή κάθε είδους μετακύλισης των

επιπτώσεων, ειδικότερα όταν λαμβάνονται αποφάσεις σε επίπεδο συστήματος (Tilche et al., 2008).

### 4.3 Στάδια Μεθοδολογίας

Η εφαρμογή της διεργασίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής περιλαμβάνει:

1. την ανάπτυξη ενός συστήματος απογραφής δεδομένων για τις εισροές και εκροές του εξεταζόμενου συστήματος
2. την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τις εισροές και τις εκροές
3. την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και αξιολόγησης σε σχέση με τους στόχους που έχουν τεθεί.

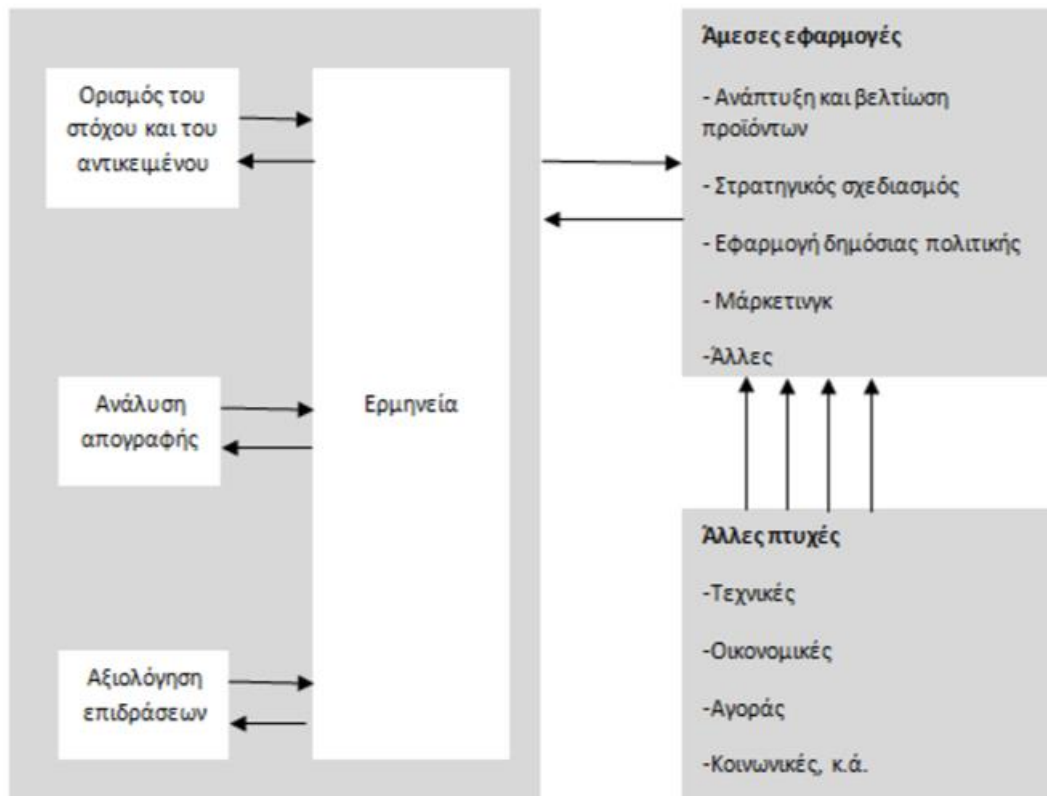
Τελικός στόχος είναι η εξεύρεση τρόπων βελτίωσης των επιπτώσεων που προσδιορίστηκαν (Γρηγορούδης και Διακάκη, 2008).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3 το πλαίσιο της αξιολόγησης του κύκλου ζωής περιγράφεται από τέσσερα στάδια:

- Προσδιορισμός σκοπού και αντικειμένου μελέτης (Goal and Scope definition)
- Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory analysis, LCI)
- Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life Cycle Impact assessment, LCIA)
- Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Interpretation)

Η παρουσία των διπλών τόξων ανάμεσα στα στάδια υποδεικνύουν την αλληλεπιδραστική φύση της ΑΚΖ.

Κατά την πραγματοποίηση της αξιολόγησης των επιδράσεων δύναται ορισμένες πληροφορίες να είναι ελλιπείς. Όταν λαμβάνει χώρα αυτό το γεγονός καταδεικνύει ότι η ανάλυση της απογραφής πρέπει να βελτιωθεί, ή η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα είναι ίσως ανεπαρκής στην εκπλήρωση των αναγκών που απαιτούνται από την εφαρμογή, γεγονός που σημαίνει ότι ο στόχος και το αντικείμενο της μελέτης θα πρέπει να επανεξεταστούν.



Εικόνα 3: Πλαίσιο της αξιολόγησης κύκλου ζωής

#### 4.3.1 Ορισμός Σκοπού και Αντικειμένου (Στάδιο 1)

Ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου είναι το πρώτο στάδιο σε μια ΑΚΖ και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του προς μελέτη συστήματος, τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα και τον τρόπο με τον οποίο θα διεξαχθεί η μελέτη.

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια ζητήματα:

- Το σκοπό
- Το αντικείμενο
- Τη λειτουργική μονάδα (ορίζεται ως η κοινή βάση αναφοράς – functional unit) που επιτρέπει τη σύγκριση συστημάτων και εναλλακτικών λύσεων που, αν και διαφορετικά, προσφέρουν την ίδια λειτουργικότητα.
- Τα όρια του συστήματος
- Την ποιότητα των δεδομένων
- Τις συγκρίσεις ανάμεσα σε συστήματα

##### Σκοπός

Ο ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου είναι από τα πιο κρίσιμα σημεία μιας ανάλυσης κύκλου ζωής λόγω της ισχυρής επιρροής τους στα αποτελέσματά της, προκειμένου να είναι συμβατά με τις γενικότερες επιδιώξεις της μελέτης.

Στον καθορισμό του σκοπού πρέπει να προσδιοριστούν η προτιθέμενη χρήση και οι χρήστες των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος, πρέπει να κατανοηθεί ο αναλυτικός σκοπός της μελέτης και κατ' επέκταση να εξαχθούν οι κατάλληλες αποφάσεις καθ' όλη τη μελέτη.

Παραδείγματα στόχων μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής είναι:

- Η σύγκριση δύο ή περισσότερων διαφορετικών προϊόντων που έχουν την ίδια λειτουργία με σκοπό τη χρήση της πληροφορίας στο μάρκετινγκ των προϊόντων ή στη ρύθμιση της χρήσης των προϊόντων.
- Η αναγνώριση πιθανοτήτων βελτίωσης ή περαιτέρω ανάπτυξης των υφιστάμενων προϊόντων ή στην καινοτομία και το σχεδιασμό νέων.
- Η αναγνώριση τομέων, βημάτων, κ.ά. στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος όπου τα κριτήρια μπορούν να αποτελούν μέρος των κριτηρίων οικολογικής σήμανσης.

Ο καθορισμός του σκοπού προσδιορίζει το επίπεδο εξειδίκευσης της μελέτης και τις απαιτήσεις στην καταγραφή της. Η διαφάνεια είναι απαραίτητη σε όλα τα είδη μελετών ΑΚΖ. Επιπλέον, ο σκοπός μπορεί να επαναπροσδιοριστεί σαν αποτέλεσμα των εξαγομένων της μελέτης, στα πλαίσια της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

#### Αντικείμενο

Ο ορισμός του αντικειμένου της μελέτης θέτει τα όρια της αξιολόγησης και καθορίζει τις παραμέτρους που περιλαμβάνονται στο σύστημα καθώς και τις λεπτομερείς μεθόδους αξιολόγησης θα χρησιμοποιηθούν.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να καθοριστούν και να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Οι λειτουργίες του συστήματος ή στην περίπτωση συγκριτικών μελετών τα συστήματα
- η λειτουργική μονάδα
- το προς μελέτη σύστημα
- τα όρια του συστήματος
- οι διαδικασίες διάθεσης
- οι τύποι των επιδράσεων και η μεθοδολογία αξιολόγησης των επιδράσεων που θα χρησιμοποιηθεί
- οι απαιτήσεις σε δεδομένα
- οι υποθέσεις και οι περιορισμοί
- η μορφή της αναφοράς που απαιτείται για τη μελέτη.

Το αντικείμενο θα πρέπει να είναι επαρκώς καθορισμένο για να διασφαλιστεί ότι το βάθος και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατά και αρκούν για να καλύψουν τον καθορισμένο σκοπό της μελέτης.

### Λειτουργική μονάδα

Ο ορισμός της λειτουργικής μονάδας ή των χαρακτηριστικών επίδοσης είναι η βάση μιας ανάλυσης κύκλου ζωής γιατί καθορίζει την κλίμακα για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων προϊόντων ή της βελτίωσης ενός προϊόντος (σύστημα). Ο βασικός σκοπός της λειτουργικής μονάδας είναι να παρέχει μία αναφορά στην οποία οι εισροές και οι εκροές να είναι σχετικές για τη διασφάλιση της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης κύκλου ζωής. Για τον ορισμό της θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η αποδοτικότητα του προϊόντος, η διάρκειά του και το πρότυπο επίδοσης της ποιότητας (performance quality standard).

### Όρια συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν τις λειτουργίες των διαδικασιών (π.χ. κατασκευή, μεταφορά και διαδικασίες διαχείρισης απορριμμάτων), και τις εισροές και εκροές που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ΑΚΖ. Ο καθορισμός των ορίων του συστήματος είναι σχετικά υποκειμενική λειτουργία και περιλαμβάνει διάφορα όρια όπως είναι τα ακόλουθα: γεωγραφικά όρια, όρια του κύκλου ζωής και όρια ανάμεσα στην «τεχνόσφαιρα» και τη «βιόσφαιρα».

Όταν τίθενται τα όρια του προς μελέτη συστήματος, διάφορα στάδια του κύκλου ζωής, διαδικασίες και ροές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως:

- η απόκτηση των πρώτων υλών
- οι εισροές και οι εκροές στην κύρια αλληλουχία παραγωγής
- η διάθεση/μεταφορά
- η παραγωγή και χρήση καυσίμων, ηλεκτρισμού και θερμότητας
- η διάθεση αποβλήτων
- η ανάκτηση των χρησιμοποιημένων προϊόντων
- οι επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως ο φωτισμός και η θέρμανση.

### Ποιότητα δεδομένων

Η ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην απογραφή (inventory) του κύκλου ζωής είναι φυσικό να αντικατοπτρίζεται στην ποιότητα της τελικής ανάλυσης κύκλου ζωής. Μπορεί να περιγράψει και να αξιολογηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καθιστά εφικτή την κατανόηση και τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων.

Οι απαιτήσεις της αρχικής ποιότητας θα πρέπει να καθορίζουν τις ακόλουθες παραμέτρους.

- Κάλυψη σε σχέση με το χρόνο:
  - ο επιθυμητός χρόνος (π.χ. μέσα στα τελευταία 5 χρόνια)
  - η ελάχιστη χρονική περίοδος (π.χ. ετησίως)
- Γεωγραφική κάλυψη:
  - η γεωγραφική περιοχή από την οποία τα δεδομένα για τις μοναδιαίες διαδικασίες θα πρέπει να συλλεχθούν για να ικανοποιήσουν το σκοπό της μελέτης (π.χ. τοπική, περιφερειακή, εθνική, ηπειρωτική, παγκόσμια)



- Τεχνολογική κάλυψη:
  - φύση της τεχνολογίας (π.χ. σταθμισμένος μέσος της διαδικασίας, καλύτερη διαθέσιμη τεχνολογία ή χειρότερη μονάδα λειτουργίας).

Επιπλέον, είναι απαραίτητη η καταγραφή της έλλειψης δεδομένων. Για κάθε μοναδιαία διαδικασία και για κάθε αναφερόμενη τοποθεσία που αναγνωρίζεται ότι λείπουν δεδομένα, ο χειρισμός αυτών των κενών θα πρέπει να καταλήγει σε:

- ✓ μία «μη- μηδενική» τιμή η οποία θα εξηγείται
- ✓ μία «μηδενική τιμή» που θα αναλύεται, ή - μία υπολογισμένη τιμή βασισμένη σε αναφερόμενες τιμές από διαδικασίες αναφοράς που εφαρμόζουν παρόμοια τεχνολογία.

Η ποιότητα των δεδομένων θα πρέπει να χαρακτηρίζεται τόσο από ποσοτικές και ποιοτικές πλευρές, όσο και από μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή και την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων (ISO 14044, 2004).

#### Συγκρίσεις ανάμεσα σε συστήματα

Σε μία συγκριτική μελέτη, η ισοδυναμία των συστημάτων που συγκρίνονται θα πρέπει να αξιολογηθεί πριν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, το αντικείμενο της μελέτης θα πρέπει να ορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα συστήματα να είναι συγκρίσιμα. Σ' αυτή τη περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια λειτουργική μονάδα αλλά και ισοδύναμες μεθοδολογικές θεωρήσεις, όπως είναι η επίδοση, τα όρια του συστήματος, η ποιότητα δεδομένων, οι διαδικασίες διάθεσης, οι κανόνες απόφασης στην αξιολόγηση εισροών και εκροών και η αξιολόγηση επιδράσεων. Οποιοσδήποτε διαφορές ανάμεσα στα συστήματα σε σχέση με αυτές τις παραμέτρους θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να καταγράφονται. Αν η μελέτη προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε συγκριτική έκθεση που θα γνωστοποιηθεί στο κοινό, τα ενδιαφερόμενα μέρη θα πρέπει να διεξάγουν κριτική αξιολόγηση (ISO 14044, 2004).

#### **4.3.2 Απογραφή Δεδομένων Κύκλου Ζωής (Στάδιο 2)**

Το δεύτερο στάδιο της AKZ είναι ίσως το πιο απαιτητικό και αφορά όλες τις δραστηριότητες/διεργασίες που εμπλέκονται στο εξεταζόμενο σύστημα και περιλαμβάνουν την άμεση ή/και έμμεση χρήση ενέργειας ή/και μάζας. Περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων, τον επαναπροσδιορισμό των ορίων του συστήματος, τις διαδικασίες υπολογισμού για την ποσοτικοποίηση των σχετικών εισροών και εκροών που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον του και την αντίστοιχη κατανομή. Η διαδικασία της ανάλυσης απογραφής είναι επαναληπτική. Όσο συλλέγονται δεδομένα και υπάρχει μεγαλύτερη γνώση για το σύστημα, μπορεί να αναγνωριστούν νέες απαιτήσεις σε δεδομένα ή περιορισμοί που να απαιτούν αλλαγή στις διαδικασίες συλλογής δεδομένων ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί (ISO 14040, 2006).

### Συλλογή δεδομένων

Η ανάλυση απογραφής περιλαμβάνει τη συλλογή και τη διαχείριση δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την κατανάλωση ενός υλικού, τα απορρίμματα και το προφίλ εκπομπών για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής εντός των ορίων του συστήματος. Μπορούν να ταξινομηθούν κάτω από τις παρακάτω επικεφαλίδες, περιλαμβάνοντας:

- ενεργειακές εισροές, εισροές πρώτων υλών, βοηθητικές εισροές, άλλες φυσικές εισροές,
- προϊόντα, παραπροϊόντα και απορρίμματα,
- ατμοσφαιρικές εκπομπές, απόβλητα σε νερό και χώμα, και
- άλλες περιβαλλοντικές πλευρές (ISO 14040, 2006).

Τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται από όλες τις διαδικασίες στον κύκλο ζωής και μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά. Τα ποσοτικά δεδομένα είναι σημαντικά στις συγκρίσεις διαδικασιών ή υλικών, αλλά συχνά τα ποιοτικά λείπουν ή είναι φτωχής ποιότητας. Τα πιο περιγραφικά ποιοτικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περιβαλλοντικές πλευρές ή σε απλά βήματα του κύκλου ζωής που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, ή εάν ο σκοπός και το αντικείμενο επιτρέπουν μία μη ποσοτική περιγραφή των συνθηκών.

Η συλλογή δεδομένων είναι συχνά η πιο απαιτητική και επίπονη διαδικασία μιας αξιολόγησης κύκλου ζωής, ειδικότερα αν χρειάζονται δεδομένα από συγκεκριμένες τοποθεσίες για όλες τις μοναδιαίες διαδικασίες του κύκλου ζωής. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο μέσος όρος δεδομένων από τη βιβλιογραφία ή δεδομένα από εμπορικές επιχειρήσεις που περιλαμβάνουν πληροφορίες εισροών και εκροών υλικών κατά τη διάρκεια παραγωγής από τα ημιπαραχθέντα ως τα τελικά προϊόντα (European Environmental Agency).

Η επιλογή συγκεκριμένων δεδομένων για καταγραφή εξαρτάται προφανώς από τις κατηγορίες επιπτώσεων που πρόκειται να μελετηθούν κατά την επόμενη φάση και οι οποίες καθορίστηκαν κατά το προηγούμενο στάδιο. Είναι όμως κοινά αποδεκτό ότι η απογραφή θα πρέπει να πληροί κατ' ελάχιστο τα ακόλουθα κριτήρια (Ciambone, 1997):

- Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι ποσοτικά και να ελέγχεται η ποιότητά τους. Όλες επίσης οι ενδεχόμενες υποθέσεις για τα δεδομένα και τη μεθοδολογία συλλογής τους θα πρέπει να προσδιορίζονται επακριβώς και να καταγράφονται.
- Οι πηγές πληροφοριών και η μεθοδολογία συλλογής των δεδομένων θα πρέπει να είναι επαρκώς καταγεγραμμένες έτσι ώστε σε περίπτωση επανάληψης της διαδικασίας, είναι να λαμβάνονται τα ίδια δεδομένα, είτε να υπάρχουν αποδεδειγμένες αιτιολογήσεις για πιθανές αποκλίσεις από τα αναμενόμενα.

- Τα δεδομένα θα πρέπει να είναι περιεκτικά. Όλες οι σημαντικές ροές μάζας και ενέργειας θα πρέπει να καταγράφονται, ενώ θα πρέπει να αναφέρονται ρητά οι περιπτώσεις έλλειψης δεδομένων και οι αιτίες τους.
- Τα δεδομένα θα πρέπει να έχουν χρησιμότητα. Οι χρήστες της μελέτης AKZ θα πρέπει να μπορούν να λάβουν κατάλληλες αποφάσεις βασισμένοι στα αποτελέσματα της απογραφής.

#### Επανακαθορισμός των ορίων του συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζονται σαν μέρος της διαδικασίας καθορισμού του σκοπού της μελέτης. Μετά την αρχική συλλογή δεδομένων, τα όρια του συστήματος μπορούν να επαναπροσδιοριστούν, για παράδειγμα σαν αποτέλεσμα των αποφάσεων εξαίρεσης κάποιων σταδίων του κύκλου ζωής ή υποσυστημάτων, εξαίρεσης ροών υλικών ή ενσωμάτωσης νέων μοναδιαίων διαδικασιών που φαίνονται να είναι σημαντικές σύμφωνα με την ανάλυση ευαισθησίας.

Η ανάλυση ευαισθησίας σχετίζεται με την επαναληπτική φύση της AKZ, και οι αποφάσεις σε σχέση με τα δεδομένα που θα συμπεριληφθούν θα πρέπει να βασίζονται σε μια ανάλυση ευαισθησίας για τον καθορισμό της σημαντικότητάς τους στο κατά πόσο επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μελέτης.

#### Εγκυρότητα των δεδομένων

Η εγκυρότητα των δεδομένων πρέπει να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συλλογής των δεδομένων ώστε να βελτιωθεί η συνολική ποιότητα της πληροφορίας. Η συστηματική επικύρωση των δεδομένων ίσως υποδείξει πεδία όπου η ποιότητα των δεδομένων θα πρέπει να βελτιωθεί ή τα δεδομένα θα πρέπει να βρεθούν από άλλες διαδικασίες.

Η επικύρωση μπορεί να περιλαμβάνει την εδραίωση, για παράδειγμα, ισοζυγίων μάζας, ενεργειακών ισοζυγίων και/ή συγκριτική ανάλυση παραγόντων εκπομπών. Προφανείς ανωμαλίες στα δεδομένα που εμφανίζονται από τέτοιες διαδικασίες εγκυρότητας θα πρέπει να έχουν σαν αποτέλεσμα εναλλακτικά δεδομένα που να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις της ποιότητας. Επιπλέον, ο χειρισμός δεδομένων που λείπουν καταλήγει είτε σε μηδενική αξία, αν αυτό δικαιολογείται, είτε σε μια τιμή που υπολογίζεται βάσει καταγεγραμμένων τιμών από διαδικασίες που εφαρμόζουν την ίδια τεχνολογία.

#### Υπολογισμός δεδομένων

Μετά τη συλλογή και την αναγνώριση της εγκυρότητας των δεδομένων, οι διαδικασίες υπολογισμού που περιλαμβάνουν:

- το συσχετισμό των δεδομένων με τις μοναδιαίες διαδικασίες και
- το συσχετισμό των δεδομένων στη ροή αναφοράς της λειτουργικής μονάδας.

Οι προαναφερόμενοι συσχετισμοί είναι απαραίτητοι για να εξάγουν τα αποτελέσματα της καταγραφής του συστήματος για κάθε διαδικασία και για την καθορισμένη λειτουργική μονάδα του συστήματος του προϊόντος που θα μοντελοποιηθεί.

Κατά τον υπολογισμό των ροών ενέργειας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Τα διαφορετικά καύσιμα και οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν.
- Η απόδοση της μετατροπής και διάθεσης της ροής ενέργειας.
- Οι εισροές και οι εκροές που σχετίζονται με την παραγωγή και τη χρήση αυτής της ροής ενέργειας (ISO 14040, 2006).

#### Απόρριψη και ανακύκλωση

Κατά τη διεξαγωγή μιας ΑΚΖ σε ένα πολύπλοκο σύστημα, είναι αρκετά δύσκολο να λαμβάνονται υπόψη όλες οι επιδράσεις και οι εκροές εντός των ορίων του συστήματος. Μια πιθανή λύση του προβλήματος έγκειται στην επέκταση των ορίων του συστήματος ώστε να συμπεριλάβει όλες τις εισροές και τις εκροές, ή εναλλακτικά στην κατανομή των σχετικών περιβαλλοντικών επιδράσεων στο υπό μελέτη σύστημα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόρριψη θα πρέπει να αποφεύγεται είτε διαιρώντας τις μοναδιαίες διαδικασίες σε δύο ή περισσότερες υπο-διαδικασίες και συλλέγοντας τα δεδομένα εισροών και εκροών σε σχέση με αυτά τα υποσυστήματα, είτε επεκτείνοντας το σύστημα του προϊόντος. Αυτό συνιστάται ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλες οι επιπρόσθετες λειτουργίες που σχετίζονται με τα παραπροϊόντα λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις των ορίων του συστήματος. Όπου η απόρριψη δε μπορεί να αποφευχθεί, οι εισροές και οι εκροές του συστήματος θα πρέπει να κατανέμονται μεταξύ των προϊόντων ή λειτουργιών του με τρόπο που αντικατοπτρίζει τις φυσικές σχέσεις ανάμεσά τους, δηλαδή θα πρέπει να αντικατοπτρίζεται ο τρόπος με τον οποίο οι εισροές και οι εκροές μεταβάλλονται, όταν γίνονται ποσοτικές αλλαγές στα προϊόντα ή τις λειτουργίες που παρέχονται από το σύστημα.

Κάποιες εκροές μπορεί να είναι μερικώς παραπροϊόντα και μερικώς απόβλητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η αναλογία ανάμεσά τους αφού οι εισροές και οι εκροές κατανέμονται μόνο στα παραπροϊόντα (ISO 14044, 2004).

Η διαδικασία της απόρριψης είναι απαραίτητη για το χειρισμό των ακόλουθων ζητημάτων:

- Διαδικασίες με πολλές εκροές, (π.χ. όταν παράγονται περισσότερα από ένα προϊόντα και κάποιες από αυτές τις ροές προϊόντων ξεπερνούν τα όρια του συστήματος).
- Διαδικασίες με πολλές εισροές, όπως η διαχείριση απορριμμάτων, όπου η αυστηρή ποσοτική αιτιολογία σπάνια υπάρχει.
- Ανακύκλωση «ανοιχτού κύκλου», όπου ένα υλικό-απόρριμμα που αφήνει τα όρια του συστήματος χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη από ένα άλλο σύστημα, έξω από τα όρια του υπό μελέτη συστήματος.

### 4.3.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Στάδιο 3)

Ο στόχος του τρίτου σταδίου της ΑΚΖ είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου συστήματος βάσει των αποτελεσμάτων της απογραφής και σε σχέση με τους στόχους και το αντικείμενο της μελέτης. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την περαιτέρω επεξεργασία του συνόλου των αποτελεσμάτων της απογραφής δεδομένων υπό την σκοπιά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και κοινωνικών προτιμήσεων.

Η εκτίμηση επιπτώσεων είναι μια ποσοτική ή/και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό και την ερμηνεία των συνεπειών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως προσδιορίστηκαν κατά το στάδιο της απογραφής.

Το στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής αποτελείται από τις ακόλουθες διαδικασίες (Guinee et al, 2001):

1. Κατηγοριοποίηση (Classification)
2. Χαρακτηρισμός (Characterization)
3. Κανονικοποίηση (Normalization)
4. Ομαδοποίηση (Grouping)
5. Στάθμιση (Weighting)

Ωστόσο, αξίζει να αναφερθούν τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη από την δράση Life Cycle Initiative της UNEP/SETAC σχετικά με την ανάλυση των αναγκών των χρηστών, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διαφάνεια της μεθοδολογίας, για επιστημονική εμπιστοσύνη και επιστημονική συνεργασία καθώς και για την ανάπτυξη ενός προτεινόμενου συνόλου συντελεστών και μεθοδολογιών. Η ανάλυση των αναγκών παρείχε πληροφορίες στη μελέτη LCIA της UNEP SETAC σχετικά με τα ζητήματα, τις κατηγορίες, τις αξίες και τις προτεραιότητες για την LCIA.

Η ανάγκη για την ανάπτυξη ενός προσαρμοστικού πλαισίου, συμβατού με άλλες διαστάσεις της βιωσιμότητας, με εύκολα ερμηνεύσιμους δείκτες που να παρέχουν προτεινόμενους συντελεστές και καθοδήγηση για τη στάθμιση, αποτέλεσαν σημαντικά θέματα για τους ερωτηθέντες. Μέσα από αυτή τη διαδικασία ορίστηκε το στάδιο της ΑΚΖ που πληροφορεί συχνότερα τους ερωτηθέντες για τη λήψη αποφάσεων. Αυτή η πληροφορία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ενσωμάτωση του σχεδιασμού ανάμεσα στα στοιχεία της LCI, LCIA και LCM (Life Cycle Management) της Πρωτοβουλίας Κύκλου Ζωής UNEP/SETAC.

Επιπλέον, ζητήθηκε να συγκεκριμενοποιηθούν οι κατηγορίες επίδρασης που απαιτείται να συμπεριληφθούν στην ΑΚΖ: πάνω από το 50% των ερωτηθέντων θεώρησαν απαραίτητες την κλιματική αλλαγή, την οξίνιση και τον ευτροφισμό, την μείωση του όζοντος, την ανθρώπινη τοξικότητα, την οικοτοξικότητα, τη φωτοχημική οξείδωση και τα ορυκτά. Χαμηλής προτεραιότητας θεωρήθηκαν η εξαγωγή βιοτικών πόρων, η υγεία στην εργασία, ο θόρυβος, το τοπίο και η ασφάλεια.

#### **4.3.4 Ερμηνεία Αποτελεσμάτων (Στάδιο 4)**

Κατά το τελικό στάδιο της ΑΚΖ, τα αποτελέσματα της προηγηθείσας ανάλυσης ερμηνεύονται και χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με δράσεις οι οποίες αναμένεται να ωφελήσουν τόσο το ίδιο το εξεταζόμενο σύστημα, όσο και το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Η απογραφή δεδομένων σε συνδυασμό με την εκτίμηση των επιπτώσεων χρησιμοποιούνται για να αποκαλύψουν σημεία που επιδέχονται βελτιώσεων. Η ερμηνεία αποτελεσμάτων έρχεται στη συνέχεια για να προσδιορίσει τις βελτιώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, όλα τα αποτελέσματα της προηγηθείσας ανάλυσης, όλες οι επιλογές που πραγματοποιήθηκαν και όλες οι υποθέσεις που έγιναν, αξιολογούνται ως προς τη συνέπεια, την πληρότητα, την ορθότητα και την ευρωστία τους και εξάγονται συμπεράσματα και υποδείξεις για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με το εξεταζόμενο σύστημα (Guinee et al., 2001).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής

---

#### 5.1 Γενικά

Η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής είναι το στάδιο στο οποίο γίνεται η εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον, από τις περιβαλλοντικές πηγές και τις εκροές, που διερευνώνται κατά την διάρκεια του σταδίου της απογραφής του κύκλου ζωής (LCI). Διερευνώνται οι επιπτώσεις σε δύο επίπεδα, στην ανθρώπινη υγεία και στην οικολογία. Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προσπαθεί να εδραιώσει μια σύνδεση ανάμεσα στα προϊόντα ή στη διαδικασία και της πιθανές περιβαλλοντικές της επιπτώσεις. Συνεπώς, καθορίζεται μία λίστα με κατηγορίες επίδρασης καθώς της επιλέγονται μοντέλα και αντιστοιχούνται με περιβαλλοντικές παρεμβάσεις χρησιμοποιώντας κατάλληλους δείκτες για αυτές της κατηγορίες επίδρασης (Guinee et al., 2004).

Η Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο της ΑΚΖ, στο οποίο προσδιορίζονται τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα και για κάθε ροή εισόδου ή εξόδου αποτιμάται η συμβολή τους σε αυτά τα ζητήματα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας (χαρακτηρισμός), οι εισροές και οι εκροές διαχωρίζονται, γίνεται η σύνθεσή τους σε επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων, σε τοπικό, περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο και πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή χαρακτηρισμού ο οποίος υποδηλώνει το ποσό της πιθανής συμβολής μιας ουσίας στη συνολική επίδραση (Morselli et al., 2008).

Το στοιχείο κλειδί σε αυτή τη διαδικασία είναι αυτό του επιβαρυντικού παράγοντα (stressor). Ένας επιβαρυντικός παράγοντας περιγράφει ένα σύνολο από προϋποθέσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε μια επίπτωση. Για παράδειγμα εάν ένα προϊόν ή μια διαδικασία εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου, η αύξηση των αέριων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μπορεί να συνεισφέρει στην παγκόσμια θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στην συγκέντρωση σημαντικής ποσότητας θρεπτικών στοιχείων στο σώμα του νερού και μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό. Η διαδικασία της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής προωθεί μια συστηματική διαδικασία για την κατάταξη και τον χαρακτηρισμό αυτών των τύπων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Στην αξιολόγηση επιδράσεων είναι πιθανό να συμπεριλαμβάνεται και η επανεξέταση του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης ΑΚΖ έτσι ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα επίτευξης των στόχων, ή για να τροποποιηθεί ο σκοπός και το αντικείμενο σε αντίθετη περίπτωση. Ζητήματα της είναι η επιλογή, η μοντελοποίηση και η αξιολόγηση των κατηγοριών επίδρασης και μπορούν να εισάγουν την υποκειμενικότητα σε αυτό το στάδιο. Συνεπώς, η διαφάνεια είναι σημαντική στην αξιολόγηση επιδράσεων για τη διαβεβαίωση ότι οι υποθέσεις έχουν αναλυθεί και καταγραφεί επαρκώς (ISO 14040, 2006).

## 5.2 Ορισμοί κι Αρχές

- *Κατηγορία επιπτώσεων* (impact category) είναι η κατηγορία που αντιπροσωπεύει τα ανησυχητικά περιβαλλοντικά ζητήματα στα οποία αντιστοιχίζονται τα LCI αποτελέσματα.
- Ο *περιβαλλοντικός μηχανισμός* περιλαμβάνει όλες τις φυσικές διαδικασίες και μεταβλητές που συνδέονται με χρησιμοποίηση πόρων, εκπομπές ή άλλων τύπων αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο προϊόν-σύστημα και το περιβάλλον και συνδέονται με μία δεδομένη κατηγορία επιπτώσεων.
- *Περιβαλλοντικές παρεμβάσεις* είναι οι παρεμβάσεις που αφορούν τις εξαγωγές πόρων από ή τις εκπομπές στο περιβάλλον, καθώς και τους διάφορους τύπους χρήσης γης, που αποκαλούνται αλλιώς και ως «βασικές ροές» ή «περιβαλλοντικές εισροές και εκροές».
- *Ενδιάμεσες κατηγορίες* (midpoint categories) είναι οι μεταβλητές στον περιβαλλοντικό μηχανισμό, ανάμεσα στις περιβαλλοντικές παρεμβάσεις και τις τελικές κατηγορίες, όπως π.χ. η συγκέντρωση τοξικών ουσιών, η απόρριψη όξινων ουσιών, η θερμοκρασία ή η θαλάσσια στάθμη.
- *Τελικές κατηγορίες ή κατηγορίες βλαβών* (endpoint/damage categories) είναι οι μεταβλητές άμεσης κοινωνικής ανησυχίας, όπως το προσδόκιμο ζωής και περιπτώσεις ασθενειών, φυσικοί πόροι ή πολύτιμα οικοσυστήματα, καύσιμα και ορυκτά μέταλλα, μνημεία και τοπία κ.ά. Το επίπεδο των τελικών σημείων περιγράφεται και με τον όρο «επίπεδο βλαβών».
- *Περιοχές προστασίας* (areas of protection) είναι οι κατηγορίες τελικών σημείων που έχουν αναγνωρίσιμη αξία για την κοινωνία. Ξεχωρίζουν τέσσερις περιοχές προστασίας: η ανθρώπινη υγεία, οι φυσικοί πόροι, το φυσικό περιβάλλον και το ανθρωπογενές περιβάλλον (Udo de Haes et al., 1999).

Η εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, ως μέρος της συνολικής AKZ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί (ISO 14042):

- στην αναγνώριση ευκαιριών βελτίωσης του συστήματος προϊόντος και στην τοποθέτησή της κατά προτεραιότητα,
- στον χαρακτηρισμό ή στη συγκριτική αξιολόγηση του συστήματος-προϊόντος και των μοναδιαίων διαδικασιών του στη διάρκεια του χρόνου,
- στην πραγματοποίηση σχετικών συγκρίσεων ανάμεσα στα συστήματα-προϊόντα βασισμένες σε επιλεγμένες κατηγορίες δεικτών και



- στην αναγνώριση περιβαλλοντικών ζητημάτων για τα οποία μπορούν να παρέχουν επιπλέον περιβαλλοντικά στοιχεία και πληροφορίες χρήσιμες για τη λήψη αποφάσεων.

Συνεπώς, στόχος των μεθόδων αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής είναι η σύνδεση του κάθε αποτελέσματος της καταγραφής του κύκλου ζωής (LCI) με τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές επιδράσεις. Σύμφωνα με το ISO 14042, τα αποτελέσματα του LCI ταξινομούνται σε κατηγορίες επίδρασης, και κάθε ένα σε έναν δείκτη κατηγορίας (Goedkoop et al., 1999).

Μέσω της διαδικασίας αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής παρέχονται ακριβή δεδομένα τα οποία είναι κατάλληλα για την πραγματοποίηση συγκρίσεων. Χρησιμοποιώντας παράγοντες χαρακτηρισμού βασισμένους στην επιστήμη, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής μπορεί να υπολογίσει της επιπτώσεις από κάθε περιβαλλοντική απελευθέρωση στην αιθαλομίχλη ή στην παγκόσμια θερμότητα. Η εκτίμηση των επιπτώσεων μπορεί να οδηγήσει στην εξαγωγή σημαντικών αποφάσεων.

### 5.3 Στάδια της Εκτίμησης Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής

Στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα επτά στάδια:

1. Συλλογή και καθορισμός των κατηγοριών των επιπτώσεων, που αφορά στην διερεύνηση των σχετικών περιβαλλοντικών κατηγοριών επιπτώσεων (π.χ. παγκόσμια θερμοκρασία, οξείδωση, γήινη τοξικότητα).
2. Κατάταξη, η οποία περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής στις αντίστοιχες κατηγορίες (π.χ. κατάταξη των εκπομπών του CO<sub>2</sub> στην παγκόσμια θερμοκρασία).
3. Χαρακτηρισμός, κατά τον οποίο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, χρησιμοποιώντας αντίστροφους παράγοντες βασισμένους στην επιστήμη (π.χ. ανάλυση των δυνατών επιπτώσεων του CO<sub>2</sub> και του μεθανίου CH<sub>4</sub> στην παγκόσμια θερμοκρασία).
4. Κανονικοποίηση, η οποία εκφράζει τις πιθανές επιπτώσεις με τρόπους που μπορούν να συγκριθούν (π.χ. συγκρίνει της επιπτώσεις που προκαλούν στην παγκόσμια θερμοκρασία το CO<sub>2</sub> και το CH<sub>4</sub>).
5. Ομαδοποίηση, όπου γίνεται η ταξινόμηση των δεικτών (π.χ. ταξινόμηση των δεικτών κατά θέση: τοπικός, περιφερειακός, παγκόσμιος).
6. Στάθμιση όπου υπογραμμίζονται οι σημαντικότερες πιθανές επιπτώσεις.
7. Αξιολόγηση και έκθεση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής έτσι ώστε να αποδοθεί μια ευρύτερα κατανοητή και αξιόπιστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της LCIA.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) ανέπτυξε ένα πρότυπο για την διεξαγωγή της εκτίμησης επιπτώσεων με τίτλο «ISO 14042, Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής» (ISO, 1998), όπου τα τρία πρώτα στάδια –επιλογή κατηγορίας επιπτώσεων,

ταξινόμηση και χαρακτηρισμός – είναι υποχρεωτικά για μια διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Εκτός από την αξιολόγηση των στοιχείων (στάδιο 7) τα άλλα στάδια είναι προαιρετικά, ανάλογα με το στόχο και το πεδίο της μελέτης.

### **5.3.1 Επιλογή και Καθορισμός Κατηγοριών Επιπτώσεων (Στάδιο 1)**

Σε μία διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής το πρώτο στάδιο είναι η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων που θα εξεταστούν ως τμήματα της γενικής αξιολόγησης του κύκλου ζωής. Το στάδιο αυτό πρέπει να ολοκληρωθεί ως τμήμα της αρχικής φάσης καθορισμού του σκοπού και του στόχου, έτσι ώστε να καθοδηγήσει την διαδικασία συλλογής δεδομένων για την απογραφή του κύκλου ζωής. Απαραίτητη θεωρείται η αναθεώρηση μετά από την φάση συλλογής δεδομένων. Τα στοιχεία που προσδιορίζονται στην απογραφή του κύκλου ζωής έχουν πιθανές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

Για παράδειγμα, μια περιβαλλοντική εκπομπή που προσδιορίζεται στην απογραφή του κύκλου ζωής και μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, είτε με την πρόκληση καρκίνου ή στειρότητας είτε με τη μείωση της ασφάλειας στους εργασιακούς χώρους. Επιπλέον μια εκπομπή που προσδιορίστηκε στην απογραφή του κύκλου ζωής θα μπορούσε επίσης να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον προκαλώντας όξινη βροχή, αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου ή απώλειες ψαριών σε μια τοπική λίμνη.

Σε μία διαδικασία απογραφής του κύκλου ζωής οι επιδράσεις καθορίζονται σύμφωνα με τις συνέπειες που προκαλούνται από τα ρεύματα εισροών και εκροών ενός συστήματος, στην ανθρώπινη υγεία, στα φυτά και στα ζώα ή την μελλοντική διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων.

Χαρακτηριστικά, η διαδικασία αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής εστιάζει στις δυνατές επιπτώσεις σε τρεις κυρίως κατηγορίες: στην ανθρώπινη υγεία, στη οικολογική υγεία και στη μείωση των φυσικών πόρων.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5) παρουσιάζονται μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 5 - Κατηγορίες Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής (Μάντζου, 2006)

Κατηγορία φορτίου	Βαθμίδα	Σχετικά δεδομένα LCI (π.χ. κατάταξη)	Κοινός παράγοντας χαρακτηρισμού	Περιγραφή παράγοντα χαρακτηρισμού
Παγκόσμια θερμοκρασία	παγκόσμια	Υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) Μέθυλο βρωμίδιο (CH <sub>3</sub> Br) Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) Αμμωνία (NH <sub>4</sub> )	Δυνατότητα παγκόσμιας θερμότητας	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα CO <sub>2</sub>
Επίπεδα όζοντος στην ατμόσφαιρα	παγκόσμια	Χλωροφθοράνθρακες (CFCs) Υδρογονοχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) Αλογόνα Μέθυλο βρωμίδιο (CH <sub>3</sub> Br) Δυνατότητα επιπέδων όζοντος	Δυνατότητα επιπέδων όζοντος	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα CCl <sub>3</sub> F
Όξινη βροχή	Περιφερειακή Τοπική	Οξείδια του θείου (SO <sub>x</sub> ) Οξείδια του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) Υδροχλωρικό οξύ (HCl) Υδροφθορικό οξύ (HF) Αμμωνία (NH <sub>4</sub> )	Δυνατότητα βροχής όξινης	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα H <sup>+</sup>
Ευτροφισμός	τοπική	Φωσφορικά (PO <sub>4</sub> ) Μονοξείδιο του αζώτου (NO) Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) Νιτρικά Αμμωνία (NH <sub>4</sub> )	Δυνατότητα ευτροφισμού	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα PO <sub>4</sub>
Φωτοχημικό νέφος	τοπική	Τοπική Μη μεθανίου υδρογονάνθρακες (NMHC)	Δυνατότητα δημιουργίας φωτοχημικών νέφους	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε ισοδύναμα C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
Γήινη τοξικότητα	τοπική	Τοπική Τοξικές χημικές ουσίες που προκαλούν θανάτους	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC <sub>50</sub> σε ισοδύναμα
Υδάτινη τοξικότητα	τοπική	Τοξικές ουσίες με μια αναφερόμενη θανατηφόρα συγκέντρωση στα ψάρια	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC <sub>50</sub> σε ισοδύναμα
Ανθρώπινη υγεία	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Συνολικές εκπομπές στον αέρα, νερό και το έδαφος .	LC50	μετατρέπει τα δεδομένα του δείκτη LC <sub>50</sub> σε ισοδύναμα
Μείωση των φυσικών πόρων	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Ποσότητα μεταλλευμάτων Ποσότητα απολιθωμένων καυσίμων	διάθεση	Μετατρέπει τα δεδομένα του LCI σε μια αναλογία της ποσότητας που χρησιμοποιείτε από τους φυσικούς πόρους σε σχέση με την ποσότητα που παραμένει
Χρήση της γής	Παγκόσμια τοπική περιφερειακή	Ποσότητα που αποτίθεται στο έδαφος	Στερεά απόβλητα.	Μετατρέπει τη μάζα των στερεών αποβλήτων σε όγκο χρησιμοποιώντας

### 5.3.2 Ταξινόμηση (Στάδιο 2)

Ο στόχος του σταδίου της ταξινόμησης είναι η οργάνωση κι ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων της απογραφής του κύκλου ζωής σε κατηγορίες επιπτώσεων. Για τα στοιχεία της απογραφής του κύκλου ζωής που αντιστοιχούν σε μια μόνο κατηγορία επιπτώσεων, η διαδικασία είναι απλή. Για παράδειγμα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> μπορούν να ταξινομηθούν στην κατηγορία της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Αντιθέτως, για τα στοιχεία της απογραφής του κύκλου ζωής που συμβάλλουν σε δύο ή περισσότερες, διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει να θεσπιστεί ένας κανόνας για την ταξινόμηση.

Υπάρχουν δύο τρόποι βάσει των οποίων τα αποτελέσματα της απογραφής του κύκλου ζωής μπορούν να τοποθετηθούν στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων (ISO, 1998):

1. Απόδοση ενός ποσοστού των εκτιμώμενων ποσοτήτων σε κάθε μία από τις κατηγορίες στις οποίες αντιστοιχεί. Αυτό συνιστάται ειδικά στις περιπτώσεις όπου τα αποτελέσματα εξαρτώνται το ένα από το άλλο.
2. Απόδοση του συνόλου των εκτιμώμενων ποσοτήτων σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων που αντιστοιχούν. Αυτό συνιστάται ειδικά όταν τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα το ένα από τα άλλο.

Για παράδειγμα, δεδομένου ότι ένα μόριο SO<sub>2</sub> μπορεί να μείνει στο επίπεδο της γης ή να ταξιδέψει επάνω στην ατμόσφαιρα, μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία είτε να προκαλέσει όξινη βροχή (αλλά όχι και τα δύο). Επομένως, οι εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) θα διαιρούνται μεταξύ εκείνων των δύο κατηγοριών επιπτώσεων (π.χ. 50% που διατίθενται στην ανθρώπινη υγεία και 50% που διατίθενται στην όξινη βροχή). Από την άλλη πλευρά δεδομένου ότι το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>), μπορεί ενδεχομένως να έχει συγχρόνως επιπτώσεις και στον σχηματισμό των επίγειων επιπέδων όζοντος και στην όξινη βροχή, ολόκληρη η ποσότητα του NO<sub>2</sub> θα διατίθενται και στις δύο κατηγορίες επιπτώσεων (π.χ. 100% στα επίγεια επίπεδα όζοντος και 100% στην όξινη βροχή).

### 5.3.3 Χαρακτηρισμός (Στάδιο 3)

Η έννοια του χαρακτηρισμού είναι να μοντελοποιηθούν οι κατηγορίες σε δείκτες και, αν είναι δυνατόν, να δοθεί μία βάση για τη σύνθεση των δεδομένων των εισροών και εκροών μέσα σε μία κατηγορία. Αυτό γίνεται με τη μορφή ενός δείκτη που αντιπροσωπεύει μια συνολική αλλαγή ή την επιβάρυνση σε αυτή την κατηγορία. Το αποτέλεσμα του χαρακτηρισμού είναι ότι ο συνδυασμός των δεικτών μιας κατηγορίας αναπαριστά την αρχική επιβάρυνση και το προφίλ της μείωσης πόρων.

Για την εκτέλεση του σταδίου του χαρακτηρισμού ορίζονται και χρησιμοποιούνται κατάλληλες μέθοδοι οι οποίες θα επιτρέψουν την εκτίμηση της συμβολής κάθε δεδομένου απογραφής στην κατηγορία ή τις κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες έχει ταξινομηθεί. Τα μοντέλα θα πρέπει να βασίζονται ως επί το πλείστον σε επιστημονική γνώση, αλλά μπορεί να περιέχουν και απλοποιημένες υποθέσεις και «αξιακές επιλογές» (value choices). Η ακρίβεια κάθε μοντέλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η χωρική και η χρονική συμβατότητα της κατηγορία ρσε σχέση με την καταγραφή. Η σχέση ανάμεσα στα δεδομένα εισροών και εκροών της απογραφής και στο δείκτη είναι ισχυρή, ενώ η σχέση ανάμεσα στο δείκτη και στα τελικά σημεία (endpoints) είναι συνήθως πιο αδύναμη και μπορεί να είναι κυρίως ποσοτική.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε δεδομένη κατηγορία επιπτώσεων ορίζεται μία μέθοδος χαρακτηρισμού (characterization method) η οποία περιλαμβάνει:

- ένα δείκτη κατηγορίας (category indicator),

- ένα υπόδειγμα χαρακτηρισμού (characterization model) και
- παράγοντες χαρακτηρισμού (characterization factors) που εκτιμώνται από το υπόδειγμα.

Το πιο σημαντικό σημείο για τον χαρακτηρισμό των επιπτώσεων είναι η εφαρμογή του κατάλληλου παράγοντα χαρακτηρισμού. Για μερικές κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του όζοντος, υπάρχει μια συναίνεση σχετικά με τους αποδεκτούς παράγοντες χαρακτηρισμού. Αντίθετα, υπάρχουν άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, όπως η μείωση των φυσικών πόρων, όπου δεν έχει προσδιοριστεί κάτι αντίστοιχο. Μια κατάλληλη αναφορά της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής πρέπει να τεκμηριώνει την κάθε πηγή, για κάθε παράγοντα χαρακτηρισμού, για να επιβεβαιώσει ότι έχει αντιστοιχία με την μελέτη του σκοπού και του στόχου. Για παράδειγμα, πολλοί παράγοντες χαρακτηρισμού βασίζονται στις μελέτες που πραγματοποιούνται στην Ευρώπη. Επομένως, η σχετικότητα των ευρωπαϊκών παραγόντων χαρακτηρισμού πρέπει να ερευνηθούν πριν εφαρμοστούν στα Αμερικανικά δεδομένα.

#### **5.3.4 Κανονικοποίηση (Στάδιο 4)**

Η κανονικοποίηση χρησιμοποιείται για την έκφραση των δεικτών των επιπτώσεων με τρόπο που καθιστά εφικτή τη σύγκριση μεταξύ των διάφορων κατηγοριών επιπτώσεων. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορεί να επιτευχθεί εξισορρόπηση των αποτελεσμάτων των δεικτών.

Οι μέθοδοι για την επιλογή μιας τιμής αναφοράς περιλαμβάνουν :

- Τις συνολικές εκπομπές ή την χρήση των φυσικών πόρων για μια δεδομένη περιοχή, σε παγκόσμιο, περιφερειακό ή τοπικό επίπεδο.
- Τις συνολικές εκπομπές ή την χρήση των φυσικών πόρων για μια δεδομένη περιοχή σε κατά κεφαλή βάση.
- Την αναλογία μιας εναλλακτικής μεθόδου με μια άλλη μέθοδο (π.χ. ένα επίπεδο αναφοράς).

Ο σκοπός και ο στόχος μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή μιας κατάλληλης τιμής αναφοράς. Πρέπει να σημειωθεί, ότι τα εξισορροπημένα δεδομένα μπορούν μόνο να συγκριθούν μέσα σε μία κατηγορία επιπτώσεων. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της όξινης βροχής δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με εκείνα της υδρόβιας τοξικότητας, επειδή οι παράγοντες χαρακτηρισμού υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικές επιστημονικές μεθόδους.

#### **5.3.5 Ομαδοποίηση (Στάδιο 5)**

Το στάδιο της ομαδοποίησης καθορίζει τις κατηγορίες επιπτώσεων σε μία ή περισσότερες θέσεις με σκοπό την διευκόλυνση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων στους συγκεκριμένους τομείς που ενδιαφέρουν την εκάστοτε ανάλυση.

Ακολουθως αναφέρονται πιθανοί τροποι για να ομαδοποιηθούν τα στοιχεια της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (ISO 1998):

- Ταξινόμηση των δεικτών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, όπως οι εκπομπές (π.χ. εκπομπές στον αέρα και στο νερό) ή ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση (π.χ. τοπικοί, περιφερειακοί και παγκόσμιοι).
- Ταξινόμηση των δεικτών, βάσει ενός συστήματος ταξινόμησης όπως υψηλής, χαμηλής ή μεσαίας προτεραιότητας.
- Ταξινόμηση με βάση τις αξιακές επιλογές.

### 5.3.6 Στάθμιση (Στάδιο 6)

Κατά το στάδιο της στάθμισης της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, ορίζονται οι βαρύτητες και η σχετικές αξία που αποδίδονται στις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων, βάσει της σημαντικότητάς τους ή της σχετικότητάς τους. Πρόκειται για ένα σημαντικό στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής καθώς οι κατηγορίες επιπτώσεων πρέπει επίσης να αντανακλούν τους στόχους μελέτης και τις αξίες συμμετοχής. Αν και η στάθμιση χρησιμοποιείται ευρέως στην εκτίμηση του κύκλου ζωής, το στάδιο της στάθμισης είναι το λιγότερο ανεπτυγμένο στην διαδικασία των σταδίων αξιολόγησης επιπτώσεων.

Γενικά η στάθμιση περιλαμβάνει τις ακόλουθες δραστηριότητες:

- Προσδιορισμός των τιμών συμμετοχής.
- Καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας που αποδίδονται στις επιπτώσεις.
- Εφαρμογή των συντελεστών βαρύτητας στους δείκτες επιπτώσεων.

Τα σταθμισμένα δεδομένα είναι πιθανό να συνδυαστούν στις κατηγορίες επιπτώσεων, αλλά η διαδικασία στάθμισης πρέπει να τεκμηριωθεί ρητά. Τα σταθμισμένα στοιχεία πρέπει να προβάλλονται μαζί με τα σταθμισμένα αποτελέσματα για να εξασφαλίσουν μια σαφή κατανόηση των υπογραμμισμένων βαρών. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εκτίμησης των επιπτώσεων παρέχει συνήθως ικανοποιητικές πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που τα αποτελέσματα είναι απλά ή προφανή.

Υπάρχουν διάφορα ζητήματα που καθιστούν την στάθμιση ένα δύσκολο στάδιο στην εκτίμηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Το πρώτο ζήτημα αφορά στην υποκειμενικότητα. Σύμφωνα με το ISO 14042, η λήψη αποφάσεων είναι ουσιαστική με βάση την σχετική σπουδαιότητα μιας κατηγορίας επιπτώσεων σε σχέση με μια άλλη. Επιπλέον, αυτές οι αξιακές κρίσεις μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με την τοποθεσία ή την περίοδο του χρόνου κατά τις οποίες λαμβάνονται οι αποφάσεις. Για παράδειγμα, το πρόβλημα της φωτοχημικής αιθαλομίχλης μπορεί να θεωρηθεί πιο σημαντικό σε μια περιοχή όπως είναι το Λονδίνο ή το Λος Άντζελες συγκριτικά με μια άλλη περιοχή λιγότερη αναπτυγμένη που δεν αντιμετωπίζει το ίδιο πρόβλημα.

### 5.3.7 Εκτίμηση και Τεκμηρίωση Αποτελεσμάτων (Στάδιο 7)

Αφού ολοκληρωθεί ο υπολογισμός όλων των δυνατών επιπτώσεων για την κάθε κατηγορία, πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια πρέπει να είναι επαρκής ώστε να εκπληρώνονται οι σκοποί της εκτίμησης του κύκλου ζωής, όπως καθορίζονται στον σκοπό και τον στόχο. Κατά το στάδιο της τεκμηρίωσης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, περιγράφεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, καθορίζονται τα συστήματα που αναλύονται, τα όρια που τέθηκαν κι όλες οι υποθέσεις που έγιναν κατά την εκτέλεση της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής.

Όπως όλα τα εργαλεία αξιολόγησης, έτσι κι η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, έχει κάποιους περιορισμούς. Αν και η διαδικασία της αξιολόγησης ακολουθεί μια συστηματική διαδικασία υπάρχουν πολλές υποθέσεις, απλοποιήσεις, καθώς επίσης και υποκειμενικές αξιακές επιλογές.

Μερικοί από τους βασικούς περιορισμούς είναι οι εξής:

- Έλλειψη χωρικής αναλογίας (π.χ. μια απελευθέρωση 4.000 γαλονιών αμμωνίας είναι χειρότερη σε ένα μικρό ρέμα παρά σε ένα μεγάλο ποταμό).
- Έλλειψη χρονικής αναλογίας (π.χ. η απελευθέρωση 5 τόνων ενός αερίου κατά την διάρκεια μιας περιόδου ενός μήνα είναι χειρότερη από την ίδια απελευθέρωση που πραγματοποιείται κατά την διάρκεια ενός χρόνου).
- Καταγραφή ειδών (π.χ. η καταγραφή μιας λίστας πτητικών οργανικών ενώσεων VOC ή μετάλλων δεν παρέχει αρκετές πληροφορίες για να προσδιοριστούν ακριβώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Το κατώτατο όριο και το αποδεκτό όριο των επιπτώσεων (π.χ. 10 τόνοι ρύπανσης δεν είναι απαραίτητα 10 φορές χειρότερα από 1 τόνο ρύπανσης).

Ανάλογα με την επιλογή των μοντέλων επιπτώσεων, υπάρχει δυνατότητα να μειωθούν οι περιορισμοί της ακρίβειας αξιολόγησης των επιπτώσεων. Σε κάθε περίπτωση, είναι υψίστης σημασίας η τεκμηρίωση των περιορισμών να είναι αναλυτική και να συμπεριλαμβάνεται μια περιεκτική περιγραφή της μεθοδολογίας της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Εξίσου απαραίτητη κρίνεται η συζήτηση των υποθέσεων, των αξιών επιλογής και των γνωστών αβεβαιοτήτων στα μοντέλα επιπτώσεων με τα αριθμητικά αποτελέσματα της αξιολόγησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, για να χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της εκτίμησης του κύκλου ζωής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**

### ***Το Μοντέλο PestLCI***

---

#### **6.1 Εισαγωγικά**

Μια πλήρως διαρθρωμένη Ανάλυση Κύκλου Ζωής απαιτείται να περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές χημικές εκπομπές που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικές περιοχές και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Για την βέλτιστη ανάλυση του Κύκλου Ζωής ενός φυτοφαρμάκου οφείλουν να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

1. Το χρονικό πεδίο της ΑΚΖωής πρέπει να έχει μεγάλη διάρκεια.
2. Το γεωγραφικό πεδίο της ΑΚΖ οφείλει να έχει παγκόσμια χαρακτηριστικά.
3. Κατά την αξιολόγηση της ΑΚΖ, οι τοξικολογικές επιδράσεις αντιπροσωπεύουν μόνο μια πτυχή των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων κι αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη περισσότερες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
4. Λόγω των παραπάνω καθίσταται δύσκολη η μοντελοποίηση της πορείας των δραστικών ουσιών καθώς και των μοντέλων έκθεσης στο περιβάλλον.
5. Επιπροσθέτως και λόγω του μεγάλου αριθμού των χημικών ουσιών που περιλαμβάνονται και συνεισφέρουν κατά την διαδικασία της ΑΚΖ, τα αντίστοιχα δεδομένα καθιστούν την διαδικασία πολύπλοκη και ταυτοχρόνως χρονικά και οικονομικά δαπανηρή.
6. Παράγοντες όπως, η πορεία των χημικών ουσιών, η αντίστοιχη έκθεση στο περιβάλλον και τα μοντέλα εκπομπών που χρησιμοποιούνται στην ΑΚΖ, πρέπει να αναλύονται με απλό, ακριβή και κατανοητό τρόπο.

Σε μια εκτίμηση κύκλου ζωής, ο γεωργικός τομέας μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος της τεχνόσφαιρας. Οι εκπομπές των φυτοφαρμάκων από αυτή τη διαδικασία προέρχονται μόνο από εκείνα τα κλάσματα της εφαρμοζόμενης δόσης που καταλήγουν στο περιβάλλον και βρίσκονται γύρω από το πεδίο εφαρμογής ή/και συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων υδάτων του πεδίου αυτού. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πεδίο είναι μέρος της τεχνόσφαιρας συνεπάγεται ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα δεν αναλύονται σε μεταγενέστερο στάδιο.

Αυτό είναι σύμφωνο με την παροχή κινήτρων για την εφαρμογή φυτοφαρμάκων στο έδαφος. Ορισμένα κίνητρα είναι η μείωση των πληθυσμών των ανεπιθύμητων οργανισμών (φυτά, έντομα, μύκητες). Μάλιστα οι οικοτοξικολογικές επιδράσεις θα ήταν δραματικές σε περίπτωση που είχαν συμπεριληφθεί στην ΑΚΖ και θα μπορούσε πιθανότατα να κυριαρχήσουν επί όλων των άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που καθορίζονται στην γεωργική ΑΚΖ (Birkved et al., 2006).

Η μοντελοποίηση των εκπομπών από αυτή τη διαδικασία αντιστοιχεί στα μοντέλα που περιγράφουν παραδοσιακά την πορεία και την έκθεση των φυτοφαρμάκων όπως είναι γνωστό στην Εκτίμηση Περιβαλλοντικού Κινδύνου (Environmental Risk



Analysis - ERA). Ωστόσο, ο τελικός στόχος του LCI δεν είναι η πρόβλεψη της συγκέντρωσης στο περιβάλλον αλλά η μοντελοποίηση εκείνων των κλασμάτων των φυτοφαρμάκων που ελευθερώνονται από το σημείο εφαρμογής τους και κατευθύνονται προς αέρα/νερό/έδαφος. Πολλά από τα υπάρχοντα μοντέλα που αφορούν την πορεία των φυτοφαρμάκων έχουν ήδη αναπτυχθεί προκειμένου να υποστηρίξουν τις εκτιμήσεις περιβαλλοντικού κινδύνου.

Επομένως, παρέχουν συνήθως συντηρητικές εκτιμήσεις, που περιγράφουν την «χειρότερη περίπτωση». Δεδομένου ότι η ΑΚΖ αξιολογεί όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μια συντηρητική εκτίμηση των τοξικών επιπτώσεων των φυτοφαρμάκων είναι ανεπιθύμητη δεδομένου ότι αυτό θα μεροληπτεί την εκτίμηση απέναντι στα άλλα είδη των επιπτώσεων για τα οποία παρέχεται γενικά μια καλύτερη εκτίμηση (Hauschild, 2005).

Τα περισσότερα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για τις Εκτιμήσεις Περιβαλλοντικού Κινδύνου δίνουν έμφαση σε μία πιθανή εκπομπή του φυτοφαρμάκου σε νερό/αέρα/έδαφος, παρέχοντας πληροφορίες μόνο για τη συγκέντρωση του φυτοφαρμάκου σε απορροές ή στραγγίσματα. Δεν υπάρχει κανένα μοντέλο μέχρι στιγμής που να εκτιμά παράλληλα τις εκπομπές των φυτοφαρμάκων και στον αέρα, και στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Η χρήση διαφορετικών μοντέλων για την εκτίμηση της ρύπανσης, που μπορεί να προκληθεί ξεχωριστά, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί γιατί η συνολική μάζα στο πεδίο πρέπει να είναι γνωστή και σωστά προσδιορισμένη (Birkved et al., 2006).

Το PestLCI έχει αναπτυχθεί προκειμένου να αντιμετωπίσει αυτούς τους περιορισμούς αλλά και τον μεγάλο όγκο δεδομένων που απαιτούνται στις Εκτιμήσεις Περιβαλλοντικού Κινδύνου. Ως μοντέλο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την ικανότητα να προβλέπει τις εκπομπές μέρους των φυτοφαρμάκων στον αέρα, τα επιφανειακά κι υπόγεια ύδατα. Στόχος είναι αυτά τα δεδομένα να χρησιμοποιούνται στο στάδιο απογραφής δεδομένων Κύκλου Ζωής για υπολογισμούς εκπομπών που λειτουργούν σαν εισροές στο στάδιο της Εκτίμησης Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Birkved et al., 2006).

Ο σχεδιασμός του μοντέλου PestLCI βασίζεται εν μέρει σε μια παρόμοια μορφή μοντέλου, όπως αναπτύχθηκε από τον Hauschild (2000). Στο συγκεκριμένο μοντέλο, παρέχονται δεδομένα για ένα τύπο εδάφους και για ενεργά συστατικά σε 69 εγκεκριμένα για χρήση φυτοφάρμακα στη Δανία, καθώς και δεδομένα από έναν επιλεγμένο μετεωρολογικό σταθμό. Μ' αυτό τον τρόπο, μπορεί να προβλεφθούν εκπομπές κι άλλων συστατικών που εμπεριέχονται στην συσκευασία του φυτοφαρμάκου, υπό την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά τα απαιτούμενα δεδομένα και εισάγονται στη βάση δεδομένων του μοντέλου.

Τα βασικά δεδομένα που πρέπει να εισάγει ο χρήστης στο μοντέλο είναι:

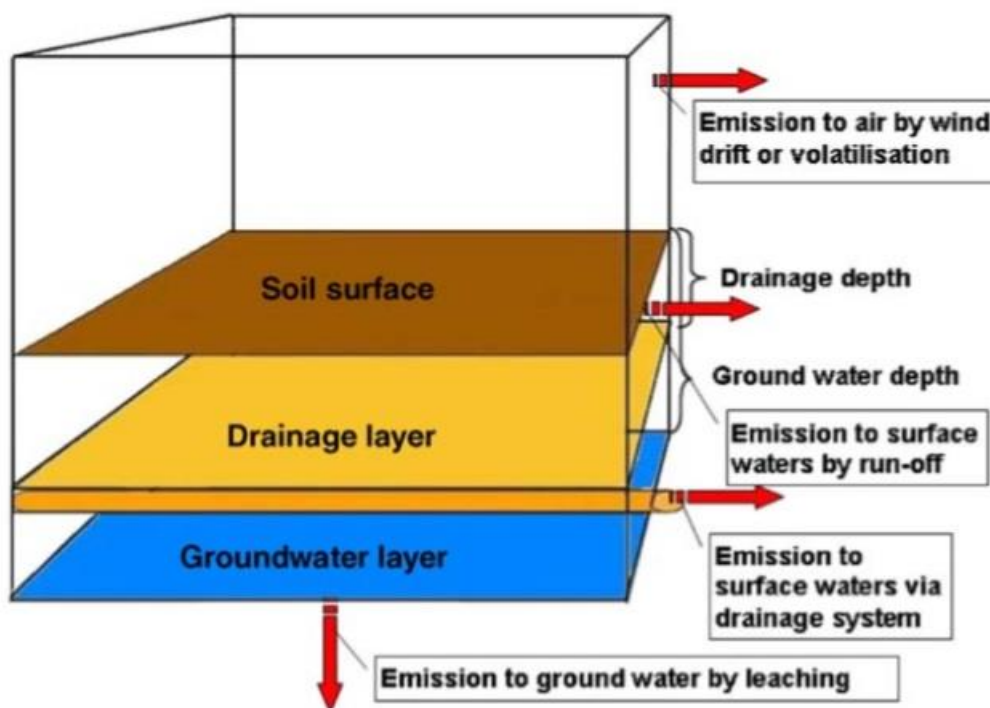
1. Ο χρόνος εφαρμογής του φυτοφαρμάκου
2. Το φυτό στο οποίο εφαρμόστηκε το φυτοφάρμακο
3. Η τοποθεσία του χωραφιού όπου γίνεται η εφαρμογή
4. Κλιματικές συνθήκες περιοχής

Εάν ο χρόνος εφαρμογής του φυτοφαρμάκου ή/και τα στοιχεία της τοποθεσίας του

χωραφιού είναι άγνωστα, τότε η αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί βασισόμενη σε προεπιλεγμένα δεδομένα μέσου όρου.

## 6.2 Σχεδιασμός Μοντέλου

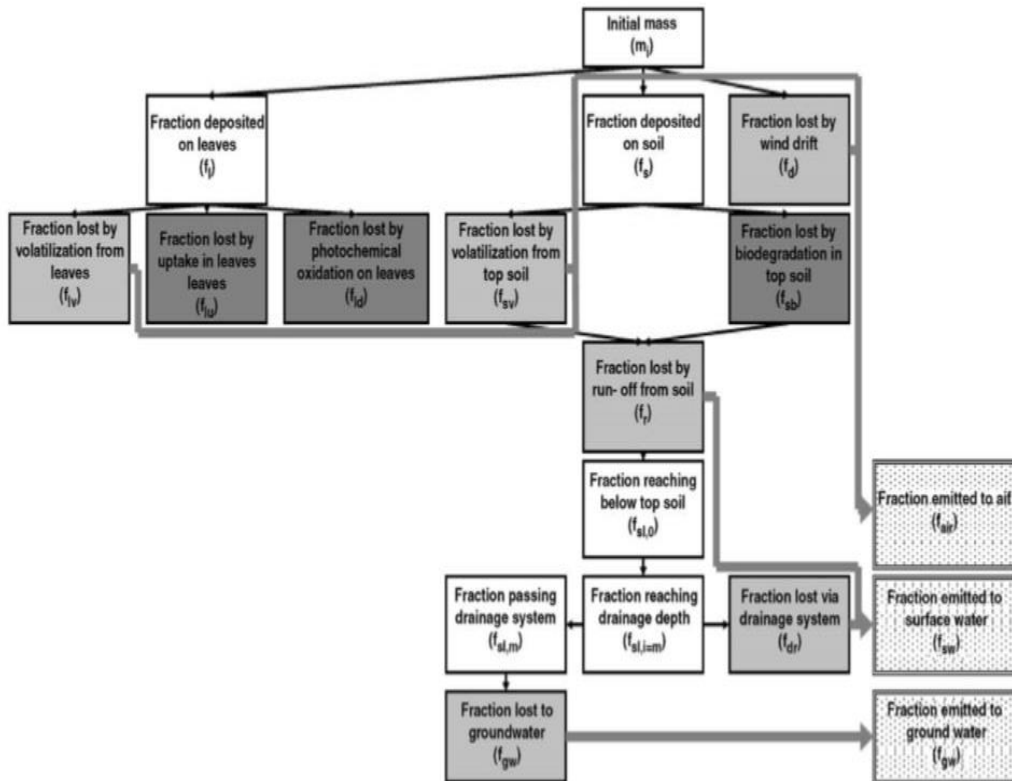
Ο απώτερος στόχος του μοντέλου είναι η ολοκληρωμένη εκτίμηση των εκπομπών ενός φυτοφαρμάκου που εφαρμόζεται στο έδαφος και φτάνει στο περιβάλλοντα χώρο διασχίζοντας τα όρια της τεχνόσφαιρας (Εικόνα 3). Τα εκτιμώμενα μέρη του φυτοφαρμάκου προορίζονται να αντιπροσωπεύουν μια ορθή εκτίμηση για μια μέση κατάσταση (Birkved et al., 2006).



*Εικόνα 3 - Περιορισμοί συστήματος για το μοντέλο PestLCI. Οι προσομοιώσεις αφορούν (α) κάθετα μία στήλη αέρα 50 m, (β) κάτω από την επιφάνεια του εδάφους μια στήλη εδάφους 1 m. Τα όρια του εδάφους σ' οριζόντιο επίπεδο αποτελούν τους περιορισμούς του μοντέλου. Εκπομπές μπορούν να συμβούν κάθετα (μέσω εξάτμισης ή απορροής) και οριζόντια (μέσω μεταφοράς λόγω αέρα, επιφανειακή απορροή ή μέσω αποστράγγισης υδάτων (Birkved et al., 2006).*

Το PestLCI διαθέτει μια σπονδυλωτή δομή, όπου κάθε σημαντική για το περιβάλλον διαδικασία έχει τη δική της μονάδα. Οι επιμέρους μονάδες στον υπολογισμό των κλασμάτων των εισερχόμενων ποσών των φυτοφαρμάκων, υποβάλλονται σε ειδικό διαδικασία ελέγχου, έσι ώστε να εξασφαλιστεί η διατήρηση της μάζας σε όλο το μοντέλο.

Από την στιγμή που εφαρμόζεται το φυτοφάρμακο στο φυτό λαμβάνουν χώρα μια σειρά από διαδικασίες, οι οποίες μοντελοποιούνται με το PestLCI σύμφωνα με το ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 4).



**Εικόνα 4 - Η δομή του μοντέλου PestLCI κι οι ροές των μαζών των φυτοφαρμάκων που περιγράφονται. Τα μαύρα βέλη υποδεικνύουν τις ροές ενώ τα γκρι τις εκπομπές των φυτοφαρμάκων. Τα σκούρα γκρι σχήματα είναι οι τελικές διαδικασίες που δεν καταλήγουν σε εκπομπές, τα ανοιχτά γκρι πλαίσια είναι εκείνες οι διαδικασίες που καταλήγουν σε εκπομπές ενώ τα πλαίσια με τις κουκίδες δείχνουν τις εκπομπές που δέχονται ο αέρας, το νερό και το έδαφος (Birkved et al., 2006).**

Τα πλεονεκτήματα της σπονδυλωτής δομής του PestLCI είναι ότι:

- επιτρέπει τις διαφορετικές ενότητες της δομής να εκπροσωπούν τις τελευταίες τεχνολογίες και να καθιστούν εύκολες τις ενημερώσεις των νέων ενοτήτων που εισάγονται χωρίς να προκαλούνται αλληλοεπικαλύψεις και τηρώντας παράλληλα τις απαιτήσεις διασύνδεσης του υπόλοιπου μοντέλου.
- καθίσταται εφικτές οι εφαρμογές του PestLCI, χάρη στην σπονδυλωτή δομή του μοντέλου, σε συγκεκριμένες γεωγραφικές συνθήκες που επηρεάζουν την περιβαλλοντική πορεία των φυτοφαρμάκων.
- σε περιπτώσεις που η παρακολούθηση δεδομένων είναι διαθέσιμη για μια συγκεκριμένη διαδικασία τότε τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των κλασμάτων των φυτοφαρμάκων αντικαθιστώντας την σχετική ενότητα του μοντέλου (Birkved et al., 2006).

Η μοντελοποίηση του φυτοφαρμάκου από το έδαφος πραγματοποιείται σε δύο στάδια:

1. Εκπομπή φυτοφαρμάκου κατά τη διάρκεια της εφαρμογής που αποτελεί την πρωτογενή κατανομή
2. A) Εκπομπή μετά την εφαρμογή, στα φύλλα που ονομάζεται δευτερογενής κατανομή στα φύλλα.  
B) Εκπομπή μετά την εφαρμογή, στο έδαφος που αποτελεί την δευτερογενή

κατανομή στο έδαφος (Birkved et al., 2006).

Το συνολικό μέρος του φυτοφαρμάκου που εκπέμπεται ποσοτικοποιείται σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας κι ορίζεται ως το άθροισμα του μέρους που εκπέμπεται στον αέρα, στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά (Birkved et al., 2006):

$$f_{em} = \frac{m_{em}}{m_{appl}} = f_{air} + f_{sw} + f_{gw}$$

Όπου:

$f_{em}$  είναι το μέρος της μάζας του φυτοφαρμάκου που εφαρμόζεται στο έδαφος και στη συνέχεια απελευθερώνεται στο περιβάλλον

$m_{em}$  είναι η μάζα που απελευθερώνεται

$m_{appl}$  είναι η μάζα του φυτοφαρμάκου που εφαρμόζεται στο έδαφος

$f_{air}$  είναι το μέρος της μάζας του φυτοφαρμάκου που ελευθερώνεται στον αέρα

$f_{sw}$  είναι το μέρος του φυτοφαρμάκου που ελευθερώνεται στα επιφανειακά νερά

$f_{gw}$  είναι το μέρος της μάζας του φυτοφαρμάκου που ελευθερώνεται στα υπόγεια νερά.

### Πρωτογενής Κατανομή

Η πρωτογενής κατανομή είναι η διαδικασία που λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την εφαρμογή του φυτοφαρμάκου. Από αυτό το σημείο και μετά, τα φυτοφάρμακα μπορούν να διανεμηθούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους.

1. Απώλειες λόγω ανέμου
2. Απόθεση στα φύλλα ή σε άλλα μέρη του φυτού
3. Απόθεση στην επιφάνεια του εδάφους

Τα ποσοστά των απωλειών εξαρτώνται από το τύπο της τεχνικής που εφαρμόζονται τα φυτοφάρμακα, για παράδειγμα το ύψος του ψεκαστικού μηχανήματος από το έδαφος και την ταχύτητα του ανέμου.

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου PestLCI συμπεριλαμβάνονται τέσσερις διαφορετικές τεχνικές εφαρμογής φυτοφαρμάκων:

1. Εφαρμογή με αεροσκάφος
2. Εφαρμογή με χρήση σύγχρονου ψεκαστικού εξοπλισμού για ψηλά φυτά (ύψος μεγαλύτερο του 1m)
3. Εφαρμογή με χρήση σύγχρονου εξοπλισμού για φυτά μικρού ύψους (μικρότερα του 1 m)
4. Ενσωμάτωση στο έδαφος

Από τις προαναφερόμενες τεχνικές, απώλειες λόγω του ανέμου παρατηρούνται μόνο στις τρεις πρώτες τεχνικές καθώς με την απευθείας ενσωμάτωση του φυτοφαρμάκου στο έδαφος, ο άνεμος δεν έχει καμία επίδραση.

Στη συνέχεια, μετά την εφαρμογή του φυτοφαρμάκου λαμβάνουν χώρα κάποιες διαδικασίες που αποτελούν την δευτερογενή κατανομή του πάνω στο φυτό. Αυτές οι διαδικασίες είναι τρεις και το άθροισμά τους αντιστοιχεί στο συνολικό ποσό του φυτοφαρμάκου που εναποτίθεται πάνω στα φύλλα του φυτού:

1. Εξαέρωση από τα φύλλα

2. Αβιοτική αποδόμηση πάνω στα φύλλα
3. Πρόσληψη από τα φύλλα

### **Δευτερογενής Κατανομή**

Η δευτερογενής κατανομή του φυτοφαρμάκου πραγματοποιείται επίσης στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, όπου οι διαδικασίες που καθορίζουν την πορεία των ουσιών και επηρεάζουν την διείσδυση τους προς τα κατώτερα εδαφικά στρώματα και κατ' επέκταση εκείνο τα κλάσματα του φυτοφαρμάκου που θα αποτελέσουν τα στραγγίσματα. Οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο επιφανειακό στρώμα εδάφους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Εξαέρωση από το έδαφος
2. Αποδόμηση
3. Απορροή

Αξίζει να σημειωθεί ότι κι οι τρεις διαδικασίες δρουν ανταγωνιστικά για την απομάκρυνση των φυτοφαρμάκων από το επιφανειακό στρώμα εδάφους. Στο μοντέλο PestLCI γίνεται η παραδοχή ότι αυτές οι διαδικασίες διαδέχονται η μια την άλλη με συγκεκριμένο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, η εξαέρωση κι η αποδόμηση συναγωνίζονται προκειμένου να απομακρύνονται τα φυτοφάρμακα από την επιφάνεια του εδάφους. Μετά από συγκεκριμένο χρόνο, οι ουσίες κατακρημνίζονται στα κατώτερα στρώματα εδάφους κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απορροή.

Το ποσό του φυτοφαρμάκου που διαπερνά το επιφανειακό έδαφος και διεισδύει στα κατώτερα στρώματα αποτελεί τα στραγγίσματα τα οποία υπό κατάλληλες συνθήκες μπορούν να φτάσουν στα κατώτατα εδαφικά στρώματα και στον υδροφόρο ορίζοντα. Παρόλα αυτά, μερικές φορές είναι πιθανή η απομάκρυνσή τους από το έδαφος μέσω βιοαποικοδόμησης από μικροοργανισμούς.

### **6.3 Πλεονεκτήματα**

Το μοντέλο PestLCI χαρακτηρίζεται για την προσαρμοστικότητά του και την διαφάνεια του. Αυτό οφείλεται στην ευκολία με την οποία κάθε μία ενότητα της σπονδυλωτής δομής του μπορεί να αντικατασταθεί από άλλες ενότητες με πιο κατάλληλα δεδομένα. Εξίσου εύκολος θεωρείται ο συγχρονισμός του μοντέλου με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες στην κάθε γεωργική περιοχή. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι οι οποιεσδήποτε αναβαθμίσεις του μοντέλου μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς να είναι απαραίτητος ο προγραμματισμός του μοντέλου εξ αρχής.

Ακόμη, η σπονδυλωτή δομή συμβάλει στην αύξηση της διαφάνειας του μοντέλου κι αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό κατά την εκτίμηση του κύκλου ζωής όπου όλα τα συστήματα αναλύονται συνολικά. Για έναν εξωτερικό παρατηρητή- χρήστη είναι πολύ δύσκολο να εντοπίσει τα βασικά στοιχεία της αξιολόγησης εάν αυτά δεν είναι ιδιαίτερα κατανοητά κι υψηλής διαφάνειας (Birkved et al., 2006).

Η χρήση της Εκτίμησης του κύκλου ζωής σημαίνει ότι πολλές ουσίες μπορούν να μοντελοποιηθούν και ότι το έδαφος όπου εφαρμόζονται τα φυτοφάρμακα, ως

σύστημα μπορεί απλά να είναι μείζονος σημασίας στο τμήμα του παραγωγικού συστήματος. Το έδαφος και οτιδήποτε το περιβάλλει συχνά υφίσταται μοντελοποίηση χρησιμοποιώντας δεδομένα από γενικούς μέσους όρους. Χρησιμοποιώντας μηνιαία και ετήσια δεδομένα για το μοντέλο PestLCI μειώνονται οι πηγές που απαιτούνται για την παροχή δεδομένων και κατ' επέκταση για την διεξαγωγή των εκτιμήσεων. Βέβαια, η ακρίβεια των εκτιμήσεων θα μπορούσε να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας καλύτερα δεδομένα αλλά σ' αυτή τη περίπτωση τα κόστη και τα οφέλη δεν είναι ανάλογα, τουλάχιστον στο PestLCI (Birkved et al., 2006).

Άλλωστε ο στόχος στο PestLCI είναι η παροχή εκτιμήσεων που ανταποκρίνεται στο μέσο όρο ενώ αντίθετα στις εκτιμήσεις περιβαλλοντικού κινδύνου ο στόχος είναι η ανάδειξη της πιο ρεαλιστικής κατάστασης ή ορισμένες φορές το «χειρότερο σενάριο» που μπορεί να συμβεί. Επομένως, θεωρείται λογικό να χρησιμοποιούνται ως δεδομένα οι μέσοι όροι στο PestLCI αφού περιγράφει μια μέση κατάσταση.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου PestLCI είναι η ευκολία στη χρήση του σε σύγκριση με μελέτες περιβαλλοντικού κινδύνου. Η εκτίμηση του χρόνου για ένα μόνο φυτοφάρμακο με τη βοήθεια του MACRODB γίνεται μέσα σε κάποιες ώρες. Συνεπώς, στα πλαίσια της εκτίμησης του κύκλου ζωής όπου λαμβάνεται υπόψη ένας μεγάλος αριθμός χημικών, πρέπει ο χρόνος εκτίμησης να είναι περιορισμένος (Birkved et al., 2006).

#### **6.4 Μειονεκτήματα**

Κατά την εφαρμογή ενός φυτοφαρμάκου στο έδαφος, ένα μέρος του προσλαμβάνεται από τις ρίζες του φυτού και κάποιο άλλο παραμένει αδέσμευτο στο εδαφικό περιβάλλον. Στο μοντέλο PestLCI, αυτά τα ποσοστά των ουσιών που εισέρχονται στα φυτά από τις ρίζες, δεν λαμβάνονται υπόψη αλλά πρόκειται να συνυπολογίζονται στις επόμενες εκδόσεις του μοντέλου. Επιπλέον, η πρόσληψη των ουσιών από τα φύλλα του φυτού περιλαμβάνεται στο μοντέλο αλλά έχει χρησιμοποιηθεί και βασιστεί μόνο σε δύο διαφορετικά είδη φυτών.

Ο περιορισμός αυτός οφείλεται στη διαφορετική μορφολογία των φύλλων των φυτών τα οποία επιτρέπουν την είσοδο ουσιών με διαφορετικό τρόπο, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διακυμάνσεις στις εκτιμήσεις των ποσοτήτων που εισέρχονται στο εσωτερικό του φυτού (Birkved et al., 2006).

Η βασική παραδοχή στη μεθοδολογία του μοντέλου αφορά στην αυστηρή τήρηση των προτεινόμενων οδηγιών χρήσης από τους γεωργούς σχετικά με το χρόνο εφαρμογής του φυτοφαρμάκου, τη δοσολογία κλπ. Σε περιπτώσεις που έστω και λίγοι γεωργοί δεν συμμορφώνονται με οδηγίες, θα προκληθεί ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα η οποία δεν θα συμπεριληφθεί στο μοντέλο PestLCI.

Από το ποσό του φυτοφαρμάκου που εφαρμόζεται στα φύλλα του φυτού, υπάρχει ένα ποσοστό που ξεπλένεται από τη βροχή. Σε κάποια μοντέλα όπως το MACRODB, το ποσό αυτό λαμβάνεται υπόψη αλλά στη περίπτωση του PestLCI δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα. Δεδομένου ότι πολλές φορές οι γεωργοί αναζητούν να βελτιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των φυτοφαρμάκων, αποφεύγουν να εφαρμόζουν τα

φυτοφάρμακα πριν βρέξει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα ποσά των φυτοφαρμάκων που απορρέουν λόγω βροχής να είναι μικρά κι έτσι δεν γίνεται σωστός υπολογισμός στο PestLCI (Birkved et al., 2006).

## 6.5 Συμπεράσματα

Βασικός σκοπός του μοντέλου PestLCI είναι να παρέχει εκτιμήσεις σχετικά με τα ποσά των φυτοφαρμάκων που εκπέμπονται καθώς και με τους τρόπους που αυτά εισέρχονται στο περιβάλλον όταν γίνει η εφαρμογή τους στο χωράφι. Βασική προϋπόθεση λειτουργίας του μοντέλου είναι η διαθεσιμότητα δεδομένων για τις ουσίες που εμπεριέχονται στα φυτοφάρμακα αλλά και για το σύστημα γεωργικών τεχνικών για την εφαρμογή τους. Ουσιαστικά, μέσω του μοντέλου γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της πορείας των φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον (Birkved et al., 2006).

Στα πλαίσια της Ανάλυσης/Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής, απαιτείται η συλλογή πολλών δεδομένων για τα χαρακτηριστικά του εδάφους ώστε να μπορούν να εξηγηθούν ακριβώς όλες αυτές οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο έδαφος. Γι' αυτόν τον λόγο, λαμβάνονται υπόψη κάποιες υποθέσεις βάσει των οποίων αυτές οι διαδικασίες γενικεύονται και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα οι μέσοι όροι των συνθηκών.

Το μοντέλο PestLCI θεωρείται ικανό να δικαιολογήσει τις αποκλίσεις στην ελευθέρωση φυτοφαρμάκων στο περιβάλλον που προκαλούνται από τις ιδιότητες των ουσιών, τις γεωλογικές και μετεωρολογικές συνθήκες και στις γεωργικές τεχνικές που εφαρμόζονται. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση του κύκλου ζωής γεωργικών συστημάτων παραγωγής και έχει ήδη αποδειχθεί η χρησιμότητά του στη μελέτη LCA-FOOD (LCA-FOOD, 2004) στη Δανία, όπου και σχεδιάστηκε το μοντέλο.

Υπάρχει η δυνατότητα το μοντέλο να προσαρμοστεί στις συνθήκες οποιασδήποτε άλλης χώρας, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Η εκάστοτε εθνική μετεωρολογική υπηρεσία καθώς κι οι αρμόδιες για την γεωργική παραγωγή αρχές για την κάθε χώρα αποτελούν τις βασικές πηγές για τα μετεωρολογικά και τα εδαφοκλιματολογικά δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση του μοντέλου PestLCI. Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό σε πολλές χώρες να είναι εφικτή η επιτόπια εκτίμηση των ποσών των φυτοφαρμάκων που εισέρχονται στο περιβάλλον (Birkved et al., 2006).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ**

### ***Το Μοντέλο p-EMA***

---

#### **7.1 Σχεδιασμός Μοντέλου**

Σκοπός της περιγραφής της περιβαλλοντικής πορείας των φυτοφαρμάκων είναι ο υπολογισμός των προβλεπόμενων περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων για το έδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Κατά τον σχεδιασμό του μοντέλου p-EMA ένα σημαντικό βήμα είναι να λαμβάνονται υπόψη ρυθμίσεις που αφορούν το μέρος που εφαρμόζονται τα φυτοφάρμακα καθώς κι η τεχνική με την οποία εφαρμόζονται (Πίνακας 6 και 7) (Brown et al., 2003).

Για την λειτουργία του μοντέλου είναι απαραίτητη η διαμόρφωση μιας βάσης δεδομένων φυτοφαρμάκων που να συμπεριλαμβάνει ένα δείκτη για την ποιότητα των δεδομένων (Lewis et al., 2003). Οι ιδιότητες των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των προβλεπόμενων περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων είναι:

- Συντελεστής κατανομής οργανικού άνθρακα εδάφους/νερού ( $K_{oc}$ )
- Χρόνος ημιζωής για την αποικοδόμηση στο έδαφος ( $DT_{50}$ )
- Χρόνος ημιζωής για υδατική φωτόλυση, ουδέτερη υδρόλυση
- Διάχυσης από την υδατική φάση του συστήματος νερού-ιζήματος.

Ο χρήστης του μοντέλου παρέχει ως εισροές δεδομένα για το επίπεδο συνολικής γεωργικής εκμετάλλευσης, το αγροτεμάχιο και τη μέθοδο εφαρμογής των φυτοφαρμάκων (Πίνακας 6). Σε επίπεδο αγροκτήματος, ο χρήστης χρειάζεται να εισάγει μόνο τον ταχυδρομικό κώδικα που χρησιμοποιείται για την καταχώρηση της τοποθεσίας στην οποία αποδίδονται κάποια γενικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Σε επίπεδο αγροτικής καλλιέργειας και χωραφίου ειδικότερα, οι απαιτήσεις σε δεδομένα- εισροές στο μοντέλο πραγματοποιούνται εντός του προφίλ του αγροκτήματος. Παραλλήλως, τα δεδομένα των φυσικών συνθηκών πρέπει να επανεισάγονται ανά εποχή σύμφωνα με τις εκάστοτε καιρικές μεταβολές (Brown et al., 2003).



**Πίνακας 6 - Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς της πορείας των φυτοφαρμάκων (Brown et al., 2003).**

Περιβάλλον	Παράγοντες τόπου	Παράγοντες πρακτικής
Έδαφος	Είδος φυτού- στάδιο ανάπτυξης	Ρυθμός εφαρμογής
Υπόγεια Νερά	Παρουσία κι είδος υδροφόρου ορίζοντα	Ρυθμός κι ωράριο εφαρμογής
	Είδος εδάφους- στάδιο ανάπτυξης	
	Μέσος όρος χειμερινών βροχοπτώσεων (winter recharge)	
Εισροές στα επιφανειακά νερά (drift)	Παρουσία επιφανειακών νερών	Ρυθμός κι αριθμός εφαρμογών
	Εύρος υδάτων	Χρήση ακροφυσίου ψεκασμού χαμηλής αερομεταφοράς
	Απόσταση νερού από την άκρη του φυτού	Μη εφαρμογή ψεκασμών
Εισροές στα επιφανειακά νερά (drain)	Παρουσία κι είδος drains	Ρυθμός εφαρμογής
	Είδος εδάφους	
	Είδος φυτού και στάδιο ανάπτυξης	
Επιφανειακά ύδατα	Διαστάσεις υδάτων	

**Πίνακας 7 - Δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των φυτοφαρμάκων (Brown et al., 2003)**

Δεδομένα για το έδαφος	Δεδομένα για την εφαρμογής
Περιοχή χωραφιού	Όνομα προϊόντος φυτοφαρμάκου και είδος συσκευασίας
Σύσταση εδάφους	Ρυθμός κι ημερομηνία εφαρμογής
Παρουσία/είδος αποχέτευσης	Βάθος ενσωμάτωσης
Παρουσία επιφανειακών νερών	Αριθμός επεμβάσεων με το ίδιο προϊόν
Εύρος και βάθος επιφανειακών νερών	Είδος φυτού και στάδιο ανάπτυξης
Στατικά ή ρέοντα επιφανειακά νερά	Είδος ακροφυσίου ψεκασμού
	Απόσταση από την περιοχή ψεκασμού
	Απόσταση από τα επιφανειακά ύδατα

## **7.2 Υπολογισμοί συγκεντρώσεων**

### **7.2.1 Έδαφος**

Σε μια αξιολόγηση του ρίσκου απαιτείται η γνώση της αρχικής συγκέντρωσης του φυτοφαρμάκου στο έδαφος. Η ποσότητα των χημικών που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του εδάφους υπολογίζεται από το ρυθμό εφαρμογής και στη συνέχεια επικαιροποιείται ανάλογα με την παρουσία φυτών στο συγκεκριμένο τμήμα του εδάφους. Ο χρήστης του μοντέλου p-EMA καλείται να εισάγει είτε το τμήμα του εδάφους που καλύπτεται από φυτά είτε το στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών τη στιγμή της εφαρμογής. Σύμφωνα με την τρέχουσα κανονιστική πρακτική, η αρχική συγκέντρωση του φυτοφαρμάκου στο έδαφος υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την παραδοχή ότι το ποσοστό των φυτοφαρμάκων που εφαρμόζεται στο έδαφος είναι ομοιόμορφα καταμεμημένο έως βάθος 5 cm από το έδαφος και θεωρείται ότι έχει πυκνότητα  $1,5 \text{ g/cm}^3$  (Brown et al., 2003).

### **7.2.2 Υπόγεια ύδατα**

Σύμφωνα με την τρέχουσα κανονιστική πρακτική ο στόχος είναι η προσομοίωση των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων μιας διαρροής φυτοφαρμάκων μέσω του εδάφους σε βάθος 1m και η χρήση αυτού του ορίου ως προστασία για τις συγκεντρώσεις στα υπόγεια ύδατα. Ο ετήσιος μέσος όρος συγκρίνεται με τα κριτήρια της ποιότητας των υπογείων υδάτων της ΕΕ των  $0,1 \text{ } \mu\text{g/L}^1$  ώστε να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με αυτές τις ρυθμίσεις (Brown et al., 2003).

Η ροή του νερού στο έδαφος και η μεταφορά ουσιών μέσα στους μικροπόρους μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας την εξίσωση Richards και την εξίσωση μεταφοράς-διασποράς, αντίστοιχα. Η αποδόμηση των φυτοφαρμάκων μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας την κινητική πρώτης τάξης, ενώ η απορρόφηση θεωρείται ότι είναι μια στιγμιαία ισορροπία και περιγράφεται από την ισόθερμη εξίσωση Freundlich (Brown et al., 2003).

Τα δεδομένα που πρέπει να εισάγονται στο μοντέλο πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο απλά. Ο χρήστης χρειάζεται να καθορίσει, όπως προαναφέρθηκε, μόνο τον ταχυδρομικό κώδικα του αγροκτήματος. Ακόμη, είναι απαραίτητη η καταχώρηση δεδομένων που σχετίζονται με την παρουσία ή μη κάποιου υδροφόρου ορίζοντα στη περιοχή της γεωργικής καλλιέργειας, τον τύπο του εδάφους της καλλιέργειας, και τον μέσο όρο των χειμερινών βροχοπτώσεων (Brown et al., 2003).

### **7.2.3 Επιφανειακά ύδατα**

Κατά τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων στα επιφανειακά ύδατα, ως χειρότερη δυνατή περίπτωση θεωρείται εκείνη στην οποία η υδατική περιοχή χαρακτηρίζεται ως στατική. Συγκεκριμένα έχει 30cm βάθος και πλάτος 100 cm και εκτείνεται κατά μήκος του εδάφους σε απόσταση 1 m από την ψεκασμένη περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο p-EMA λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές διαστάσεις και την απόσταση από την ψεκασμένη περιοχή σε κάθε είδος επιφανειακών υδάτων. Μ'

αυτό τον τρόπο, το σύστημα υπολογίζει τις εισροές στα επιφανειακά ύδατα μέσω της μετακίνησης του ψεκαστικού νέφους και μέσω της ροής αποστράγγισης μετά την εφαρμογή του φυτοφαρμάκου (για τα πεδία όπου είναι εγκατεστημένα αποχετεύσεις). Η μεγαλύτερη από αυτές τις εισροές χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης στα επιφανειακά ύδατα (Brown et al., 2003).

Θεωρείται δεδομένο ότι το νέφος ψεκασμού και η ροή αποστράγγισης δεν συμβαίνουν την ίδια στιγμή καθώς ο γεωργός είναι απίθανο να χρησιμοποιεί φυτοφάρμακα υπό συνθήκες όπου υπάρχει διαρροή σε δίκτυο υπονόμων. Μια άλλη υπόθεση είναι ότι οι εισροές μέσω της επιφανειακής απορροής είναι μικρότερες συγκριτικά με εκείνες από τη μετακίνηση και τη ροή αποστράγγισης. Αυτή είναι μια ρεαλιστική υπόθεση που βασίζεται στη μελέτη του μεγαλύτερου μέρους της γόνιμης έκτασης του Ηνωμένου Βασιλείου, το οποίο θεωρείται σχετικά επίπεδο και συνήθως λαμβάνει χαμηλής έντασης βροχοπτώσεις (Jones et al., 1995).

Κατά τον εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο p-EMA ζητείται από τον χρήστη να προσδιορίσει αν υπάρχουν επιφανειακά ύδατα κι εφόσον υπάρχουν να προσδιοριστεί το πλάτος, το βάθος και η μέση απόσταση από την άκρη της περιοχής του εδάφους που ψεκάζονται. Επιπλέον, ο χρήστης οφείλει να διευκρινίσει εάν υπάρχει κάποιο τμήμα του εδάφους που δεν έχει ψεκαστεί με φυτοφάρμακο (Brown et al., 2003).

Οι ποσότητες των επιφανειακών υδάτων που προέρχονται από τη μετακίνηση και τη ροή αποστράγγισης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δύο αρχικών συγκεντρώσεων στο νερό διαιρώντας με τον συνολικό όγκο του σώματος του νερού (συν ένα πρόσθετο όγκο ισοδύναμο με μία ροή 10 mm για την είσοδο μέσω των αποχετεύσεων). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση φυτοφαρμάκου επιλέγεται και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του κινδύνου στον οποίο είναι εκτεθειμένοι οι υδρόβιοι οργανισμοί. Οι πρόσθετες επιδράσεις από τις πολλαπλές εφαρμογές του ίδιου φυτοφαρμάκου λαμβάνεται υπόψη μόνο στα στατικά επιφανειακά ύδατα. Οι χρονικά σταθμισμένοι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων για την αντιμετώπιση χρόνιων εκτιμήσεων υπολογίζονται σύμφωνα με κινητική πρώτης τάξης και λαμβάνεται υπόψη η πιο γρήγορη διαδικασία διάχυσης από την επιφάνεια του νερού (Brown et al., 2003).

### **7.3 Συμπεράσματα**

Όταν τα μοντέλα αξιολόγησης της έκθεσης των φυτοφαρμάκων συνδυάζονται με οικοτοξικολογικές πληροφορίες, τότε υπάρχει η δυνατότητα να παρέχεται ένα σύστημα πιο αποτελεσματικό που αντικαθιστά τις προηγούμενες προσεγγίσεις, βάσει της επικινδυνότητας για την αξιολόγηση φυτοφαρμάκων. Σύμφωνα με την κυβερνητική πολιτική του Ηνωμένου Βασιλείου ως προς τα φυτοφάρμακα συνιστάται η μείωση της χρήσης των φυτοφαρμάκων με παράλληλη ελαχιστοποίηση του κινδύνου.

Το σύστημα p-EMA έχει σχεδιαστεί βάσει αυτού του στόχου και προβλέπει τον προσδιορισμό των εφαρμογών που αποτελούν το μεγαλύτερο κίνδυνο για το περιβάλλον τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε σχέση με τις γεωργικές πρακτικές που

εφαρμόζονται. Η επιτυχία του μοντέλου p-EMA έγκειται στον σχεδιασμό και στην υιοθέτηση των τρεχουσών κανονιστικών πρακτικών αντί να επιδιώκει την δημιουργία εναλλακτικών διαδικασιών. Αυτό εξασφαλίζει ότι το μοντέλο p-EMA διασφαλίζει την κανονιστική διαδικασία λήψης αποφάσεων και ελέγχου που αφορούν όλες τις δραστηριότητες διαχείρισης της βιομηχανίας. Η ανάγκη για εύρεση και εφαρμογή εργαλείων που δρουν συμπληρωματικά με την νομοθεσία και τις ανάγκες στον αγροτικό τομέα αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά τις πρωτοβουλίες που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ενέχουν τα φυτοφάρμακα για το περιβάλλον (Brown et al., 2003).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΙΟΟ**

### ***Το μοντέλο USES-LCA 2.0***

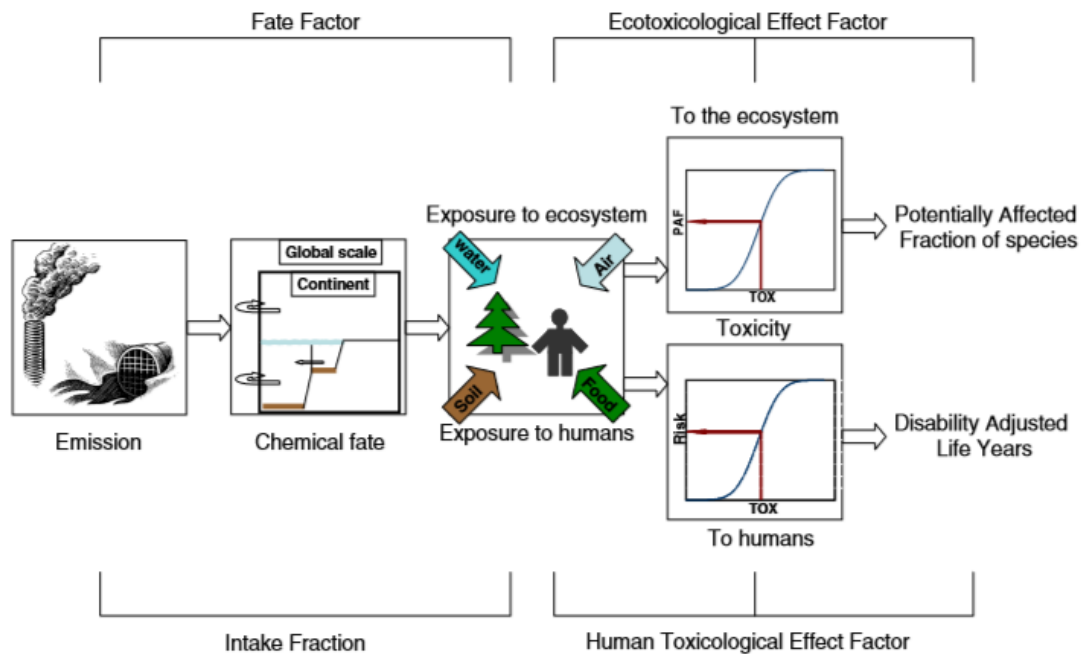
---

#### **8.1. Γενικά**

Το μοντέλο USES-LCA (Uniform System for the Evaluation of Substances adapted for LCA purposes) είναι ένα ενιαίο σύστημα για την αξιολόγηση των χημικών ουσιών που προσαρμόστηκε για τους σκοπούς της ΑΚΖ. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα μοντέλο που εξετάζει πολύπλευρα την πορεία, την έκθεση και τις επιπτώσεις των χημικών ουσιών (Huijbregts et al., 2000). Ο σχεδιασμός του βασίζεται στο μοντέλο (E)USES που εφαρμόζεται για τους σκοπούς της αξιολόγησης των κινδύνων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Vermeire et al., 2005). Είναι ένα από τα μοντέλα που εμπλέκονται στην ανάπτυξη της Εκτίμησης των Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (LCIA) για την τοξικότητα στο μοντέλο USEtox (Rosenbaum et al., 2008).

Η πιο πρόσφατη έκδοση του μοντέλου είναι η USES-LCA2.0 κι ενημερώθηκε πρόσφατα με αποτέλεσμα να περιέχει μια βάση δεδομένων με 3.396 χημικές ουσίες. Σε αυτή την έκδοση, το μοντέλο θεωρείται πιο εύκολο στη χρήση του και υπολογίζει παράγοντες χαρακτηρισμού για την οικοτοξικότητα και την τοξικότητα για τον άνθρωπο τόσο για το ενδιάμεσο (midpoint) όσο και για το τελικό επίπεδο (endpoint) στην αλυσίδα των επιπτώσεων.

Όσον αφορά την τοξικότητα για τον άνθρωπο, υπάρχουν οι παράγοντες χαρακτηρισμού για τις καρκινογόνες ουσίες, τις μη-καρκινογόνες ουσίες, και συνοπτικοί παράγοντες χαρακτηρισμού τοξικότητας. Ακόμα, διαφορετικοί οικοτοξικολογικοί παράγοντες χαρακτηρισμού παρέχονται για τα χερσαία, τα θαλάσσια οικοσυστήματα καθώς και τα οικοσυστήματα γλυκού νερού. Ο συνολικός οικοτοξικολογικός παράγοντας χαρακτηρισμού σε τελικό επίπεδο (endpoint) προκύπτει μετά την περαιτέρω ομαδοποίηση των παραγόντων βάσει της πυκνότητας των ειδών στα χερσαία, τα θαλάσσια οικοσυστήματα καθώς και στα οικοσυστήματα γλυκού νερού (VanZelm et al., 2009).



Εικόνα 5 - Συνοπτική λειτουργία μοντέλου USES-LCA 2.0 (VanZelm et al., 2009)

Συγκριτικά με το μοντέλο USEtox, τα επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που εξετάζονται στο μοντέλο USES-LCA είναι:

- οι παράγοντες χαρακτηρισμού του τελικού σημείου, οι οποίοι υπολογίζονται μετά τους παράγοντες χαρακτηρισμού μεσαίου επιπέδου (midpoint),
- οι δείκτες οικοτοξικότητας για το γλυκό νερό, το θαλασσινό νερό και για τα χερσαία οικοσυστήματα και
- η δυνατότητα ελέγχου διαφορετικών παραδοχών για διαφορετικά σενάρια μέσω της αλλαγής κάποιων ρυθμίσεων.

## 8.2 Υπολογισμός παραγόντων πορείας και έκθεσης

Το μοντέλο USES-LCA υπολογίζει τους παράγοντες που σχετίζονται με την περιβαλλοντική πορεία και έκθεση των χημικών ουσιών για δέκα διαμερίσματα εκπομπών, συμπεριλαμβανομένων του αέρα σε αστικές περιοχές, του αέρα της υπαίθρου, του γλυκού νερού, και του γεωργικού εδάφους. Εξίσου σημαντικό στους υπολογισμούς είναι το γεγονός ότι εμπεριέχονται παράγοντες πρόσληψης των χημικών ουσιών από τον άνθρωπο μέσω της εισπνοής και του στόματος χρησιμοποιώντας ένα άπειρο χρονικό ορίζοντα.

Οι παράγοντες περιβαλλοντικής πορείας και έκθεσης εκφράζουν την αλλαγή στην διαλυμένη συγκέντρωση σε ένα περιβαλλοντικό διαμέρισμα λόγω της αλλαγής των εκπομπών.

Οι ανθρώπινοι παράγοντες εκφράζουν την μεταβολή της έκθεσης του συνολικού ανθρώπινου πληθυσμού σε επίπεδο ηπειρικού ή αρκτικής, τροπικής κλίμακας μέσω κατάποσης, εισπνοής λόγω της αλλαγής των εκπομπών σε ένα διαμέρισμα. Η επικράτηση ή μη, συνθηκών βροχής εφαρμόζονται στο μοντέλο USES-LCA 2.0 σύμφωνα με το μοντέλο βροχής, που έχουν περιγράψει οι Jolliet και Hauschild (2005).

Λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των χημικών ουσιών στο περιβάλλον, στο μοντέλο USES-LCA 2.0 υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της ευαισθησίας των παραγόντων χαρακτηρισμού.

Αυτό μπορεί να συμβεί εάν ο χρήστης του μοντέλου ακολουθήσει τις ακόλουθες επιλογές στα σενάρια:

- 1) Η πρόσληψη μέσω της τροφής από τον άνθρωπο μπορεί να αποκλειστεί για όλα τα μέταλλα, καθώς έχει αποδειχθεί ότι η έννοια της βιοσυσώρευσης, ισχύει γενικά για οργανικούς ρύπους κι ενδέχεται να μην ισχύει για ανόργανες ουσίες (Hendriks και Heikens 2001 / McGeer et al., 2003).
- 2) Οι ωκεανοί ως περιβαλλοντικό διαμέρισμα μπορεί να αποκλειστούν για τα βασικά μέταλλα, όπως είναι το κοβάλτιο, ο χαλκός, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο και ο ψευδάργυρος (Ligthart 2004).
- 3) Ένα χρονικό διάστημα 100 ετών, αντί ενός άπειρου χρονικού ορίζοντα μπορεί να επιλεγεί. Σύμφωνα με τον Ligthart (2004), συνιστάται η ανάλυση ευαισθησίας σε βάθος 100 χρόνων για τις κατηγορίες επιπτώσεων της τοξικότητας όταν τα μέταλλα έχουν κυρίαρχη επίδραση στα αποτελέσματα της AKZ.

### **8.3 Υπολογισμός παραγόντων επιπτώσεων σε άνθρωπο**

Το μοντέλο USES-LCA 2.0 υπολογίζει τους παράγοντες τοξικολογικών επιπτώσεων και βλαβών στον άνθρωπο (Human toxicological Effect and Damage factors, HEDFs) ανά χημικό προϊόν λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες που σχετίζονται με την διαδρομή πρόσληψης (εισπνοή και κατάποση), και το είδος της νόσου (εμφάνιση ή μη καρκίνου). Οι HEDFs στο επίπεδο του τελικού σημείου εκφράζουν την αλλαγή-βλάβη στον ανθρώπινο οργανισμό σε επίπεδο πληθυσμού και εκφράζεται μέσω των ετών προσαρμογής του προσδόκιμου ζωής λόγω αναπηρίας (DALY, Disability adjusted life years). Το μοντέλο USES-LCA 2.0 περιλαμβάνει εξειδικευμένους παράγοντες για την εμφάνιση ή μη καρκίνου (Huijbregts et al. 2005).

Για τον υπολογισμό των HEDFs στο μοντέλο USES-LCA 2.0 μπορούν να ληφθούν υπόψη διάφορες επιλογές σχετικά με τα σενάρια:

- 1) Ο χρήστης έχει την επιλογή είτε να λάβει υπόψη στον υπολογισμό των DALY τα έτη ζωής με αναπηρία (YLD, Years of Life Disability) ή να συμπεριλάβει μόνο τα YLL (Years of Life Lost).

- 2) Οι επιπτώσεις του καρκίνου μπορεί να αποκλειστούν, ανάλογα με το επίπεδο των αποδεικτικών στοιχείων για την καρκινογένεση. Η επιλογή αυτή έχει τεθεί σε εφαρμογή ακολουθώντας την κατάταξη του Διεθνή Οργανισμού Έρευνας για τον Καρκίνο (International Agency for Research on Cancer, IARC).

#### **8.4 Υπολογισμός οικολογικών παραγόντων**

Οι παράγοντες οικοτοξικολογικής επίδρασης (Ecotoxicological effect factors, EEFs) σε επίπεδο τελικού σημείου εκφράζουν την αλλαγή στη συνολική τοξική επιβάρυνση που οφείλεται στη μεταβολή της συγκέντρωσης της χημικής ουσίας. Ο δείκτης EEF υπολογίζεται με βάση ένα συντελεστή κλίσης, και ένα παράγοντα τοξικότητας της χημικής ουσίας που αντικατοπτρίζει τη μέση τοξικότητα της χημικής ουσίας των οικοσυστημάτων (VandeMeent και Huijbregts 2005).

Για τον υπολογισμό των EEFs στο μοντέλο USES-LCA 2.0 αρκετές επιλογές μπορούν να οριστούν για τα σενάρια:

- 1) Ως εναλλακτική λύση για την προεπιλογή συντελεστή κλίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας εξειδικευμένος παράγοντας για EEFs γλυκού νερού που λέγεται Toxic Mode of Action (TMoA) (VanZelm et al., 2007, 2009).
- 2) Χημικές ουσίες για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία τοξικότητας μόνο για ένα μικρό αριθμό ειδών, μπορούν να εξαιρεθούν καθορίζοντας ένα ελάχιστο αριθμό ειδών προς εξέταση. Η αβεβαιότητα για τη δραστηριότητα των χημικών ουσιών μειώνεται σημαντικά με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων οικοτοξικότητας για έναν αυξανόμενο αριθμό των ειδών (VanZelm et al., 2009).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΝΑΤΟ

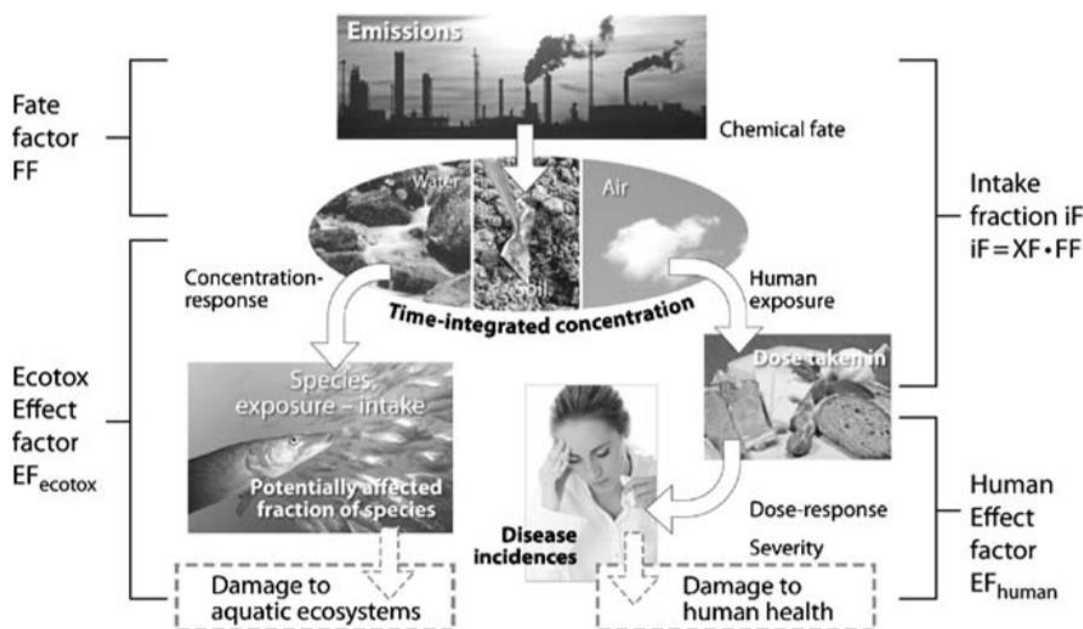
### Το μοντέλο USEtox

#### 9.1 Σχεδιασμός μοντέλου

Το μοντέλο USEtox υπολογίζει παράγοντες χαρακτηρισμού για την τοξικότητα που μπορεί να εμφανιστεί στον άνθρωπο αλλά και για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού. Κατά την αξιολόγηση των τοξικολογικών επιπτώσεων μιας χημικής ουσίας που ελευθερώνεται στο περιβάλλον η μεθοδολογία του μοντέλου βασίζεται σε μια αλυσίδα αιτίου-αιτιατού (cause-effect chain). Με αυτό τον τρόπο, η κάθε ελευθέρωση χημικής ουσίας στο περιβάλλον αντιστοιχεί σε κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Εικόνα 6) (Rosenbaum et al., 2008).

Αυτό γίνεται σε τρία στάδια κατά τα οποία εκτιμώνται:

- 1) η περιβαλλοντική πορεία και συμπεριφορά,
- 2) η έκθεση
- 3) οι επιπτώσεις



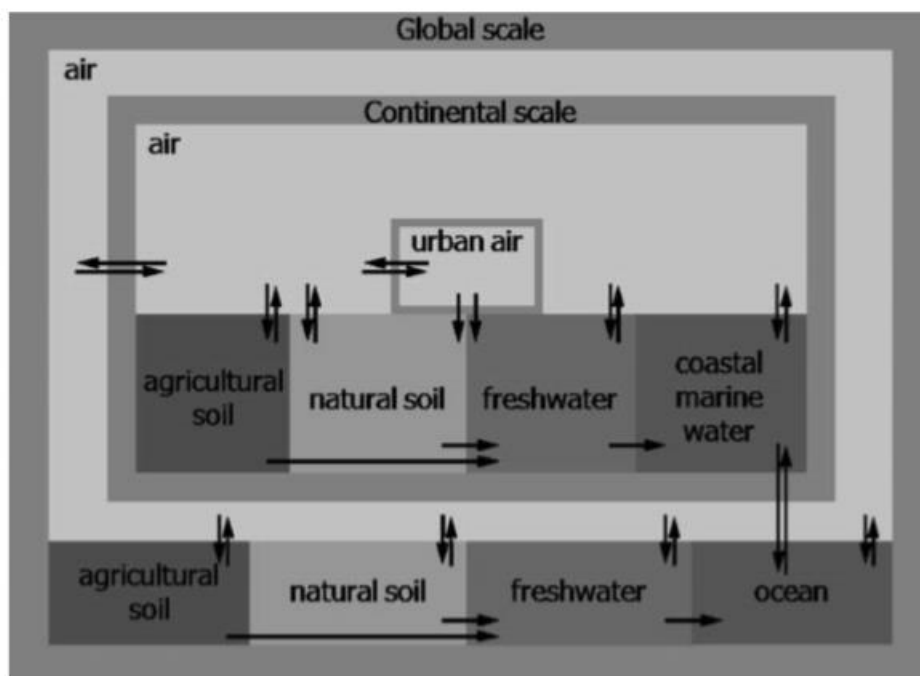
Εικόνα 6 - Συγκριτική εκτίμηση τοξικότητας (Rosenbaum et al., 2008)

Ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας του μοντέλου USEtox βασίστηκε σε ένα σύνολο αρχών που περιλαμβάνει:

- 1) Απλό σχεδιασμό
- 2) Μικρή διαφοροποίηση από τα αρχικά μοντέλα
- 3) Παροχή μεγάλου εύρους γνώσεων μέσω της αξιολόγησης των αρχικών μοντέλων
- 4) Διαφάνεια και τεκμηρίωση στην επιλογή των μοντέλων

Το μοντέλο USEtox σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη δύο χωρικές κλίμακες. Η μία κλίμακα ονομάζεται ηπειρωτική κλίμακα και αποτελείται από έξι περιβαλλοντικά τμήματα: τον αέρα στα αστικά κέντρα, τον αέρα σε αγροτικές περιοχές, τη γεωργική γη, το έδαφος στο οποίο εκτείνονται βιομηχανίες, το γλυκό νερό και τα παράκτια θαλάσσια ύδατα.

Η παγκόσμια κλίμακα έχει την ίδια δομή με την ηπειρωτική κλίμακα, αλλά χωρίς τον αέρα στα αστικά κέντρα, και εξηγεί τις επιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα έξω από την ηπειρωτική κλίμακα (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 - Χωρικός σχεδιασμός μοντέλου USEtox (Rosenbaum et al., 2008)

Το μοντέλο που μελετά την πορεία των χημικών ουσιών υπολογίζει την αύξηση της μάζας (kg) σε ένα δεδομένο μέσο λόγω της ροής των εκπομπών των χημικών ουσιών στο περιβάλλον (kg / ημέρα). Είναι ισοδύναμο με την συγκέντρωση συναρτήσει του χρόνου και πολλαπλασιασμένη με τον όγκο για άπειρες εκπομπές (Heijungs et al. 1992; Mackay and Seth 1999).

Το μοντέλο που περιγράφει την έκθεση του ανθρώπου στις χημικές ουσίες, ποσοτικοποιεί την αύξηση της ποσότητας μιας ένωσης που μεταφέρονται μέσα στον ανθρώπινο πληθυσμό. Αυτή η ποσοτικοποίηση βασίζεται στην αύξηση της συγκέντρωσης σε διαφορετικά μέσα. Οι παράγοντες της ανθρώπινης έκθεσης πραγματοποιείται σε δύο γεωγραφικές κλίμακες που περιλαμβάνουν την έκθεση του ανθρώπου μέσω της εισπνοής του αέρα (σε αγροτικές και αστικές περιοχές) και της κατάποση του πόσιμου νερού (μη επεξεργασμένη επιφάνεια του γλυκού νερού) (Rosenbaum et al., 2008).

Ακόμη, συμπεριλαμβάνονται τα φύλλα των φυτών (εκτεθειμένα προϊόντα), οι ρίζες των φυτών (προϊόντα που δεν έχουν εκτεθεί), το κρέας, το γάλα, τα ψάρια του γλυκού νερού και τα ψάρια από τα θαλάσσια ύδατα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες αφορούν το σύνολο του ανθρώπινου πληθυσμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι άνθρωποι παράγοντες έκθεσης λαμβάνονται ως διάσταση ανά ημέρα.

Στο μοντέλο USEtox, οι άνθρωποι παράγοντες επίδρασης σχετίζονται με την ποσότητα που λαμβάνεται από τον πληθυσμό μέσω της κατάποσης και της εισπνοής. Ουσιαστικά αποδίδουν την πιθανότητα να προκληθούν δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο από τις χημικές ουσίες. Αυτοί οι παράγοντες βασίζονται σε δεδομένα τοξικότητας για τον καρκίνο ενώ οι μη καρκινικές επιδράσεις προέρχονται από εργαστηριακές μελέτες (Rosenbaum et al., 2008).

## 9.2 Περιορισμοί μοντέλου

Το εύρος της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου USEtox οφείλεται στη διακύμανση που εμφανίζεται μεταξύ των μοντέλων. Όμως, δεν περιλαμβάνει τις αβεβαιότητες που συνδέονται με τις παραμέτρους στα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παραγόντων χαρακτηρισμού (CF).

Εκτός από τις διαφορές στη δομή του μοντέλου, σημαντικές πηγές αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου USEtox είναι η αβεβαιότητα και η μεταβλητότητα των παραμέτρων που εισάγονται στο μοντέλο καθώς κι η έλλειψη ακριβών μηχανισμών QSARs για την εκτίμηση των ιδιοτήτων μιας ουσίας (Rosenbaum et al., 2008).

Για παράδειγμα, υπάρχουν ελλιπή δεδομένα που σχετίζονται με:

- τα ποσοστά μεταφοράς των χημικών ουσιών στο κρέας και στο γάλα,
- τους παράγοντες βιοσυγκέντρωσης για τα ψάρια
- τους ρυθμούς χημικής αποικοδόμησης
- την υγεία του ανθρώπου και δεδομένα οικοτοξικολογικής επίδρασης.

Επιπλέον, μειονέκτημα αποτελεί η επιλογή μηδενισμού του παράγοντα επίδρασης στον άνθρωπο σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την τοξικότητα των χημικών ουσιών στον άνθρωπο. Ακόμη, η υπόθεση που γίνεται για την ύπαρξη ομοιογένειας στα διαμερίσματα, ειδικά σε σύνθετα μέσα όπως είναι το έδαφος ή το νερό, αποτελεί μία περαιτέρω αβεβαιότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί στο μοντέλο USEtox, οποιαδήποτε χημική ουσία εισέρχεται σε αυτά αραιώνεται αμέσως εντός του όγκου. Το μοντέλο βλάστησης που χρησιμοποιείται στο μοντέλο της

έκθεσης δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε διαδικασία υποβάθμισης επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της έκθεσης του ανθρώπου μέσω γεωργικών προϊόντων και του κρέατος / γάλακτος, αυξάνοντας περαιτέρω την αβεβαιότητα των διαδικασιών μεταφοράς που μοντελοποιείται μέσω του USEtox (Rosenbaum et al., 2008).

Η κύρια διαφορά μεταξύ των συνιστώμενων και προσωρινών παραγόντων χαρακτηρισμού σχετίζεται είτε με την εφαρμογή του μοντέλου USEtox στις αντίστοιχες ουσίες είτε με την διαθεσιμότητα και με την ποιότητα των απαραίτητων για εισαγωγή στο μοντέλο δεδομένων. Το μοντέλο USEtox χρησιμοποιείται για γενικές οργανικές χημικές ουσίες που δεν διασπώνται και δεν έχουν αμφιφιλικό χαρακτήρα. Επιπλέον, η ελάχιστη ποιότητα των δεδομένων δεν είναι εφικτό να καλυφθεί για μια σειρά από χημικές ουσίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται χρεαστεί προσωρινοί συντελεστές χαρακτηρισμού. Ωστόσο, η αβεβαιότητα αυτών των παραγόντων είναι πολύ μεγάλη, αλλά λαμβάνοντας υπόψη το εύρος διακύμανσης των χημικών ουσιών, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με προσοχή.

Συνοψίζοντας, η έλλειψη δεδομένων αλλά και γνώσης θέτει περιορισμούς στη χρήση και ερμηνεία του μοντέλου USEtox και των αποτελεσμάτων του. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο δεν είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να περιέχει την αξιολόγηση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους αλλά και της δερματικής έκθεσης στον άνθρωπο. Η διαθεσιμότητα των δεδομένων αποτελεί περιοριστικό παράγοντα κυρίως για τα δεδομένα που σχετίζονται με την ανθρώπινη τοξικότητα, την οικοτοξικότητα, την μεταφορά και την υποβάθμιση. Επειδή πρόκειται για σημαντικά δεδομένα, χρησιμοποιούνται μέθοδοι QSAR λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εγγενείς αβεβαιότητες τους. Για άλλες παραμέτρους, όπως η θαλάσσια ή χερσαία οικοσυστήματα, είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν πειραματικά δεδομένα. Περαιτέρω έρευνα πρέπει να διεξαχθεί προκειμένου να βελτιωθεί η αντίστοιχη βάση δεδομένων και να γεφυρώσει αυτό το χάσμα δεδομένων (Rosenbaum et al., 2008).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ**

### ***Ο ρόλος των δεικτών κινδύνου στην περιβαλλοντική αξιολόγηση των φυτοφαρμάκων***

---

#### **10.1 Γενικά**

Στις ημέρες μας υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για επαρκή πληροφόρηση για τους κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση των φυτοφαρμάκων στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Εξίσου σημαντική είναι η γνώση των τρόπων με τους οποίους μπορούν να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον έτσι ώστε να είναι εφικτή η διαχείριση κι η μείωση των κινδύνων. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες για να περιγράψουν τον περιβαλλοντικό κίνδυνο των φυτοφαρμάκων (Reus et al., 2002).

Οι διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουν αναπτυχθεί, διαφέρουν ως προς τον σκοπό, τα στοιχεία του περιβάλλοντος που εξετάζονται (αέρας/έδαφος/ύδατα) με τις αντίστοιχες επιπτώσεις, και τη μεθοδολογία. Έχει αποδειχθεί ότι αρκετοί δείκτες κινδύνου από φυτοφάρμακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην χάραξη πολιτικής για την προστασία του περιβάλλοντος. Απώτερος σκοπός των δεικτών είναι να υποβοηθούν τις κυβερνήσεις στην περιγραφή των τάσεων και των κινδύνων με την πάροδο του χρόνου και να συμβάλλουν στην περιγραφή της εθνικής υγείας του οικοσυστήματος (Reus et al., 2002).

#### **10.2 Η χρήση δεικτών κινδύνου στον αγροτικό τομέα**

Σύμφωνα με τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί από τους Van der Werf (1996), Levitan (1997), Hart (1997) and Falconer (1998), η περιγραφή ενός δείκτη κινδύνου περιλαμβάνει μία συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθείται και του τρόπου που χρησιμοποιείται στη πράξη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πλήρης κατανόηση των παραδοχών που λαμβάνονται υπόψη είναι δύσκολη και δεν καθίσταται εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων στην εκτίμηση ενός συνόλου σεναρίων που αφορούν τα φυτοφάρμακα. Στο πλαίσιο του προγράμματος CAPER (Reus et al., 2002) οι δείκτες αναλύθηκαν πλήρως, καθώς συμπεριλήφθηκαν πληροφορίες σχετικά με τη μεθοδολογία πίσω από κάθε δείκτη και τις παραδοχές που έχουν γίνει. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μια αναλυτική σύγκριση των δεικτών χρησιμοποιώντας ένα τυποποιημένο σύνολο δεδομένων. Αυτό προσδίδει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του κάθε δείκτη. Επίσης παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τις διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των δεικτών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι δείκτες έχουν αναπτυχθεί ως ένα εργαλείο για τους αγρότες και τους συμβούλους προκειμένου να επιλέγονται τα φυτοφάρμακα με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Πίνακας 8).

**Πίνακας 8 - Σκοπός, κλίμακα και στάδιο ανάπτυξης των 8 δεικτών (Reus et al.,2002).**

Indicator	EYP	HD	SYNOPS	p-EMA	Ipest	EPRIP	SyPEP	PERI
<i>Purpose</i>								
Advice to farmers	*			*	*	*		*
Advice to extension	*		(*)	*	*	*	(*)	*
Policy makers	(*)	*	*			(*)	*	
Food industry/consumers	(*)							*
Water companies	(*)				(*)		*	
<i>Scale</i>								
Pesticide level	*	*		(*)	*	*		(*)
Crop level	*	*	(*)	*	*	*		*
Farm level	*	*	(*)	*	*	(*)	(*)	*
Regional level	(*)		*				*	*
National level	(*)		*				*	*
<i>Stage of development</i>								
Under development						*		*
Pilot/testing		*			*	*	*	
Used in practice	*		*	*				

<sup>a</sup> The acronyms used is explained in Table 1. \* means that the indicator is developed for the purpose and scale indicated; (\*) means that the indicator is not developed for this purpose and scale, but in practice it is used in that respect.

Οι δείκτες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις χημικές ιδιότητες των φυτοφαρμάκων, τους παράγοντες εφαρμογής τους καθώς και τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν κατά την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων. Στους περισσότερους δείκτες χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι παράμετροι (Reus et al., 2002):

- Η παραμονή στο έδαφος (DT<sub>50</sub>),
- Η κινητικότητα στο έδαφος (εκφρασμένη σε K<sub>oc</sub> ή K<sub>om</sub>) και
- Η τοξικότητα στους οργανισμούς σε έδαφος και νερό (LC<sub>50</sub> και NOEC).

### 10.3 Ιδιότητες δεικτών κινδύνου

Για να θεωρηθεί ένας δείκτης ιδανικός θα πρέπει έχει ως αντικείμενο τους πραγματικούς κινδύνους από την εφαρμογή φυτοφαρμάκων, κι όχι την επικινδυνότητα και να περιλαμβάνει το ρυθμό εφαρμογής, τους παράγοντες εφαρμογής και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Όμως στη περίπτωση που συμπεριληφθούν όλες αυτές τις μεταβλητές, ο δείκτης θα γίνει περίπλοκος και θα είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, πολλές φορές υπάρχει έλλειψη δεδομένων που αφορούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπό διαφορετικές συνθήκες για τα περισσότερα φυτοφάρμακα. Ως εκ τούτου, ένας δείκτης θα πρέπει να είναι πλήρης και ταυτοχρόνως να είναι ευέλικτος ώστε να εισάγονται στοιχεία εφόσον αυτά είναι διαθέσιμα (Reus et al., 2002).

Επιπροσθέτως, ο κάθε δείκτης θα πρέπει να αντιστοιχεί στα αποτελέσματα ανάλογα με τις διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (συμπεριλαμβανομένων της ανθρώπινης υγείας), κι όχι να αποδίδει μόνο μία συνολική βαθμολογία κινδύνων για το περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά, επιμέρους βαθμολογίες σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών αποτελεσμάτων θα προκαλούσε σύγχυση. Γι' αυτό το λόγο, ο δείκτης είναι απαραίτητο να δίνει την αναγκαία καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ερμηνείας των αποτελεσμάτων (Reus et al.,2002).

Η ερμηνεία των περιβαλλοντικών επιδράσεων από το κάθε φυτοφάρμακο που χρησιμοποιείται με τη βοήθεια των δεικτών θα πρέπει να είναι σύμφωνο με την απόφαση των αρχών που είναι υπεύθυνες για τις καταχωρήσεις των φυτοφαρμάκων. Αυτό μπορεί να συμβεί εάν ο δείκτης ακολουθεί τις μεθοδολογίες εκτίμησης επικινδυνότητας κατά τη διαδικασία εγγραφής. Από την άλλη πλευρά, δεν έχουν ακόμη συμπεριληφθεί όλες οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις διαδικασίες εγγραφής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εκπομπή των φυτοφαρμάκων στον αέρα (Boland et al., 1999) ή οι επιδράσεις των φυτοφαρμάκων σε οργανισμούς που δεν αποτελούν στόχο τους.

Ακόμη, οι δείκτες θα πρέπει να παράγουν αξιόπιστες πληροφορίες. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την επικύρωση. Οι δείκτες μπορούν να επικυρώνονται με σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον τομέα που αφορούν. Όμως αυτό το είδος της επικύρωσης είναι εξαιρετικά περίπλοκο και μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο αν από τους δείκτες προκύπτουν αποτελέσματα που είναι μετρήσιμα, όπως είναι η συγκέντρωση σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Ένας άλλος τρόπος για να επικυρωθεί ένας δείκτης και να αυξηθεί η αξιοπιστία του είναι μέσω της διαφάνειας των υπολογισμών (Reus et al., 1999).

Οι δείκτες θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από ευελιξία στα αποτελέσματα που παράγουν. Για παράδειγμα, πρέπει να είναι εφικτή η συγκέντρωση πληροφοριών για διάφορα φυτά, σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Αυτό καθιστά δυνατή την αναγνώριση των προβληματικών περιοχών και την καλύτερη στόχευση των μέσων εφαρμογής περιβαλλοντικής πολιτικής. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι δείκτες ως ένα εργαλείο για τους αγρότες, είναι επιθυμητό να ενσωματώνονται σε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα πλαίσια της διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Με αυτό τον τρόπο θα καθοδηγούνται οι αγρότες σε σχέση με τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για να ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι (Reus et al., 2002).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### Συμπεράσματα

---

#### 11. Συμπεράσματα

Τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα αποτελούν μια ευρεία κατηγορία αγροχημικών που χρησιμοποιούνται στην γεωργία με σκοπό την εξασφάλιση υψηλών αποδόσεων των καλλιεργειών μέσω:

- της προστασίας τους από αρρώστιες που προκαλούν διάφοροι μύκητες (μυκητοκτόνα), έντομα (εντομοκτόνα),
- της ενίσχυσης του ανταγωνισμού τους έναντι των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα) και
- της προαγωγής της αύξησής/ανάπτυξής τους (φυτορυθμιστικές ενώσεις ή «ορμόνες»).

Τα ζιζανιοκτόνα αποτελούν μια σημαντική κατηγορία των φυτοπροστατευτικών προϊόντων που εφαρμόζονται στο έδαφος κι έχουν σαν σκοπό την καταπολέμηση της ανεπιθύμητης εμφάνισης των ζιζανίων. Τα ζιζάνια αποτελούν το σοβαρότερο ανταγωνιστικό παράγοντα σε κάθε αγρο-οικοσύστημα της συμβατικής γεωργίας τόσο οικονομικά όσο κι αποτελεσματικά. Χαρακτηριστικό γνώρισμά τους, χάρις στο οποίο επικρατούν των καλλιεργειών, είναι το δυνατό και πλούσιο ριζικό τους σύστημα.

Επιπλέον, τα ζιζάνια επιδρούν αρνητικά και στην ποιότητα των καλλιεργειών, γεγονός που αποτελεί λογικό επακόλουθο της ισχυρής ανταγωνιστικότητας έναντι των φυτών. Έχει αναφερθεί επίσης ότι δυσχεραίνουν και την ποιότητα των ζωικών προϊόντων. Βασικό πρόβλημα από την εμφάνιση ζιζανίων είναι η αύξηση του κόστους παραγωγής στον πρωτογενή τομέα γιατί πολλά ζιζάνια είναι ξενιστές εντόμων ή ασθενειών που πρέπει να αντιμετωπισθούν για να μην προσβάλλουν τις καλλιέργειες σε μετέπειτα στάδιο.

Επιπροσθέτως, τα ζιζάνια που αναπτύσσονται σε αρδευτικά και στραγγιστικά κανάλια αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στην οικονομική εκμετάλλευση του νερού. Παρομοίως, τα ζιζάνια σε δρόμους, στις γραμμές των τρένων, στα τηλεφωνικά δίκτυα, στους βιομηχανικούς χώρους και στους χώρους αναψυχής είναι εξίσου ενοχλητικά κι ανεπιθύμητα. Συνεπώς, είναι αναγκαία η αντιμετώπιση των ζιζανίων με χρήση χημικών σκευασμάτων που ονομάζονται ζιζανιοκτόνα.

Η χρήση τους στη συμβατική αλλά και στην ολοκληρωμένη και αειφορική γεωργία είναι εντελώς απαραίτητη για μια ασφαλή, αποτελεσματική και οικονομική γεωργική παραγωγή. Παρόλη την υψηλή ανάγκη χρήσης ζιζανιοκτόνων στον πρωτογενή τομέα, η χρήση τους προκαλεί αρκετά προβλήματα και εγκυμονεί πολλούς κινδύνους.

Γενικά ένα φυτοπροστατευτικό προϊόν και πιο συγκεκριμένα ένα ζιζανιοκτόνο για να χαρακτηριστεί «καλό» πρέπει να έχει κάποιες βασικές προϋποθέσεις και κάποιες



συγκεκριμένες ιδιότητες. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ως αντικείμενο, η ανάλυση των κινδύνων από την χρήση ζιζανιοκτόνων, τίθεται σε προτεραιότητα σε εθνικό επίπεδο σε πολλές χώρες της Ε.Ε αλλά και της Αμερικής και γίνονται συντονισμένες προσπάθειες για την κατανόηση και την πρόληψη των περιβαλλοντικών ρίσκων της χρήσης των ζιζανιοκτόνων και γενικότερα των φυτοφαρμάκων.

Τα ζιζανιοκτόνα έχουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής τους. Μετά την εφαρμογή του, το ζιζανιοκτόνο επηρεάζεται από διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες, από τους οποίους κάποιοι διασπών ή αποσυνθέτουν το ζιζανιοκτόνο και κάποιοι άλλοι το μετακινούν στο έδαφος, στα φυτά ή στην ατμόσφαιρα. Τα ζιζανιοκτόνα ενδέχεται είτε να εφαρμόζονται είτε να μετακινούνται στο έδαφος, στο νερό ή στον αέρα, δημιουργώντας διαφορετικών ειδών προβλήματα σε κάθε μέσο. Έχει βρεθεί ότι επανειλημμένη εφαρμογή ζιζανιοκτόνου μπορεί να δρα αθροιστικά στα υπολείμματά του κι ενδέχεται να περιορίζει και να μειώνει τις αποδόσεις της κανονικής καλλιέργειας. Συμπερασματικά, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τη διάρκεια ζωής των ζιζανιοκτόνων που χρησιμοποιούνται ώστε να αντιμετωπίζεται η υπολειμματική τους δράση. Τέλος η εφαρμογή των ζιζανιοκτόνων προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα στα οικοσυστήματα και κατ' επέκταση στον άνθρωπο.

Η τοξικολογία αφορά τις επιδράσεις των ζιζανιοκτόνων στην υγεία του ανθρώπου. Σε πρώτο στάδιο, κάθε φυτοπροστατευτικό προϊόν ελέγχεται ως προς την τοξικότητα αλλά πραγματοποιούνται και άλλες μελέτες που αφορούν την επίδραση του στο αναπαραγωγικό σύστημα στον άνθρωπο αλλά και σε ζώα, την δυνατότητα πρόκλησης τερατογενέσεων, μεταλλαξιγένεσης αλλά και καρκινογένεσης. Προκειμένου να εγκριθεί η κυκλοφορία κάθε νέου φυτοπροστατευτικού προϊόντος, στην περίπτωση μας ενός νέου ζιζανιοκτόνου τους, πρέπει να πραγματοποιηθεί μια μεγάλη σειρά από ελέγχους δεδομένων ασφαλείας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στην τοξικολογία η επικινδυνότητα ενός ζιζανιοκτόνου εκφράζεται ως συνάρτηση της τοξικότητας του και της έκθεσης του ανθρώπου σε αυτό.

Η οικοτοξικολογία είναι μια νέα σχετικά επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη και την αξιολόγηση των οικολογικών και τοξικολογικών επιδράσεων των διάφορων ουσιών – ρύπων στους πληθυσμούς, στα φυτά, στα ζώα και στα οικοσυστήματα σε συνδυασμό με την πορεία - συμπεριφορά αυτών τους ουσιών στο περιβάλλον. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και Ελληνική Νομοθεσία τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα υφίστανται εμπειριστατωμένο έλεγχο ώστε να διασφαλίζονται τα απαραίτητα κριτήρια και κατόπιν τούτων ακολουθεί η τελική έγκριση, η εμπορία και η χρήση τους.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες για να περιγράψουν τον περιβαλλοντικό κίνδυνο των φυτοφαρμάκων. Οι περισσότεροι από αυτούς τους δείκτες λειτουργούν ως ένα εργαλείο για τους αγρότες και τους συμβούλους προκειμένου να επιλέγονται τα φυτοφάρμακα με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δείκτες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τις χημικές ιδιότητες των φυτοφαρμάκων, τους παράγοντες εφαρμογής τους καθώς και τις συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν κατά την εφαρμογή των φυτοφαρμάκων.

Για μια συνολική ανάλυση και εκτίμηση των επιπτώσεων των ζιζανιοκτόνων προς τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο, αλλά και για τη μείωση της σχετικής επιβάρυνσης, απαιτείται η ανάλυση του κύκλου ζωής των σχετικών προϊόντων.

Για την επιτυχή εκτίμηση των επιπτώσεων ενός φυτοφαρμάκου και κατ' επέκταση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) απαιτείται:

1. Το χρονικό πεδίο της ανάλυσης να έχει μεγάλη διάρκεια.
2. Το γεωγραφικό πεδίο της ανάλυσης να έχει παγκόσμια χαρακτηριστικά.
3. Η ανάλυση να επεκταθεί στο σύνολο των επιπτώσεων καθώς οι τοξικολογικές επιδράσεις αντιπροσωπεύουν μόνο μια πτυχή των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, και η εστίαση μόνο σε αυτές οδηγεί ορισμένες φορές σε ελλιπή αποτελέσματα και συμπεράσματα.
4. Παράγοντες όπως, η πορεία των χημικών ουσιών, η αντίστοιχη έκθεση στο περιβάλλον και τα μοντέλα εκπομπών που χρησιμοποιούνται στην AKZ, να αναλύονται με απλό ακριβή και κατανοητό τρόπο.

Η μοντελοποίηση της πορείας των δραστικών ουσιών καθώς και των μοντέλων έκθεσης στο περιβάλλον παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες λόγω της πολυπλοκότητας των μηχανισμών και της αλληλεπίδρασης παραγόντων που επιδρούν σε αυτή. Επιπροσθέτως, λόγω του μεγάλου αριθμού των χημικών ουσιών που περιλαμβάνονται και συνεισφέρουν κατά την διαδικασία της AKZ, τα αντίστοιχα δεδομένα καθιστούν την διαδικασία πολύπλοκη και ταυτοχρόνως χρονικά και οικονομικά δαπανηρή.

Από την συγκριτική ανάλυση μεταξύ των εφαρμοζόμενων μοντέλων προκύπτει ότι ο σχεδιασμός του συνόλου των μοντέλων βασίζεται στις αρχές της AKZ και εστιάζει κυρίως στο στάδιο εκτίμησης των επιπτώσεων. Το σύνολο των μοντέλων περιέχει περιορισμούς όπου είναι τα όρια των εκάστοτε συστημάτων. Το σύνολο των μοντέλων απαιτούν την εισαγωγή σημαντικού όγκου δεδομένων ο οποίος είναι δύσκολο να συλλεχθεί και αυτό ορισμένες φορές τα καθιστά μη λειτουργικά.

Εξειδικεύοντας την ανάλυση ανάμεσα στα μοντέλα PestLCI και p-EMA προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα. Καταρχάς, στα μοντέλα PestLCI και p-EMA απαιτούνται δεδομένα εισαγωγής από τον χρήστη όπως η περιοχή του χωραφιού, ο χρόνος εφαρμογής του φυτοφαρμάκου και οι κλιματικές συνθήκες.

Η σπονδυλωτή δομή του μοντέλου PestLCI παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- Τεχνολογική λειτουργικότητα και δυνατότητες ενημερώσεων,
- Εφαρμογή σε συγκεκριμένες γεωγραφικές συνθήκες και
- Διευκόλυνση μέσω παράκαμψης ορισμένων διαδικασιών του μοντέλου σε περίπτωση υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα.

Το μοντέλο PestLCI σε σχέση με το μοντέλο p-EMA περιέχει βέλτιστους τρόπους εφαρμογής των φυτοφαρμάκων από τους γεωργούς, παραθέτοντας συγκεκριμένες επιλογές.

Το μοντέλο p-EMA, σε σχέση με το μοντέλο PestLCI χρησιμοποιεί κατά τον σχεδιασμό του συγκεκριμένες ιδιότητες των φυτοφαρμάκων για τον υπολογισμό των προβλεπόμενων περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων, οι οποίες είναι:

- Συντελεστής κατανομής οργανικού άνθρακα εδάφους/νερού ( $K_{oc}$ )
- Χρόνος ημιζωής για την αποικοδόμηση στο έδαφος ( $DT_{50}$ )
- Χρόνος ημιζωής για υδατικά φωτόλυση, ουδέτερη υδρόλυση
- Διάχυσης από την υδατική φάση του συστήματος νερού-ιζήματος.

Το μοντέλο PestLCI είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει την δυνατότητα να προβλέπει τις εκπομπές μέρους των φυτοφαρμάκων στον αέρα και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Αντίστοιχα, το μοντέλο p-EMA εστιάζει στους υπολογισμούς των περιβαλλοντικών συνεπειών στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα αλλά και στο έδαφος.

Το μοντέλο PestLCI μπορεί να προσαρμοστεί στις συνθήκες οποιασδήποτε άλλης χώρας, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Συνεπώς, είναι πολύ πιθανό σε πολλές χώρες να είναι εφικτή η επιτόπια εκτίμηση των ποσών των φυτοφαρμάκων που εισέρχονται στο περιβάλλον. Στα πλαίσια της Ανάλυσης/Εκτίμησης του Κύκλου Ζωής, απαιτείται η συλλογή πολλών δεδομένων για τα χαρακτηριστικά του εδάφους ώστε να μπορούν να εξηγηθούν ακριβώς όλες αυτές οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο έδαφος. Γι' αυτόν τον λόγο, στο μοντέλο PestLCI λαμβάνονται υπόψη κάποιες υποθέσεις, βάσει των οποίων αυτές οι διαδικασίες γενικεύονται, και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα οι μέσοι όροι των συνθηκών. Η επιτυχία του μοντέλου PestLCI έγκειται στην πιστή εφαρμογή από τους γεωργούς των οδηγιών του, αλλιώς το μοντέλο μπορεί να οδηγηθεί σε άστοχες εκτιμήσεις.

Η στόχευση του μοντέλου p-EMA, αντίστοιχα, έγκειται στον σχεδιασμό και στην υιοθέτηση των τρεχουσών ρυθμιστικών πρακτικών και όχι στην ανάπτυξη και αξιολόγηση εναλλακτικών διαδικασιών. Αυτό εξασφαλίζει ότι το μοντέλο p-EMA διασφαλίζει την κανονιστική διαδικασία λήψης αποφάσεων και ελέγχου που αφορούν όλες τις δραστηριότητες διαχείρισης της βιομηχανίας.

Συνεχίζοντας την συγκριτική ανάλυση των μοντέλων αναφέρουμε ότι τα μοντέλα USEtox και USES-LCA 2.0 αφορούν στην εκτίμηση επιπτώσεων για ένα ευρύτερο σύνολο χημικών ουσιών όπου φυσικά συμπεριλαμβάνονται και τα φυτοφάρμακα. Τα δύο αυτά μοντέλα εστιάζουν στην ανάλυση των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου κι ειδικότερα αναλύονται παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση ή μη καρκίνου αλλά και αντικαρκινικοί δείκτες.

Συγκρίνοντας το μοντέλο USEtox με το μοντέλο USES-LCA, παρατηρείται ότι στο μοντέλο USES-LCA εξετάζονται επιπρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- οι παράγοντες χαρακτηρισμού του τελικού σημείου υπολογίζονται μετά τους παράγοντες χαρακτηρισμού μεσαίου επιπέδου (midpoint),
- οι υπολογισμοί των οικοτοξικοτήτων για το γλυκό νερό, το θαλασσινό νερό και για τα χερσαία οικοσυστήματα και

- η δυνατότητα ελέγχου διαφορετικών παραδοχών για διαφορετικά σενάρια μέσω της αλλαγής κάποιων ρυθμίσεων.

Μέσω του μοντέλου USES-LCA 2.0 μπορεί να εκτιμηθεί επίσης η τοξικότητα στο περιβάλλον καθώς κι ο συνολικός οικοτοξικολογικός παράγοντας.

Σε ό,τι αφορά το μοντέλο USEtox παρατηρούνται κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί που αφορούν στα ελλιπή δεδομένα που σχετίζονται με:

- τα ποσοστά μεταφοράς των χημικών ουσιών στο κρέας και στο γάλα,
- τους παράγοντες βιοσυγκέντρωσης για τα ψάρια,
- τους ρυθμούς χημικής αποικοδόμησης και
- την υγεία του ανθρώπου με βάση δεδομένα οικοτοξικολογικής επίδρασης.

Επίσης μειονέκτημα του μοντέλου USEtox αποτελεί η επιλογή μηδενισμού του ανθρώπινου παράγοντα επίδρασης σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την τοξικότητα των χημικών ουσιών στον άνθρωπο.

Μια συνολική αξιολόγηση του μοντέλου USEtox οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Η έλλειψη δεδομένων και γνώσης θέτει περιορισμούς στη χρήση, στην ερμηνεία του μοντέλου και των αποτελεσμάτων του.
- Δεν περιέχει την αξιολόγηση του αέρα σε εσωτερικούς χώρους αλλά και δερματικής έκθεσης του ανθρώπου.
- Η διαθεσιμότητα των δεδομένων αποτελεί περιοριστικό παράγοντα κυρίως για τα δεδομένα που σχετίζονται με την ανθρώπινη τοξικότητα, την οικοτοξικότητα, την μεταφορά και την υποβάθμιση.
- Περαιτέρω έρευνα πρέπει να διεξαχθεί προκειμένου να βελτιωθεί η αντίστοιχη βάση δεδομένων και να γεφυρώσει αυτό το χάσμα δεδομένων.

Ολοκληρώνοντας, συμπεραίνουμε ότι όταν τα μοντέλα αξιολόγησης της έκθεσης των φυτοφαρμάκων συνδυάζονται με οικοτοξικολογικές πληροφορίες, τότε υπάρχει η δυνατότητα να παρέχεται ένα σύστημα πιο αποτελεσματικό που να αντικαθιστά τις προηγούμενες προσεγγίσεις βάσει της επικινδυνότητας για την αξιολόγηση φυτοφαρμάκων. Επιπροσθέτως, υπάρχει η ανάγκη για εύρεση και εφαρμογή εργαλείων που δρουν συμπληρωματικά με την νομοθεσία και τις ανάγκες στον αγροτικό τομέα. Όλα τα παραπάνω εφόσον ερευνηθούν, αναπτυχθούν και εφαρμοστούν αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά τις πρωτοβουλίες που αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ενέχουν τα φυτοφάρμακα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

## BIBLIOGRAFIA

- Beitz J., Schmidt H., Herzell F. (1994). Occurrence, Toxicological and Ecotoxicological Significance of Pesticides in Groundwater and Surface Water, In Pesticides in Ground and Surface Water, V 9, ed H. Borner.
- Birkved M., Hauschild M. (2006). PestLCI - A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. *Ecological Modeling* 198. 433-451.
- Boland, D., Leendertse, P.C., (1999). Minder bestrijdingsmiddelen de lucht in—maatregelen in praktijkenbeleid. Centre for Agriculture and Environment, Utrecht.
- Borner H. (1994). Pesticides in ground and surface water. *Chemistry of Plant Protection*, Springer-Verlag, NY — In.
- Brown C.D., Hart A., Lewis K.A., IDubus I.G. (2003). p-EMA (I): simulating the environmental fate of pesticides for a farm-level risk assessment system. *Agronomie* 23: 67-74.
- Charizopoulos, E. and Papadopoulou-Mourkidou, E. (1999). Occurrence of pesticides in rain of the Axios River Basin, Greece. *Environmental Science & Technology*, 33: 2363-2368.
- Ciambrone D. F. (1997) *Environmental Life Cycle Analysis*, Boca Raton: Lewis Publishers.
- Falconer, K., (1998). Classification of pesticides according to environmental impact. Centre for Rural Economy, University of Newcastle-Upon-Tyne, Newcastle.
- Forbes VE., Forbes TL. (1994). *Ecotoxicology in Theory and Practice*. Chapman & Hall, London.
- Goedkoop M., Heijungs R., Huijbregts M., Schryver A., Struijs J., Zelm R. (2013). *ReCiPe 2008, First edition (revised), Report I: Characterization*
- Goedkoop, M., Spriensma, R. (PRé Consultants) (1999). *The Eco-Indicator 99: A damage orientated method for life cycle impact assessment*, VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Netherlands.
- Guinee J. B., Gorree M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., De Koning A., Van Oers L., Sleswijk A. W., Suh S., Ude de Haes H. A., De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M. A. J. (2001) *Life Cycle Assessment: An Operational Guide to the ISO Standards*, Final report, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), and Centre of Environmental Science – Leiden University (CML), The Netherlands.
- Hart, A., (1997). Key characteristics of pesticide risk indicators used as policy tools: a comparison of 11 indicators. In: *OECD Workshop on Pesticide Risk Indicators*, Copenhagen, April 21–23, 1997.

Hauschild, M., (2000). Estimating pesticide emissions for LCA of agricultural products. In: Weidema, B.P., Meeusen, M.J.G. (Eds.), *Agricultural Data for Life Cycle Assessments*, vol. 2 Agricultural Economics Research Institute (LEI), The Hague, pp. 64-79, ISBN 90-5242-563-9, Report no 2.00.01.

Hauschild, M., (2005). Assessing environmental impacts in a life cycle perspective. *Environ. Sci. Technol.* 39 (4), 81A-88A.

Heijungs R, Guinée JB, Huppes G, Lankreijer RM, Udo de Haes HA, Wegner Sleswijk A, Ansems AMM, Eggels PG, van Duin R, Goede AP (1992). *Environmental life cycle assessment of products*. Centre of Environmental Sciences, Leiden, The Netherlands.

Hendriks AJ, Heikens A, (2001). The power of size. 2. Rate constants and equilibrium ratios for accumulation of inorganic substances related to species weight. *Environ ToxicolChem* 20:1421–1437.

Huijbregts MAJ, Rombouts LJA, Ragas AMJ, Van de Meent D., (2005). Human-toxicological effect and damage factors for lifecycle impact assessment of carcinogenic and noncarcinogenic chemicals. *Integr Environ Assess Man* 3:181–244.

Huijbregts MAJ, Struijs J, Goedkoop M, Heijungs R, Hendriks AJ, Van de Meent D (2005) Human population intake fractions and environmental fate factors of toxic pollutants in life cycle impact assessment. *Chemosphere* 61:1495–1504.

Huijbregts MAJ, Thissen U, Guinée JB, Jager T, Kalf D, VandeMeent D, Ragas AMJ, Wegener Sleswijk A, Reijnders L (2000) Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I—calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USESLCA. *Chemosphere* 41:541–573.

Illinois Pest Control Handbook, WSSA Handbook, 2002.

ISO (1997) ISO 14042: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment. International Standards Organization, Geneva.

ISO (2006) ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Standards Organization, Geneva.

Jolliet O., Hauschild M., (2005). Modeling the influence of intermittent rain events on long-term fate and transport of organic air pollutants. *Environ Sci Technol* 39:4513–4522.

Jones R.L., Harris G.L., Catt J.A., Bromilow R.H., Mason D.J., Arnold D.J., (1995). Management practices for reducing movement of pesticides to surface waters in cracking clay soils, *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference 2, 1995*, pp. 489–498.

LCD-FOOD (2004). Life Cycle Assessment of Basic Food (LCA) - Project Website. LCA-FOOD, Denmark, Web-site available at <http://www.lcafood.dk/default.asp>.

Levitan, L., (1997). An overview of pesticide impact and risk assessment systems. In: OECD Workshop on Pesticide Risk Indicators, Copenhagen, April 21–23, 1997.

Lewis K.A., Brown C.D., Hart A., Tzilvakis J., (2003). p-EMA (III): overview and evaluation of a software system designed to assess the environmental risk of agricultural pesticides, *Agronomie* 23: 85–96.

Ligthart TN (2004). Declaration of Apeldoorn on LCIA of non-ferro metals. SETAC Globe 5:46–47.

Lindfors L.G., Christiansen K., Hoffmann L., Virtanen Y., Juntilla V., Hanssen OJ, Ronning A., Ekvall T., Finnveden G. (1995). Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment. Nord: 1995:20. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

Mackay D, Seth R (1999). The role of mass balance modelling in impact assessment and pollution prevention. In: Sikdar SK, Diweakar U (eds) Tools and methods for pollution prevention. Kluwer, The Netherlands, pp 157–179.

McGeerJC, BrixKV, Skeaff JM, DeForest DK, Brigham SI, AdamsWJ, Green A (2003). Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. *Environ Toxicol Chem* 22:1017–1037

Morselli L., Robertis C., Luzi J., Passarini F., Vassura I. (2008). Environmental impacts of waste incineration in a regional system evaluated from a life perspective, *Journal of hazardous materials* 159: 505-511.

Reus J., Leendertse P., Bockstaller C., Fomsgaard I., Gutsche V., Lewis K., Nilsson C., Pussemier L., Trevisan M., Van der Werf H., Alfarroba F., Blumel S., Isart J., McGrath D., Seppala T. (2002). Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 177-187.

Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., van der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T., (1999). Comparing environmental risk indicators for pesticides—results of the European CAPER project. Centre for Agriculture and Environment, Utrecht.

Rosenbaum RK, Bachmann TM, Swirsky Gold L, Huijbregts MAJ, Jolliet O, Juraske R, Koehler A, Larsen HF, Macleod M, Margni M, McKone TE, Payet J, Schuhmacher M, VandeMeent D, Hauschild MZ (2008). USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. *Int J Life Cycle Assess* 13:532–546.

Rosenbaum RK., Bachmann T., Gold S., Huijbregts M., Jolliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H., MacLeod M., Margni M., McKone T., Payet J., Schuhmacher M., Meent D., Hauschild M. (2008). USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity

in the life cycle impact assessment. *IntJLifeCycleAssess* DOI 10.1007/s11367-008-0038-4.

Stewart M., Jolliet O. (2004). User analysis and development of priorities for life cycle impact assessment. *InternationalJournalofLCA* 9 (3):153-160.

Tilche A., Galatola M. (2008). Life cycle assessment in the European seventh framework programme for research (2007-2013). *International Journal of LCA* 13 (2):167.

UNEP/SETAC (2004). Why take a life cycle approach. Life Cycle Initiative, [www.lifecycleinitiative.org](http://www.lifecycleinitiative.org)

Van de Meent D, Huijbregts MAJ (2005). Calculating life-cycle assessment effect factors from potentially affected fractionbased ecotoxicological response functions. *Environ ToxicolChem* 24:1573–1578

Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Harbers JV, Wintersen A, Struijs J, Posthuma L, Van de Meent D (2007) Uncertainty in msPAF-based ecotoxicological effect factors for freshwater ecosystems in life cycle impact assessment. *Integr EnvironAssessManage* 3:203–210.

Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Posthuma L, Wintersen A, Van de Meent D (2009). Pesticide ecotoxicological effect factors and their uncertainties for freshwater ecosystems. *Int J Life Cycle Assess* 14:43–51.

Van Zelm R, Huijbregts MAJ, Van de Meent D (2009). USES-LCA 2.0 – A global nested multi-media fate, exposure, and effects model. *IntJLifeCycleAssess* 14:282-284.

VanderWerf, H.M.G., (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 60, 81–96.

Vermeire T, Rikken M, Attias L, Boccardi P, Boeije G, Brooke D, De Bruijn J, Comber M, Dolan B, Fischer S, Heinemeyer G, Koch V, Lijzen J, Müller B, Murray-Smith R, Tadeo J (2005). European Union system for the evaluation of substances: the second version. *Chemosphere* 59:473–485.

Διακάκη Χ., Γρηγορούδης Ε. (2008). Ανάλυση του κύκλου ζωής (AKZ): ένα εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των φυσικών πόρων. Φυσικοί πόροι, περιβάλλον και ανάπτυξη. Εκδόσεις Τζιόλα.

Ζιώγας Β., Μαρκόγλου Α., (2010). Γεωργική Φαρμακολογία. Βιοχημεία, Φυσιολογία, Μηχανισμοί Δράσης και Χρήσεις των Φυτοπροστατευτικών Προϊόντων, Ελληνικής έκδοσης, Αθήνα

Λόλας Π., (2003). Ζιζανιολογία. Ζιζάνια – Ζιζανιοκτόνα. Τύχη και Συμπεριφορά στο Περιβάλλον, Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία,?

Μάντζου Γ., Μπενέτου Π., Χαρίτου Α., (2006). Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. <http://www.gcex.gr/wp-content/uploads/2012/02/LCA-web.pdf>