

## **WP8 Ανάλυση Κύκλου Ζωής του συγκεκριμένου υποδείγματος διαχείρισης και σύγκριση του με την υπάρχουσα δομή διαχείρισης στην Ελλάδα**

### **D.8.1 Ανάλυση κύκλου ζωής**

Στο παραδοτέο αυτό περιγράφεται η μέθοδος ανάλυσης του κύκλου ζωής των δύο σεναρίων όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο WP7 (D7.1), τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη όπως προκύπτουν από τη χρήση της, ο τρόπος λειτουργίας της και οι διάφορες επιπτώσεις εφαρμογής της.

#### **Γενικά**

Η μέθοδος Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) ορίζεται από τον οργανισμό United States Environmental Protection Agency (US EPA), ως μέθοδος αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Ο όρος «προϊόν» περιλαμβάνει τόσο φυσικά αγαθά, διεργασίες όσο και υπηρεσίες σε λειτουργικό και στρατηγικό επίπεδο. Το εργαλείο αυτό δεν έχει ως στόχο τη σύγκριση των προϊόντων, αλλά τη παρεχόμενη λειτουργία αυτών. Η ολιστική προσέγγιση του κύκλου ζωής περιλαμβάνει τα προϊόντα και τις επιμέρους διαδικασίες από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως και τη τελική τους διάθεση. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχει η δυνατότητα ποιοτικού και ποσοτικού εντοπισμού των ευκαιριών και κινδύνων - ρυπογόνων και ενεργοβόρων – σε κάθε στάδιο και τη πιθανή μελλοντική βελτίωσή τους.

Σύμφωνα με τον Guinee (2010) πρόκειται για μία ευέλικτη τεχνική ποσοτικοποίησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ενός προϊόντος. Στόχος είναι η επιλογή του καλύτερου προϊόντος όσον αφορά τις επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο, σε συνάρτηση με το δυναμικό παραγωγής ενέργειας. Επιπρόσθετα, συμβάλλει στην ανάπτυξη νέων καινοτόμων προϊόντων ή διεργασιών, όπου παρατηρείται επιπρόσθετη μείωση των πρώτων υλών και των εκπομπών.

Η προσέγγιση κύκλου ζωής καθίσταται απαραίτητη στη μελέτη της βιωσιμότητας πολιτικών και βιομηχανικών αποφάσεων σύμφωνα με τη Αξιολόγηση Βιωσιμότητας των Τεχνολογιών (Sustainability Assessment of Technologies, SAT), ιδιαίτερα αναδυόμενων τεχνολογιών.

#### **Στάδια μεθοδολογίας ΑΚΖ**

Το μεθοδολογικό πλαίσιο μίας ανάλυσης ΑΚΖ αναλύεται στις επόμενες παραγράφους. Η ΑΚΖ περιγράφεται από τέσσερα στάδια σύμφωνα με πρότυπο ISO14044, όπως φαίνεται στο Σχήμα 117. Τα διπλά βέλη οφείλονται στην αλληλεπιδραστική φύση της μεθόδου.

Τα τέσσερα βασικά στάδια:

##### **I. Καθορισμός στόχου και οριοθέτηση του πεδίου εφαρμογής**

Καθορισμός και περιγραφή του προϊόντος, της διαδικασίας ή της δραστηριότητας, δημιουργία του πλαισίου στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση και προσδιορισμός των ορίων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση.

## II. Απογραφή, καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής (Life Cycle Inventory, LCI)

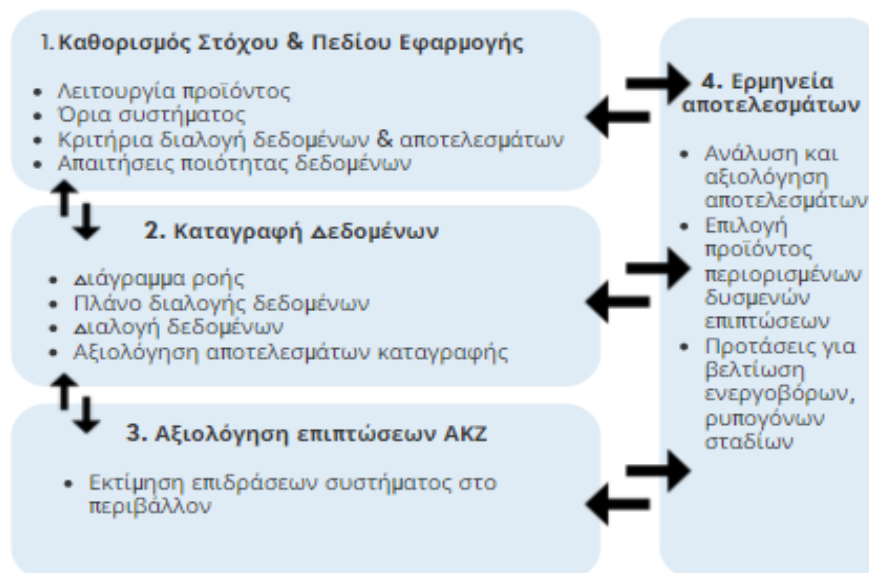
Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση ενέργειας, νερού και κατανάλωσης πρώτων υλών, καθώς και εκλύσεων στο περιβάλλον όπως εκπομπές αερίων, στερεά απόβλητα και λύματα.

## III. Αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)

Εκτίμηση των επιδράσεων του συστήματος, όπως αυτά έχουν προσδιοριστεί στο προηγούμενο βήμα, στο περιβάλλον.

## IV. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με στόχο την επιλογή του προϊόντος, της διαδικασίας ή της υπηρεσίας που θα οδηγήσει σε περιορισμό των επιδράσεων του συστήματος στο περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα και τις παραδοχές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των αποτελεσμάτων (ISO 14040-44).



Σχήμα 117 Στάδια ΑΚΖ [Τροποποίηση από ISO 14044, 2006]

### Καθορισμός στόχου και οριοθέτηση του πεδίου εφαρμογής

Το πρώτο στάδιο μίας ΑΚΖ περιλαμβάνει τον καθορισμό του σκοπού και του πεδίου εφαρμογής. Ο σκοπός και το πεδίο εφαρμογής της ΑΚΖ δεν αποτελούν στατικά δεδομένα. Υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης τους σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι τα αρχικά δεδομένα δεν είναι βέλτιστα για συγκεκριμένο σενάριο.

Πιο αναλυτικά στην αρχή της LCA πρέπει να λαμβάνονται οι παρακάτω αποφάσεις:

- Στόχος μελέτης
- Πλαίσιο εφαρμογής (ερωτήματα που θα απαντηθούν, κοινό στο οποίο απευθύνεται)

- Τύπος & ακρίβεια πληροφοριών που απαιτείται για τη διευκόλυνση λήψης αποφάσεων (ποιότητα, ποσότητα, ακρίβεια)
- Όρια συστήματος
- Κανόνες για την εκτέλεση της μελέτης (υποθέσεις, περιορισμοί)
- Τρόπος οργάνωσης των δεδομένων και εμφάνισης των αποτελεσμάτων

### **Στόχος LCA**

Ανάλυση των παραπάνω, η διερεύνηση του φάσματος περιβαλλοντικών επιπτώσεων & νέα προϊόντα/τεχνολογίες με μείωση των απαιτούμενων πόρων και ρύπων προς το περιβάλλον

### **Πλαίσιο Εφαρμογής**

Το πλαίσιο εφαρμογής περιλαμβάνει τις σημαντικότερες μεθοδολογικές επιλογές, περιορισμούς και υποθέσεις που αφορούν τα ακόλουθα:

#### **Λειτουργία, λειτουργική μονάδα και ροή αναφοράς**

Η λειτουργία των προϊόντων προς μελέτη είναι πολλές φορές δύσκολο να οριοθετηθεί. Επιπλέον, η σύγκριση προϊόντων με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά αποδεικνύεται αβασίμη. Για το λόγο αυτό, ορίζεται η λειτουργική μονάδα ως η κοινή βάση αναφοράς (functional unit) για τη σύγκριση συστημάτων και εναλλακτικών λύσεων προς την επιτυχή μελέτη τους. Στον ορισμό της λαμβάνονται υπόψη η ωφέλιμη διάρκεια ζωής, το πρότυπο επίδοσης ποιότητας (performance quality standard) και η αποδοτικότητα του προϊόντος.

#### **Όρια συστήματος**

Ο πλήρης και ακριβής καθορισμός των εισροών και εκροών ενός συστήματος είναι αδύνατος. Επομένως, τίθενται όρια συστήματος κατάλληλα για την εκάστοτε μελέτη, προσδιορίζοντας ορισμένα στάδια, διαδικασίες και αντίστοιχες ροές, όπως:

- απόκτηση πρώτων υλών
- ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα και θερμότητα προς χρήση
- μεταφορά
- τελική διάθεση αποβλήτων
- ανάκτηση χρησιμοποιημένων προϊόντων

Σημαντικό είναι να αναφερθεί η πιθανότητα στρέβλωσης των αποτελεσμάτων λόγω ανεπαρκούς οριοθέτησης.

#### **Κριτήρια διαλογής δεδομένων και αποτελεσμάτων**

Κατόπιν επιλογής ορίων συστήματος, απαιτείται η επιλογή τέτοιων δεδομένων εισόδου και εξόδου συστήματος, χρήσιμα για τη μελέτη.

Τα παραπάνω δεδομένα πρέπει να είναι συγκεκριμένου τύπου, πληρότητας, συνοχής και επαναληψιμότητας. Η ποιότητα τους θα αντικατοπτρίζεται στα τελικά αποτελέσματα της ΑΚΖ. Συνεπώς, η ποιότητα τους οφείλει να χαρακτηρίζεται τόσο από ποσοτικές και ποιοτικές

παραμέτρους, όσο και από μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή και την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων (ISO 14044).

### **Καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής**

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τη καταγραφή δεδομένων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και συντελείται σε τέσσερα επιμέρους βήματα. Η διαδικασία καταγραφής είναι επαναληπτική. Όσο συλλέγονται νέα, πιο έγκυρα δεδομένα για το σύστημα, υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης νέων απαιτήσεων ή περιορισμών που απαιτούν επαναξιολόγηση των ορίων του συστήματος ή των στόχων που έχουν τεθεί.

Η καταγραφή των δεδομένων εισόδου και εξόδου του συστήματος παρουσιάζονται ως διάγραμμα ροής, συνδυάζοντας τις απαραίτητες ενδιάμεσες διεργασίες προς ολοκληρωμένη απεικόνιση του κύκλου ζωής.

Πολλές φορές τα πολύπλοκα συστήματα καθίστανται δύσκολα στην απεικόνιση και στη διαλογή των δεδομένων. Αποδίδουν, βέβαια, πιο ακριβή και χρηστικά αποτελέσματα χάρη στη λεπτομερή ανάλυση τους. Τα πολύπλοκα συστήματα θα πρέπει να αναλύονται σε μία σειρά υποσυστημάτων, το κάθε υποσύστημα σύμφωνα με την EPA, (EPA, 2006) είναι «ένα μοναδικό βήμα ή μία διαδικασία που αποτελεί μέρος του συστήματος που έχει ήδη οριστεί». (Ρουμελιώτη, 2013)

Για κάθε υποσύστημα πρέπει να καθορίζονται οι εισροές πρώτων υλών και ενέργειας, οι εκροές προϊόντων, ατμοσφαιρικών ρύπων, υγρών και στερεών αποβλήτων καθώς και οποιεσδήποτε άλλες εκροές.

Η ΑΚΖ ως εργαλείο ανάλυσης βρίσκεται ακόμα σε στάδιο εξέλιξης και οι κανόνες της μεθοδολογίας δεν είναι αυστηρά καθορισμένοι. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαίος ο ορισμός περιορισμών και παραδοχών κατά τη διεξαγωγή της μελέτης.

### **Εκτίμηση επιπτώσεων του κύκλου ζωής**

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) συμπεριλαμβάνεται στην LCA. Είναι το στάδιο στο οποίο γίνεται η εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δηλαδή των διαφόρων εκπομπών και της εξάντλησης των πόρων. Δημιουργεί μια σύνδεση μεταξύ του προϊόντος ή της διαδικασίας και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το τρίτο στάδιο πρόκειται μία ποσοτική ή/και ποιοτική διαδικασία, σύμφωνα με την οποία χαρακτηρίζονται και ερμηνεύονται οι δυσμενείς συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως αυτές υπολογίστηκαν στο στάδιο της καταγραφής (Guinee et al, 2001). Υλοποιείται με τα εξής βήματα:

- Προσδιορισμός επιπτώσεων – Προσδιορισμός των σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του προς μελέτη προϊόντος και κατηγοριοποίηση τους (πχ. υπερθέρμανση πλανήτη, τοξικότητα)
- Κατηγοριοποίηση – Διαχωρισμός των αποτελεσμάτων στις διάφορες κατηγορίες (π.χ. την ταξινόμηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην υπερθέρμανση του πλανήτη)

- Χαρακτηρισμός – Μοντελοποίηση των επιπτώσεων στις κατηγορίες επιπτώσεων με χρήση της επιστήμης με βάσει συντελεστές μετατροπής (π.χ. μοντελοποίηση των πιθανών επιπτώσεων του διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου στην υπερθέρμανση του πλανήτη).
- Στάθμιση – Έμφαση στις σημαντικές πιθανές επιπτώσεις.
- Αξιολόγηση και υποβολή εκθέσεων αποτελεσμάτων LCA - Για τη καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων LCA περιλαμβάνονται εκθέσεις και παρουσιάσεις των αποτελεσμάτων σε μορφή πίνακα ή γραφικά.

### **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων**

Κατά το τελευταίο στάδιο της ΑΚΖ, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται ερμηνεύονται κατάλληλα και χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων. Αυτά περιλαμβάνουν δεδομένα για τον εντοπισμό, τον έλεγχο τήρησης των προϋποθέσεων και την αξιολόγηση των συμπερασμάτων, σύμφωνα με το δεδομένα που περιγράφονται στο στόχο και το πεδίο εφαρμογής της μελέτης.

Ο συνδυασμός της αναλυτικής καταγραφής δεδομένων κατά το δεύτερο στάδιο με την ορθή εκτίμηση των επιπτώσεων στο τρίτο, δίνει τη δυνατότητα σφαιρικής οπτικής του προϊόντος. Είναι φανερά τα σημεία που επιδέχονται βελτιώσεις, και πως μπορούν αυτές να εφαρμοστούν.

Όπως έχει προαναφερθεί, η ΑΚΖ αποτελεί μία επαναληπτική διαδικασία. Η ερμηνεία αποτελεσμάτων αφορά δεδομένα και υποθέσεις ενός σεναρίου. Το εξεταζόμενο σύστημα μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τα αποτελέσματα, για την πιο ορθή ερμηνεία του.

Η αξιοπιστία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό α) από τον τρόπο μοντελοποίησης, β) τις υποθέσεις και απλοποιήσεις που χρησιμοποιούνται σε κάθε βήμα της ανάλυσης και γ) την διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων.

### **Λογισμικό SimaPRO**

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η λειτουργία του λογισμικού Αναλύσεων Κύκλου Ζωής, SimaPRO, όπως και η διαδικασία καταγραφής και απογραφής δεδομένων για τη πραγματοποίηση της μελέτης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

### **Εισαγωγή – Λογισμικό SimaPRO 7**

Στη παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται το ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό SimaPRO για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων διάθεσης φωτοβολταϊκών πάνελ στο τέλος κύκλου ζωής τους. Το SimaPRO δίνει τη δυνατότητα μοντελοποίησης του κύκλου ζωής ενός προϊόντος βασισμένη στο ISO 14040-44.

Πρόκειται για ένα εύχρηστο εργαλείο μοντελοποίησης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων ως προς το περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο. Η επιλογή της βάσεις δεδομένων και των μεθοδολογιών βασίζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες επίδρασης και αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

## **Βιβλιοθήκες και βάσεις δεδομένων**

Η εφαρμογή μεθοδολογιών εκτίμησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής βασίζεται στη χρήση βάσεων δεδομένων, οι οποίες παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα απογραφής για τα στάδια των LCI και LCIA. Υπάρχουν διαθέσιμες πολλές τέτοιες βάσεις στο SimaPRO, οι ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι: Ecoinvent, US LSI, ELCD, US Input Output, Swiss Input Output, LCA Food, Industry Data.

Στην εργασία χρησιμοποιείται η διεθνής βάση δεδομένων Ecoinvent, της οποίας η τελευταία έκδοση εμπεριέχει πάνω από 10.000 διαδικασίες, έχει περίπου 4500 χρήστες σε πάνω από 40 χώρες παγκοσμίως ([www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)). Η βάση δεδομένων προέκυψε από τη συνεργασία με ελβετικούς φορείς με στόχο την επικαιροποίηση και ενσωμάτωση διαφόρων βάσεων δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής. Αφορά κυρίως τους τομείς της παροχής ενέργειας (θερμότητα, συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), μεταφορών (αυτοκίνητο, πλοίο, σιδηρόδρομος, αερομεταφορές, σωληνώσεις κ.α.), υλικών (πλαστικά, χημικά, μέταλλα, υλικά δόμησης) και επεξεργασίας αποβλήτων (υγειονομική ταφή, αποτέφρωση και ανακύκλωση) (Huijbregts et al., 2008).

Τα κύρια χαρακτηριστικά της Ecoinvent είναι:

- i. Ευρύ φάσμα δεδομένων σε πολλαπλούς τομείς
- ii. Ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε ποιότητα και ακρίβεια πληροφοριών ως λογαριθμική κατανομή με τυπική απόκλιση
- iii. Ενημέρωση δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα
- iv. Συνεπής εφαρμογή ορίων συστήματος και κατανομής
- v. Ύπαρξη κεφαλαιουχικών αγαθών ως προεπιλογή, για τα συστήματα ενέργειας και μεταφοράς
- vi. Επιμέρους κατηγοριοποίηση των εκπομπών για ορθότερη ανάλυση
- vii. Τακτική ενημέρωση από το Κέντρο Ecoinvent (Ecoinvent Center)

Όλες οι διαδικασίες έχουν τη δυνατότητα να παρουσιαστούν σε δύο μορφές: ως μοναδιαίες διαδικασίες ή ως συστήματα διαδικασιών. Η πρώτη εκδοχή παρουσιάζει μόνο τις εισροές πόρων και τις εκπομπές από μία διαδικασία. Η επιλογή της κατά τη μοντελοποίηση ισοδυναμεί με αυτόματη ενσωμάτωση όλων των εκπομπών των ανάντη διαδικασιών. Η δεύτερη μορφή λειτουργεί σαν ένα «μαύρο κουτί», συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εκπομπές σαν σύνολο και όχι σαν μεμονωμένες διεργασίες. (SimaPRO Manual).

## **Μέθοδος αξιολόγησης IMPACT 2002+**

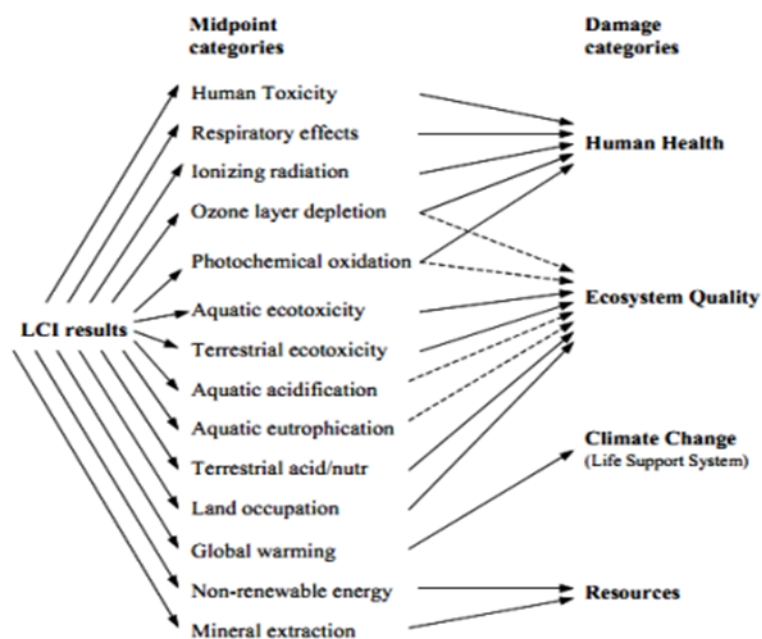
Η μέθοδος IMPACT 2002+ αναπτύχθηκε αρχικά από το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας στη Λοζάνη (Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne – EPFL), και εκσυγχρονίστηκε έπειτα από αλλαγές που διεξήχθησαν από την ίδια ομάδα ερευνητών με βάση τα συστήματα κύκλου ζωής ecointesy (ecointesy-life cycle systems, Lausanne).

Η μέθοδος αξιολόγησης (αλγόριθμος) συνδυάζει τις προσεγγίσεις ενδιάμεσης (Midpoint) και τελικής βλάβης (Damage). Αρχικά, τα αποτελέσματα του αποθέματος LCI μεταφράζονται σε δεκατέσσερις ενδιάμεσες κατηγορίες αντίκτυπου με παρόμοιες επιπτώσεις. Στη συνέχεια, οι ενδιάμεσες κατηγορίες ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες βλαβών μέσω δεκατεσσάρων ενδιάμεσων κατηγοριών (Σχήμα 118, Jolliet et al. 2016)

Η απεικόνιση κάθε τόξου συμβολίζει ένα μονοπάτι επίδρασης, ενώ το διακεκομμένο τόξο φανερώνει τα λιγότερο βέβαια μονοπάτια μεταξύ ενδιάμεσου δείκτη και τελικού επιπέδου βλάβης.

Οι δείκτες κατηγοριοποιούνται βάσει του επιπέδου στο οποίο ανήκουν, στους «ενδιάμεσους» (midpoint) και «τελικούς» (endpoint).

Ένας «ενδιάμεσος δείκτης» χαρακτηρίζει τις βασικές ροές του συστήματος και περιβαλλοντικές παρεμβάσεις που συμβάλλουν στην ίδια τελική επίδραση. Ο χαρακτηρισμός αυτός οφείλεται στην ενδιάμεση σχέση της επίδρασης στην αλυσίδα αίτιου-αποτελέσματος. Με αυτή την ομαδοποίηση, ελαχιστοποιείται η πολυπλοκότητα της μοντελοποίησης της ΑΚΖ.



Σχήμα 118 Γενική δομή του πλαισίου της μεθόδου IMPACT 2002+ για την αξιολόγηση των επιπτώσεων [Τροποποίηση από Jolliet, O. et al (2016)]

### Τελικοί δείκτες (Endpoint)

Στο σημείο αυτό αξιολογείται η συνεισφορά κάθε ενδιάμεσης κατηγορίας επιπτώσεων σε έναν ή περισσότερους τελικούς δείκτες. Η μετάβαση αυτή γίνεται μέσω ενός συντελεστή χαρακτηρισμού, διαφορετικό για κάθε κατηγορία τελικών ζημιών.

Οι κατηγορίες τελικής βλάβης είναι οι ακόλουθες:

- **Βλάβη στην ανθρώπινη υγεία**

Η αξιολόγηση της τελικής βλάβης στην ανθρώπινη υγεία εφαρμόζει την ιδέα των «σταθμισμένα λόγω αναπηρίας έτη ζωής» (disability adjusted life years, DALY). Μέτρο σύγκρισης αποτελεί η ιδανική κατάσταση, όπου ο πληθυσμός ζει έως προχωρημένη ηλικία χωρίς νόσο ή/και αναπηρία (Simapro, 2008). Ο όρος αναφέρεται στη διαφορά του μέτρου των συνολικών ετών ζωής που χάνονται λόγω πρόωρης θνησιμότητας και αναπηρίας σε σχέση με το μέτρο σύγκρισης σε συγκεκριμένη περιοχή και

χρονικό ορίζοντα. Η αξιολόγηση DALY καθιστά αντιληπτή την επίδραση των εκπομπών κύκλου ζωής στην ανθρώπινη υγεία μέσω παγκόσμιων μέσων όρων.

- **Βλάβη στη ποιότητα του οικοσυστήματος**

Η ποιότητα του οικοσυστήματος μπορεί να περιγραφεί σε όρους ενέργειας, ύλης και ροής πληροφοριών. Ως «υψηλής ποιότητας» χαρακτηρίζονται τα οικοσυστήματα όπου οι ροές δεν διακόπτονται λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η ζημία που προκαλείται στο οικοσύστημα μετριέται σε PDF (potentially disappeared fraction of species), εκφράζοντας τα είδη που έχουν εξαφανιστεί σε ένα τετραγωνικό μέτρο (m<sup>2</sup>) γης σε χρονικό διάστημα ενός έτους (PDF m<sup>2</sup> yr/pers/yr) (Kolotzek, S. et al. (2018)).

- **Βλάβη στη κλιματική αλλαγή**

Η τελική βλάβη στη κλιματική αλλαγή είναι αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η μέθοδος IMPACT2002+ χρησιμοποιεί σαν χρονικό ορίζοντα τα 500 έτη για τον υπολογισμό του παρακάτω συντελεστή. Το αποτέλεσμα προκύπτει από το άθροισμα όλων των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, κ.λπ.), οι οποίες μπορούν να εκφραστούν ως ισοδύναμες εκπομπές CO<sub>2</sub>, με βάση το πόσο συνεισφέρει 1 kg αερίων ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με 1 kg CO<sub>2</sub>.

- **Βλάβη στη διαθεσιμότητα πόρων**

Η σταδιακή εξάντληση πόρων είναι αποτέλεσμα ταχύτατης κατανάλωσης ανανεώσιμων και μη φυσικών πόρων προτού ανακτηθούν. Η μειωμένη διαθεσιμότητά τους προκαλεί αλυσιδωτά την αύξηση του κόστους εξόρυξης. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία IMPACT2002+, αξιολογείται ο τρόπος που η γεωλογική κατανομή ορυκτών πόρων και καυσίμων επηρεάζει τις προσπάθειες εξόρυξης μελλοντικών πόρων.

## **Ενδιάμεσοι δείκτες (Endpoint)**

Οι εξεταζόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις τελικής βλάβης διακρίνονται συνήθως στις ακόλουθες ενδιάμεσες κατηγορίες:

- Ανθρώπινη τοξικότητα (Human Toxicity)
- Αναπνευστικά Προβλήματα, λόγω εκπομπής Οργανικών/μη οργανικών Σωματιδίων (Respiratory effects) στην ατμόσφαιρα.
- Επίδραση της ραδιενεργούς ιονίζουσας ακτινοβολίας (Ionizing Radiation).
- Μείωση της στοιβάδας του όζοντος (Ozone Layer depletion)
- Φωτοχημική οξείδωση (Photochemical oxidation)
- Υδάτινη οικοτοξικότητα (Aquatic ecotoxicity)
- Οικοτοξικότητα εδάφους (Terrestrial ecotoxicity)
- Υδάτινη Οξίνιση (Acidification)
- Ευτροφισμός (Eutrophication)
- Οξίνιση χερσαίου εδάφους (Terrestrial acid/nutrification)
- Επίδραση της μεταβολής των χρήσεων γης ή της κατάληψης εδάφους (Land Use)
- Υπερθέρμανση του πλανήτη (Global warming)
- Απώλεια και χαμηλότερη ποιότητα ορυκτών καυσίμων (Fossil Fuels)
- Απώλεια και χαμηλότερη ποιότητα μεταλλεύματος ή ορυκτού (Mineral extraction).

Οι δείκτες του ενδιάμεσου επιπέδου με της τελικής βλάβης αντιστοιχίζονται στον Πίνακα 58. Με (+) χαρακτηρίζονται τα βέβαια μονοπάτια και με (-) τα λιγότερο βέβαια.



Πίνακας 58 Πίνακας σύνδεσης επιπτώσεων ενδιάμεσου επιπέδου με τελικές βλάβες.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ/ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (MIDPOINT)	ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ	ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ
1. Ανθρώπινη οικοτοξικότητα	+			
2. Αναπνευστικά προβλήματα	+			
3. Ιονίζουσα ακτινοβολία	+			
4. Μείωση στοιβάδας του όζοντος		-		
5. Φωτοχημική οξείδωση	+	-		
6. Υδάτινη οικοτοξικότητα		+		
7. Οικοτοξικότητα εδάφους		+		
8. Υδάτινη οξίνιση		-		
9. Ευτροφισμός		-		
10. Οξίνιση χερσαίου εδάφους		+		
11. Ενασχόληση με τη γη		+		
12. Υπερθέρμανση του πλανήτη				+
13. Μείωση ορυκτών καυσίμων			+	
14. Μείωση ορυκτών πόρων			+	

### Κανονικοποίηση

Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται στο επίπεδο των κατηγοριών βλάβης και τα δεδομένα υπολογίζονται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (Δυτική Ευρώπη). Ο συντελεστής βλάβης που καταγράφεται κανονικοποιείται διαιρώντας τη τιμή της επίδρασης ανά μονάδα εκπομπής με τη συνολική επίδραση όλων των ουσιών της συγκεκριμένης κατηγορίας για την οποία υπάρχουν οι συντελεστές χαρακτηρισμού ανά άτομο, ανά έτος. Συνοπτικά, οι συντελεστές κανονικοποίησης για κάθε τελικό δείκτη φαίνονται στο Πίνακα 59.

Πίνακας 59 Συντελεστές κανονικοποίησης για κάθε κατηγορία τελικής βλάβης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΛΑΒΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ανθρώπινη υγεία	0.068	DALY/άτομο/έτος
Ποιότητα οικοσυστήματος	13700	PDF*m2/άτομο/έτος
Κλιματική αλλαγή	9950	kg CO2/άτομο/έτος
Πόροι	152000	MJ/άτομο/έτος

### Καταγραφή δεδομένων

Στην ενότητα παρουσιάζονται τα εισαγόμενα δεδομένα για την ορθή καταγραφή των σεναρίων στο πρόγραμμα όπως και οι υποθέσεις ή οι περιορισμοί που τέθηκαν. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα δέντρα διεργασιών κάθε περίπτωσης, όπου απεικονίζεται σχηματικά η σύνδεση μεταξύ των διαφόρων διεργασιών ολόκληρου του κύκλου ζωής των σεναρίων.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, πως λόγω της καθολικής χρήσης της αγγλικής γλώσσας από το πρόγραμμα, τα διαγράμματα ροής και τα δέντρα δικτύου είναι κατασκευασμένα στη γλώσσα αυτή.

## Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο εξηγεί πώς λειτουργεί το λογισμικό ανάλυσης κύκλου ζωής SimaPro, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου καταγραφής και απογραφής δεδομένων για την έρευνα των δύο σεναρίων στα πλαίσια του έργου DENOMINATE.

Σε αυτή τη μελέτη, αξιολογούνται τα δύο σενάρια αξιοποίησης του υγρού κλάσματος (condensate) της ξήρανσης των τροφικών υπολειμμάτων καθώς και των υγρών αποβλήτων μιας πόλης 100000 κατοίκων χρησιμοποιώντας το λογισμικό SimaPro. Το SimaPro υποστηρίζει μοντελοποίηση κύκλου ζωής προϊόντος βάσει Εσωτερικού Προτύπου (ISO) 14040 και 14044 (PRé Sustainability, 2021).

Είναι ένα απλό στη χρήση εργαλείο για τη μοντελοποίηση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων όσον αφορά την επιρροή τους στο περιβάλλον. Οι επόμενες παράγραφοι συζητούν τη μεθοδολογία και τις επιλογές βάσεις δεδομένων που γίνονται ανάλογα με συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων.

## Βιβλιοθήκες και Βάσεις δεδομένων

Οι βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή των προσεγγίσεων εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής, επειδή παρέχουν τα δεδομένα απογραφής που απαιτούνται για τα στάδια LCI και LCIA. Οι πιο δημοφιλείς από αυτές τις βάσεις δεδομένων στο Λογισμικό SimaPro είναι οι: Ecoinvent, US LSI, ELCD, US Input Output, Swiss Input Output, LCA Food και Industry Data. Από αυτές μόνο η βάση δεδομένων Ecoinvent και η βάση δεδομένων ELCD επιλέχθηκαν για την παρούσα εργασία.

### Ecoinvent

Σχετικά με την βάση δεδομένων Ecoinvent χρησιμοποιείται περίπου από 4.500 άτομα παγκοσμίως και είναι προσβάσιμη σε περισσότερες από 40 χώρες, ενώ έχει πάνω από 10.000 διαδικασίες στην πιο πρόσφατη έκδοσή της ([www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)). Η βάση δεδομένων δημιουργήθηκε μέσω συνεργασίας με ελβετικούς οργανισμούς με σκοπό την ενημέρωση και τη συνένωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής. Αφορά κυρίως τους ακόλουθους τομείς: επεξεργασία αποβλήτων (υγειονομική ταφή, αποτέφρωση και ανακύκλωση), μεταφορές (αυτοκίνητα, πλοία, σιδηρόδρομοι, αερομεταφορές, αγωγοί κ.λπ.), υλικά και παροχή ενέργειας (θερμότητα, συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) (Mark et al., 2008) ακόμα αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι διεργασίες έχουν τη δυνατότητα να απεικονίζονται με έναν από τους δύο τρόπους: ως συστήματα διεργασιών ή ως μοναδιαίες διεργασίες. Στην αρχική έκδοση, εμφανίζονται μόνο οι εισοδοί και οι έξοδοι μιας διεργασίας. Όταν επιλέγεται κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης, περιλαμβάνονται αυτόματα όλες οι εισροές και οι εκροές της διεργασίας ή όλες οι εκροές και οι εκροές εκπομπών από διεργασίες ανάντη. Η δεύτερη παραλλαγή λειτουργεί σαν ένα "μαύρο κουτί", λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εκπομπές ως σύνολο και όχι ως αποτέλεσμα διακριτών δραστηριοτήτων. (Εγχειρίδιο για το SimaPro) (Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE, 2010).

### ELCD

Όσον αφορά την βάση δεδομένων ELCD εκείνη περιλαμβάνει δεδομένα απογραφής κύκλου ζωής (LCI) για σημαντικά υλικά, πηγές ενέργειας, μεταφορές και διαχείριση αποβλήτων από κορυφαίες βιομηχανικές ενώσεις σε επίπεδο ΕΕ και άλλες πηγές. Αυτά τα σύνολα δεδομένων είναι

αντιπροσωπευτικά για την ευρωπαϊκή αγορά, ενώ ορισμένα σύνολα δεδομένων παρέχονται ανά χώρα και για τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ (Recchioni et al. 2012).

## Μέθοδος Αξιολόγησης

Υπάρχουν ολοκληρωμένες διαδικασίες LCIA που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τις μεθόδους LCIA τελικού σημείου όσο και για τις μεθόδους LCIA μεσαίου σημείου. Όσον αφορά το ενδιάμεσο σημείο διαφοροποιείται ένας μεγάλος αριθμός κατηγοριών επιπτώσεων (περίπου 10) και τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή, σε σύγκριση με που τα αποτελέσματα του τελικού σημείου.

Ακολουθούν οι κατηγορίες επιπτώσεων σε επίπεδο μέσου σημείου και οι ζώνες προστασίας οι οποίες απαιτείται να ελεγχθούν προς τη συνάφεια με τη μελέτη. Έτσι προσδιορίζονται οι σχετικές μέθοδοι LCIA που θα χρησιμοποιηθούν στη φάση της εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής της LCA:

- Κατηγορία επιπτώσεων:

Ανθρώπινη τοξικότητα, Αναπνευστικό ανόργανες ουσίες, Ιονίζουσα ακτινοβολία, (Επίγεια) Φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος, Οξίνιση (έδαφος και ύδατα), Ευτροφισμός (έδαφος και ύδατα), Οικοτοξικότητα, Γη χρήση, εξάντληση πόρων (ορυκτά, ορυκτές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, νερό).

- Περιοχές προστασίας:

Φυσικό περιβάλλον, Φυσικοί πόροι

Εξ ορισμού, όλες οι παραπάνω κατηγορίες επιπτώσεων θα πρέπει να καλύπτονται από τον συνδυασμό επιλεγμένων μεθόδων LCIA για αυτό και η επιλογή της μεθόδου ή των συνδυασμό των μεθόδων εξαρτάται από τις επιπτώσεις που η κάθε μελέτη στοχεύει και θέλει να διερευνήσει.

## ReCiPe 2016 Midpoint (E)

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη είναι εκείνη της *ReCiPe 2016 Midpoint (E)*, όπου το ReCiPe 2016 είναι μια αναβαθμισμένη και διευρυμένη έκδοση του ReCiPe 2008.

Το ReCiPe 2016 προσφέρει τελικές επιπτώσεις (εστιασμένες στον άνθρωπο και το περιβάλλον) και ενδιάμεσες (προσανατολισμένες στο θέμα) κατηγορίες επιπτώσεων για κάθε μία από τις τρεις προοπτικές (ατομικιστική (I), ιεραρχική (H) και εξισωτική (E), όπως ακριβώς και ο προκάτοχός του.

Στην παρούσα μελέτη έγινε η επιλογή της *εξισωτικής (E)* μεθόδου εφόσον εξετάζεται οι μακροχρόνιες επιπτώσεις των Σεναρίων 1 και 2 τα οποία έχουνε ανάγκη από μια πιο προληπτική μέθοδο αξιολόγησης.

Το ReCiPe 2026 όπως αναφέρθηκε και παραπάνω περιλαμβάνει δύο σύνολα κατηγοριών επιπτώσεων με συναφή σύνολα παραγόντων χαρακτηρισμού, το ενδιάμεσο (Midpoint) και το τελικό (Endpoint). Σχετικά με το ενδιάμεσο επίπεδο, αντιμετωπίζονται 18 κατηγορίες επιπτώσεων με τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης οι οποίοι σε συνδυασμό με την εικόνα σχέσεων μεταξύ κατηγοριών επιπτώσεων στο μέσο επίπεδο που ακολουθεί οδηγεί την μελέτη και την κατηγοριοποιεί μαζί τις μεθόδους LCIA μεσαίου σημείου (*Midpoint*) (SimaPro manual, 2020).

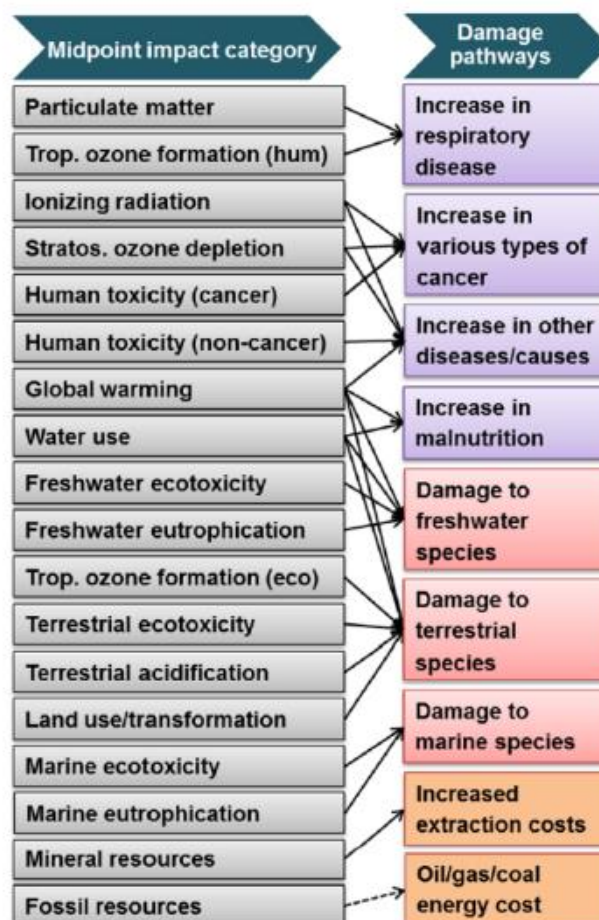
Πίνακας 60. Μέθοδος ReCiPe 2016, συμπεριλαμβανομένων 18 κατηγοριών επιπτώσεων μεσαίου σημείου (Midpoint)

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδες
Υπερθέρμανση του πλανήτη/(Global warming)	
Εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος/(Stratospheric ozone)	
Ιονίζουσα ακτινοβολία/(Ionizing radiation)	
Σχηματισμός όζοντος, Ανθρώπινη υγεία/(Ozone formation, human)	
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων/(Fine particulate matter formation)	
Σχηματισμός όζοντος, Χερσαία οικοσυστήματα/(Ozone formation,	
Χερσαία οξίνιση/(Terrestrial acidification)	
Ευτροφισμός των γλυκών υδάτων/(Freshwater eutrophication)	kg P to freshwater eq
Θαλάσσιος ευτροφισμός/(Marine eutrophication)	kg N to marine eq
Χερσαία οικοτοξικότητα/(Terrestrial ecotoxicity)	
Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων/(Freshwater ecotoxicity)	
Θαλάσσια οικοτοξικότητα/(Marine ecotoxicity)	
Ανθρώπινη καρκινογόνος τοξικότητα/(Human carcinogenic toxicity)	
Ανθρώπινη μη-καρκινογόνος τοξικότητα/(Human non-carcinogenic	
Χρήση γης/(Land use)	
Σπανιότητα πόρων μεταλλευμάτων/(Mineral resource scarcity)	
Σπανιότητα ορυκτών πόρων/(Fossil resource scarcity)	
Χρήση νερού/(Water use)	

Παρακάτω αναγράφονται τα πιθανά μονοπάτια βλάβης τα οποία χωρίζονται σε 3 κατηγορίες τις αυξήσεις, τις ζημιές και τα κόστη.

- Αυξήσεις  
Αύξηση των αναπνευστικών ασθενειών (Increase in respiratory disease)  
Αύξηση διαφόρων τύπων καρκίνου (Increase in various types of cancer)  
Αύξηση άλλων ασθενειών/αιτιών (Increase in other diseases/causes)  
Αύξηση του υποσιτισμού (Increase in malnutrition)
- Ζημιές  
Ζημία σε είδη γλυκών υδάτων (Damage to freshwater species)  
Ζημία σε χερσαία είδη (Damage to terrestrial species)  
Ζημία σε θαλάσσια είδη (Damage to marine species)
- Κόστοι  
Αύξηση του κόστους εξόρυξης (Increased extraction costs)  
Κόστος πετρελαίου/αερίου/άνθρακα/ενέργειας (Oil/gas/coal/energy cost)

Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα όπου απεικονίζονται οι σχέσεις μεταξύ των κατηγοριών επιπτώσεων στο ενδιάμεσο επίπεδο και τα μονοπάτια βλάβης που το καθένα ακολουθεί (SimaPro database manual Methods library. 2020)



Σχήμα 119 Απεικόνιση σχέσεων μεταξύ κατηγοριών επιπτώσεων στο μέσο επίπεδο

Καταγραφή Δεδομένων

Η ενότητα αυτή περιγράφει τις υποθέσεις και τους περιορισμούς που καθορίστηκαν καθώς και τα δεδομένα που εισήχθησαν για να διασφαλιστεί η σωστή καταγραφή δεδομένων του σεναρίου στο πρόγραμμα. Ακολουθεί η εισαγωγή των δέντρων και τα διαγράμματα 100% των αποτελεσμάτων της LCIA όπου οι συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων παρουσιάζονται σχηματικά σε όλο τον κύκλο ζωής των σεναρίων.

Δεδομένου ότι το λογισμικό SimaPro δεν έχει τις βάσεις δεδομένων οι οποίες απαιτούνται για τον χαρακτηρισμό των Σεναρίων πραγματοποιείται συλλογή δεδομένων με σκοπό την δημιουργία νέων βιβλιοθηκών οι οποίες στην επόμενη ενότητα της Ανάλυσης των Σεναρίων θα ανακαλεστούν σαν εισροές και εκροές για την κατασκευή των Σεναρίων στο λογισμικό.

## **Οριοθέτηση Διαχειριστικών σεναρίων**

### **Στόχος και πεδίο εφαρμογής**

Σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η διενέργεια μιας αρχικής εκτίμησης του κύκλου ζωής (AKZ) των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διεργασιών αξιοποίησης του Υγρού Κλάσματος (FMSW condensate) με απώτερο στόχο την δημιουργία ενός συμφέροντος καινοτόμου πλάνου συνδιαχείρισης χημικά συγγενικών αποβλήτων με διεργασίες χαμηλότερων ενεργειακών απαιτήσεων και δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας μέσω του παραγόμενου βιοαερίου. Η μελέτη χρησιμοποιεί την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) από το στάδιο παραγωγής του condensate μέχρι το τελικό στάδιο της παραγωγής του βιοαερίου χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία “cradle-to-gate”.

Παράλληλα η χρησιμότητα της μελέτης κείται στην αποσαφήνιση της αποτελεσματικότητας των σεναρίων συγκριτικά με τον συμβατικό τρόπο διαχείρισης του υγρού κλάσματος ο οποίος είναι η τελική απόθεση του στο αρχικό ρεύμα των λυμάτων του Δήμου για τελική συν διαχείριση στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων (Κ.Ε.Λ.) (Σχήμα 115 Υπάρχον Διαχειριστικό Πλάνο).

### **Λειτουργική Μονάδα**

Ως λειτουργική μονάδα λαμβάνεται η παραγωγή υγρού κλάσματος (condensate) της ξήρανσης/τεμαχισμού των τροφικών υπολειμμάτων η οποία είναι 0,2L ανά μέρα ανά κάτοικο. Η εφαρμογή της μελέτης έγινε για 100.000 κατοίκους η παραγωγή του υγρού κλάσματος και ανέρχεται στα 20 m<sup>3</sup> ανά μέρα ανά 100.000 κατοίκους.

### **Όρια Συστήματος**

Τα στάδια και οι μέθοδοι που καλύπτονται στην έρευνα της AKZ καθορίζονται από τα όρια του συστήματος, επομένως ο καθορισμός αυτών των ορίων είναι απαραίτητος.

Τα όρια του συστήματος συμβολίζουν το σύνολο των επιπτώσεων που αφορούν τη διαχείριση του condensate μέχρι και την παραγωγή του βιοαερίου, που είναι και το κύριο προϊόν. Τα στάδια της συλλογής condensate, της μεταφοράς του στην εγκατάσταση επεξεργασίας (ΚΕΛ) και της περαιτέρω επεξεργασίας του περιλαμβάνονται στην AKZ.

Ως χώρος επεξεργασίας της συνδιαχείρισης των δύο ρευμάτων λαμβάνεται το Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης, μέσης απόστασης 11χλμ. από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου (100000 κατοίκων) στο οποίο και λαμβάνει χώρα η διεργασία της ξήρανσης των ζυμώσιμων τροφικών αποβλήτων (η συνολική ανάλυση κύκλου ζωής από την συλλογή-ξήρανση/τεμαχισμό καθώς και παραγωγή και αξιοποίηση

του FORBI έχουν ολοκληρωθεί στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Έργου Waste4think (Mathioudakis 2022).

## Συλλογή δεδομένων LCI – ΑΚΖ Σεναρίου 1

### Πειραματικά δεδομένα

Τα δεδομένα για τη σύνθεση των εισροών και των εκροών των διεργασιών του Σεναρίου 1 συγκεντρώθηκαν για την απογραφή δεδομένων (LCI) κυρίως από εργαστηριακή έρευνα που διεξήχθη στο εργαστήριο Οργανικής χημικής Τεχνολογίας στα πλαίσια το έργου DENOMINATE (WP2, WP3, WP4 και WP6). Με μοναδική εξαίρεση τα δεδομένα προσομοίωσης του αστικού λύματος τα οποία αντλήθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές (η συγκεκριμένη επιλογή έγινε για λόγους υγειονομικής διαχείρισης καθώς και για να έχει το απόβλητο σταθερά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά κατά την διάρκεια της μελέτης).

### Από Λογισμικό SimaPRO

Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η πιο δημοφιλής βάσει δεδομένων Ecoinvent (*Ecoinvent 3-allocation, cut-off by classification-system*) του λογισμικού (<https://ecoinvent.org/>), καθώς επίσης και από βάσεις δεδομένων που εμπριέχονται στο λογισμικό Ανάλυσης Κύκλου Ζωής SimaPro όπως την βασική βάσει δεδομένων ELCD (*ELCD*). Συνεπώς, αναπτύχθηκε ένας αντιπροσωπευτικός κατάλογος δεδομένων προσαρμοσμένος για την Ελλάδα. Τέλος από τις βάσεις δεδομένων δεν παραλήφθηκε να επιλεχθεί και εκείνη η βάσει δεδομένων Methods (*Methods*).

### LCI του FMSW condensate

Τα δεδομένα εισροής για την μοντελοποίηση του FMSW condensate στο λογισμικό SimaPro προήλθαν από τον χημικό χαρακτηρισμό του υγρού κλάσματος καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ξήρανσης, μέσω συλλογής ωριαίων δειγμάτων του συμπυκνώματος (FMSW condensate) (D2.2). Ακολούθησαν 4 σειρές μετρήσεων ξεχωριστά για τις 4 εποχές του χρόνου (Καλοκαίρι, Φθινόπωρο, Χειμώνα, Άνοιξη) από τις οποίες βρέθηκε ο Μέσος Όρος τους και έτσι εισήχθησαν στο λογισμικό. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας με τις ποσότητες της εισροής σε mg ανά L.

Σημαντική παρατήρηση είναι πώς η εισαγωγή των δεδομένων καταγράφηκε σαν εκροή και πιο συγκεκριμένα σαν εκπομπή στο νερό. Η παρούσα διαδικασία δεν αποτελεί πρόβλημα στο σύστημα εφόσον κατά την κατασκευή της διεργασίας και τελικά προστέθηκε στο λογισμικό ως εισροή.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate.

### Πίνακας 61 LCI του FMSW condensate

---

Εκροές		
Εκπομπές στο νερό	Συγκέντρωση (mg/L)	Συγκέντρωση

---

---

---

<b>Οξικό</b>
<b>Προπιονικό</b>
<b>Ισο-βουτυρικό</b>
<b>Βουτυρικό οξύ</b>
<b>Ισο-βαλερικό</b>
<b>Βαλερικό οξύ**</b>
<b>Γαλακτικό οξύ</b>
<b>Αιθανόλη</b>

Η μοντελοποίηση του LCI του FMSW condensate πραγματοποιείται με τις ακόλουθες παραδοχές και υποδείξεις:

- Τα δεδομένα παρόλο που αναγράφονται στον πίνακα σε mg/L η λειτουργική μονάδα στο λογισμικό για το προϊόν ήταν τα 0,001 m<sup>3</sup>.
- Τα δεδομένα του FMSW condensate αντλήθηκαν από εργαστηριακές μετρήσεις.
- Όπου αναγράφεται το COD αναφέρεται το ολικό COD, η τιμή του διαλυτού COD ήταν 11593,48 mg/L.
- Όπου αναγράφεται το TOC και το TN, αναφέρεται το διαλυτό TOC και TN.
- Η συγκέντρωση του pH δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate (\*).
- Η συγκέντρωση του Βαλερικού οξέος δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro εφόσον δεν υπάρχει βάση δεδομένων για το Βαλερικό οξύ σε εκείνο, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate (\*\*).
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υγρού κλάσματος παρόλο που αποτελούν εισροή στο σύστημα εκφράζονται ως εκροή για το λογισμικό SimaPro διότι τα χαρακτηριστικά μιας υδάτινης ροής έχουν τις βάσεις δεδομένων τους στην κατηγορία των εκροών.



### LCI του MWW (municipal wastewater)

Τα δεδομένα εισροής για την μοντελοποίηση του MWW στο λογισμικό SimaPro προήλθαν από τον φυσικοχημικό χαρακτηρισμό του συνθετικού μίγματος αστικού λύματος. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση Σεναρίων της τεχνοοικονομικής ανάλυσης(WP7) καθώς και στην συλλογή δεδομένων από τα πειράματα που ολοκληρώθηκαν (WP2, WP3, WP4 και WP4) επιλέχθηκε η δημιουργία συνθετικού μίγματος το οποίο προσομοιάζει τα χαρακτηριστικά του πραγματικού αστικού λύματος.

Σημαντική παρατήρηση είναι πώς η εισαγωγή των δεδομένων καταγράφηκε σαν εκροή και πιο συγκεκριμένα σαν εκπομπή στο νερό. Η παρούσα διαδικασία δεν αποτελεί πρόβλημα στο σύστημα εφόσον κατά την κατασκευή της διεργασίας όπου τελικά προστέθηκε στο λογισμικό ως εισροή.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 62 των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του συνθετικού μίγματος αστικού λύματος.

Πίνακας 62: LCI του MWW

Εκροές		
Εκπομπές στο νερό	Συγκέντρωση (mg/L)	Συγκέντρωση

Η μοντελοποίηση του LCI του MWW πραγματοποιείται με τις ακόλουθες παραδοχές και υποδείξεις:

- Τα δεδομένα παρόλο που αναγράφονται στον πίνακα σε mg/L η λειτουργική μονάδα στο λογισμικό για το προϊόν ήταν τα 0,001 m<sup>3</sup>.
- Τα δεδομένα προσομοίωσης του αστικού λύματος αντλήθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές.
- Όπου αναγράφεται το COD αναφέρεται το ολικό COD

- Η συγκέντρωση του pH δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του συνθετικού αστικού λύματος (\*).
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του σύνθετου λύματος παρόλο που αποτελούν εισροή στο σύστημα εκφράζονται ως εκροή για το λογισμικό SimaPro διότι τα χαρακτηριστικά μιας υδάτινης ροής έχουν τις βάσεις δεδομένων τους στην κατηγορία των εκροών.

### LCI του effluent (PABR)

Τα δεδομένα εισροής για την μοντελοποίηση του effluent στο λογισμικό SimaPro προήλθαν από τον χημικό χαρακτηρισμό της εκροής του περιοδικού αερόβιου αντιδραστήρα (PABR) (digestate).

Σημαντική παρατήρηση είναι πώς η εισαγωγή των δεδομένων καταγράφηκε σαν εκροή και πιο συγκεκριμένα σαν εκπομπή στο νερό. Η παρούσα διαδικασία δεν αποτελεί πρόβλημα στο σύστημα εφόσον κατά την κατασκευή της διεργασίας και στην συνέχεια προστέθηκε στο λογισμικό ως εισροή.

Τα χαρακτηριστικά της εκροής που προέκυψαν παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 63.

**Πίνακας 63 LCI του effluent**

Εκροές		
Εκπομπές στο νερό	Συγκέντρωση (mg/L)	Συγκέντρωση

---

---

---

Η μοντελοποίηση του LCI του effluent πραγματοποιείται με τις ακόλουθες παραδοχές και υποδείξεις:

- Τα δεδομένα παρόλο που αναγράφονται στον πίνακα σε mg/L η λειτουργική μονάδα στο λογισμικό για το προϊόν ήταν τα 0,001 m<sup>3</sup>.
- Τα δεδομένα του effluent αντλήθηκαν από εργαστηριακές μετρήσεις.
- Όπου αναγράφεται το COD αναφέρεται το ολικό COD.
- Όπου αναγράφεται το TOC και το TN, αναφέρεται το διαλυτό TOC και TN.
- Η συγκέντρωση του pH δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του effluent (\*).
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του effluent παρόλο που αποτελούν εισροή στο σύστημα εκφράζονται ως εκροή για το λογισμικό SimaPro διότι τα χαρακτηριστικά μιας υδάτινης ροής έχουν τις βάσεις δεδομένων τους στην κατηγορία των εκροών.

### LCI του Σεναρίου 1

Στο λογισμικό SimaPro για την μοντελοποίηση του Σεναρίου 1 και την τελική αναπαράσταση σε διάγραμμα ροής υλικών και διαδικασιών εισάγονται τα δεδομένα όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

**Πίνακας 64: LCI του Σεναρίου 1**

---

**Εκροή Προϊόντων**

---

<b>Προϊόν</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>
---------------	------------------------------

---

**Βιοαέριο**

---

**Εισροές Υλικών**

---

<b>Υλικά</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>
--------------	------------------------------

---

---

**Εισροή Μεταφοράς**

---

<b>Μεταφορά</b>	<b>Απόσταση (tkm)</b>
<b>Βυτιοφόρο</b>	
<b>Εισροή Ενέργειας</b>	
<b>Ενέργεια</b>	
<b>Ηλεκτρική</b>	
<b>Εκροές Υλικών</b>	
<b>Υλικά</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>

### Εισροές και Εκροές Υλικών

Για τις εισροές και εκροές των υλικών οι τιμές έχουν υπολογιστεί βάσει ισοζυγίων μάζας και ενέργειας και βάσει όγκου αντιδραστήρα PABR ενώ οι βάσεις δεδομένων τους δημιουργήθηκαν εκ νέου όπως αναφέρονται στην παρούσα ενότητα.

### Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια υπολογίστηκε με την βοήθεια του λογισμικού ASPEN PLUS όπου η διεργασία προσομοιάστηκε με ένα δοχείο ίσου όγκου και παρεμφερούς υλικού κατασκευής με τον PABR, το οποίο τροφοδοτείται με παροχές παρόμοιες με αυτές της διεργασίας. Παρά όλα αυτά η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπεί σε έναν γενικότερο προσδιορισμό της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και όχι στον ακριβή υπολογισμό της.

Σχετικά με την βάση δεδομένων που επιλέχθηκε για τον χαρακτηρισμό της ενέργειας οι τύποι της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: Χαμηλής τάσης (1000 V), Μεσαίας τάσης (1kV-24kV) και Υψηλής τάσης (>24kV), η διεργασία του Σεναρίου 1 χρησιμοποιεί τριφασικό ρεύμα θεωρείται ως σύστημα χαμηλής τάσης. Για αυτό και στο λογισμικό επιλέχθηκε η βάση δεδομένων *Electricity, low voltage {GR}*.

Σημείωση: Το {GR} αντιπροσωπεύει την γεωγραφική προέλευση των βάσεων δεδομένων συγκεκριμένων διεργασιών.

### Μεταφορά

Η μεταφορά αφορά την απόσταση την οποία θα διανύσει το βυτιοφόρο με FMSW condensate όγκου 20 m<sup>3</sup> από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου στα Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης, απόστασης 11χλμ. Για την επιλογή της κατάλληλης μονάδας μέτρησης ισχύει ότι 1 μετρικός τόνος αντιστοιχεί σε 1000 kg. Το FMSW condensate έχει πυκνότητα ίση με 997 kg/m<sup>3</sup> και όγκο ίσο με 20 m<sup>3</sup>, επομένως για το βάρος αντιστοιχεί η τιμή των 19.940 kg, τιμή που ανήκει στο εύρος φορτίου 16-32 μετρικού τόνου σύμφωνα

με τις κατηγορίες φορτίου του λογισμικού SimaPro. Για αυτό και στο λογισμικό επιλέχθηκε η βάση δεδομένων *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}*.

Σημείωση: Το ακρωνύμιο του {RER} αντιπροσωπεύει τις βάσεις δεδομένων της Ευρώπης

### 5.3 Συλλογή δεδομένων LCI – Σεναρίου 2

#### από πειραματικά δεδομένα

Τα δεδομένα για τη σύνθεση των εισροών και των εκροών των διεργασιών του Σεναρίου 2 συγκεντρώθηκαν για την απογραφή δεδομένων (LCI) από εργαστηριακή έρευνα που διεξήχθη στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας στα πλαίσια του έργου DENOMINATE.

#### Από Λογισμικό

Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη η πιο δημοφιλής βάσει δεδομένων Ecoinvent (*Ecoinvent 3-allocation, cut-off by classification-system*) του λογισμικού (<https://ecoinvent.org/>), καθώς επίσης και από βάσεις δεδομένων που εμπεριέχονται στο λογισμικό Ανάλυσης Κύκλου Ζωής SimaPro όπως την βασική βάσει δεδομένων ELCD (*ELCD*). Συνεπώς, αναπτύχθηκε ένας αντιπροσωπευτικός κατάλογος δεδομένων προσαρμοσμένος για την Ελλάδα. Τέλος από τις βάσεις δεδομένων δεν παραλήφθηκε να επιλεγεί και εκείνη η βάσει δεδομένων Methods (*Methods*).

#### LCI του FMSW condensate

Τα δεδομένα εισροής για την μοντελοποίηση του FMSW condensate στο λογισμικό SimaPro προήλθαν από τον χημικό χαρακτηρισμό του υγρού κλάσματος καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ξήρανσης, μέσω συλλογής ωριαίων δειγμάτων του συμπυκνώματος (FMSW condensate). Ακολούθησαν 4 σειρές μετρήσεων ξεχωριστά για τις 4 εποχές του χρόνου (Καλοκαίρι, Φθινόπωρο, Χειμώνα, Άνοιξη) από τις οποίες βρέθηκε ο Μέσος Όρος τους και έτσι εισήχθησαν στο λογισμικό. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας με τις ποσότητες της εισροής σε mg ανά L.

Σημαντική παρατήρηση είναι πώς η εισαγωγή των δεδομένων καταγράφηκε σαν εκροή και πιο συγκεκριμένα σαν εκπομπή στο νερό. Η παρούσα διαδικασία δεν αποτελεί πρόβλημα στο σύστημα εφόσον κατά την κατασκευή της διεργασίας θα ανακληθεί στο λογισμικό ως εισροή.

Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 65 των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate.

**Πίνακας 65 LCI του FMSW condensate**

Εκροές		
Εκπομπές στο νερό	Συγκέντρωση (mg/L)	Συγκέντρωση

<b>Οξικό</b>
<b>Προπιονικό</b>
<b>Ισο-βουτυρικό</b>
<b>Βουτυρικό οξύ</b>
<b>Ισο-βαλερικό</b>
<b>Βαλερικό οξύ**</b>
<b>Γαλακτικό οξύ</b>
<b>Αιθανόλη</b>

Η μοντελοποίηση του LCI του FMSW condensate πραγματοποιείται με τις ακόλουθες παραδοχές και υποδείξεις:

- Τα δεδομένα παρόλο που αναγράφονται στον πίνακα σε mg/L η λειτουργική μονάδα στο λογισμικό για το προϊόν ήταν τα 0,001 m<sup>3</sup>.
- Τα δεδομένα του FMSW condensate αντλήθηκαν από εργαστηριακές μετρήσεις.
- Όπου αναγράφεται το COD αναφέρεται το ολικό COD, η τιμή του διαλυτού COD ήταν 11593,48 mg/L.
- Όπου αναγράφεται το TOC και το TN, αναφέρεται το διαλυτό TOC και TN.
- Η συγκέντρωση του pH δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate (\*).
- Η συγκέντρωση του Βαλερικού οξέος δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro εφόσον δεν υπάρχει βάση δεδομένων για το Βαλερικό οξύ σε εκείνο, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του FMSW condensate (\*\*).



<b>Οξικό</b>
<b>Προπιονικό</b>
<b>Ισο-βουτυρικό</b>
<b>Βουτυρικό οξύ</b>
<b>Ισο-βαλερικό</b>
<b>Βαλερικό οξύ**</b>
<b>Αιθανόλη</b>

Η μοντελοποίηση του LCI του WAS πραγματοποιείται με τις ακόλουθες παραδοχές και υποδείξεις:

- Τα δεδομένα παρόλο που αναγράφονται στον πίνακα σε mg/L η λειτουργική μονάδα στο λογισμικό για το προϊόν ήταν τα 0,001 m<sup>3</sup>.
- Τα δεδομένα του WAS αντλήθηκαν από εργαστηριακές μετρήσεις.
- Όπου αναγράφεται το COD αναφέρεται το ολικό COD, η τιμή του διαλυτού COD ήταν 1500 mg/L.
- Όπου αναγράφεται το TOC και το TN, αναφέρεται το διαλυτό TOC και TN.
- Η συγκέντρωση του pH δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του WAS (\*).
- Η συγκέντρωση του Βαλερικού οξέος δεν αποτελεί εκροή για το λογισμικό SimaPro εφόσον δεν υπάρχει βάσει δεδομένων για το Βαλερικό οξύ σε εκείνο, ο λόγος που αναγράφεται στον παραπάνω Πίνακα είναι για την ολοκληρωμένη καταγραφή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του WAS (\*\*).
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του WAS παρόλο που αποτελούν εισροή στο σύστημα εκφράζονται ως εκροή για το λογισμικό SimaPro διότι τα χαρακτηριστικά μιας υδάτινης ροής έχουν τις βάσεις δεδομένων τους στην κατηγορία των εκροών.

#### **LCI του effluent (CSTR).**

Τα δεδομένα εισροής για την μοντελοποίηση του effluent στο λογισμικό SimaPro προήλθαν από τον χημικό χαρακτηρισμό της εκροής του αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης δεξαμενής (CSTR). Λόγω της επιρροής του υδραυλικού χρόνου παραμονής στην αναερόβια συν-χώνευση του μίγματος FMSW Condensate/WAS χρειάζεται να αναφερθεί πως τα ακόλουθα δεδομένα αφορούν τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) των 15 ημερών (15d) ο οποίος αντιστοιχεί στην φάση 5 της πειραματικής αναφοράς για ογκομετρική αναλογία σε FMSW Condensate 67% όπου αποδείχθηκε και η βέλτιστη φάση.





## LCI του Σεναρίου 2

Στο λογισμικό SimaPro για την μοντελοποίηση του Σεναρίου 2 και την τελική αναπαράσταση σε διάγραμμα ροής υλικών και διαδικασιών εισάγονται τα δεδομένα όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 68 LCI του Σεναρίου 2

<b>Εκροή Προϊόντων</b>	
<b>Προϊόν</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Βιοαέριο</b>	
<b>Εισροές Υλικών</b>	
<b>Υλικά</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Εισροή Μεταφοράς</b>	
<b>Μεταφορά</b>	<b>Απόσταση (tkm)</b>
<b>Βυτιοφόρο</b>	
<b>Εισροή Ενέργειας</b>	
<b>Ενέργεια</b>	
<b>Ηλεκτρική</b>	
<b>Εκροές Υλικών</b>	
<b>Υλικά</b>	<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>

## Εισροές και Εκροές Υλικών

Για τις εισροές και εκροές των υλικών οι τιμές έχουν υπολογιστεί βάσει ισοζυγίων μάζας και βάσει όγκου αντιδραστήρα PABR ενώ οι βάσεις δεδομένων τους δημιουργήθηκαν εκ νέου όπως αναφέρονται στην παρούσα ενότητα.

### Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια υπολογίζεται με την βοήθεια του λογισμικού ASPEN PLUS όπου η διεργασία προσομοιάστηκε με ένα δοχείο ίσου όγκου και παρεμφερούς υλικού κατασκευής με τον PABR, το οποίο τροφοδοτείται με παροχές παρόμοιες με αυτές της διεργασίας. Παρά όλα αυτά η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπεί σε έναν γενικότερο προσδιορισμό της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας και όχι στον ακριβή υπολογισμό της. Σχετικά με την βάσει δεδομένων που επιλέχθηκε για τον χαρακτηρισμό της ενέργειας οι τύποι της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: Χαμηλής τάσης (1000 V), Μεσαίας τάσης (1kV-24kV) και Υψηλής τάσης (>24kV), η διεργασία του Σεναρίου 2 χρησιμοποιεί τριφασικό ρεύμα, επομένως θεωρείται ως σύστημα χαμηλής τάσης. Για αυτό και στο λογισμικό επιλέχθηκε η βάσει δεδομένων *Electricity, low voltage {GR}*.

Σημείωση: Το {GR} αντιπροσωπεύει την γεωγραφική προέλευση των βάσεων δεδομένων συγκεκριμένων διεργασιών.

### Μεταφορά

Η μεταφορά αφορά την απόσταση την οποία θα διανύσει το βυτιοφόρο φορτωμένο με FMSW condensate όγκου 20 m<sup>3</sup> από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου στα Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης, απόστασης 11χλμ. Για την επιλογή της κατάλληλης μονάδας μέτρησης ισχύει ότι 1 μετρικός τόνος αντιστοιχεί σε 1000 kg. Το FMSW condensate έχει πυκνότητα ίση με 997 kg/m<sup>3</sup> και όγκο ίσο με 20 m<sup>3</sup>, επομένως για το βάρος αντιστοιχεί η τιμή των 19.940 kg, τιμή που ανήκει στο εύρος φορτίου 16-32 μετρικού τόνου σύμφωνα με τις κατηγορίες φορτίου του λογισμικού SimaPro. Για αυτό και στο λογισμικό επιλέχθηκε η βάσει δεδομένων *Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6 {RER}*.

Σημείωση: Το ακρωνύμιο του {RER} αντιπροσωπεύει τις βάσεις δεδομένων της Ευρώπης.

### Ανάλυση Σεναρίων στο λογισμικό SimaPro - Αποτελέσματα

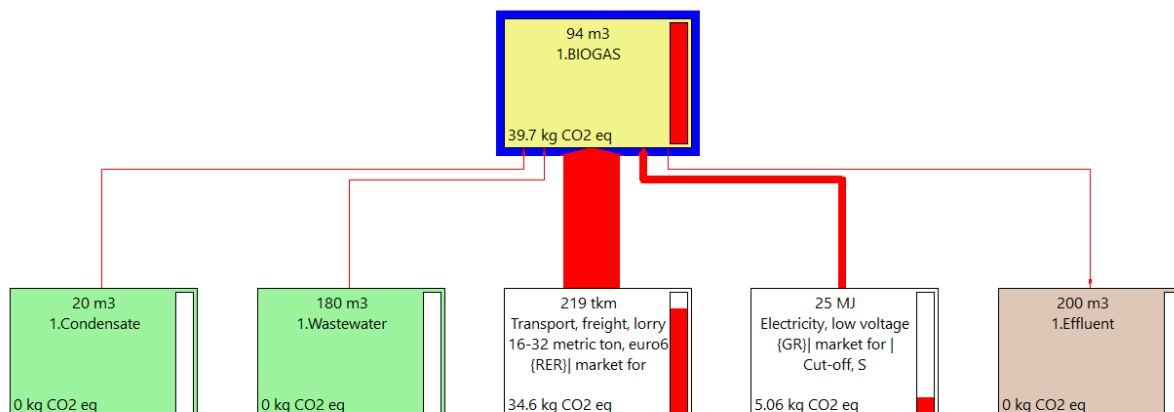
Στο παρόν παραδοτέο παρέχονται εμπειριστατωμένες περιβαλλοντικές επισκοπήσεις δύο βέλτιστων σεναρίων διαχείρισης υγρού κλάσματος το οποίο προέρχεται από ξήρανση οικιακών τροφικών υπολειμμάτων, καθώς και περιβαλλοντικές προκλήσεις οι οποίες προκύπτουν από τις διεργασίες των σεναρίων αυτών. Το **Σενάριο 1** αφορά την αναερόβια συγχώνευση των Αστικών Λυμάτων (MWW) και του Υγρού Κλάσματος (FMSW condensate) σε αναλογία 10%-90% αντίστοιχα σε αντιδραστήρα (PABR). Το **Σενάριο 2** αφορά την αναερόβια συν-χώνευση της Περίσσειας Ενεργού Ιλύος (WAS) και του Υγρού Κλάσματος (FMSW condensate) σε αναλογία 66,7%-33,3% σε αντιδραστήρα (CSTR).

### Ανάλυση Σεναρίου 1: Αναερόβια Συγχώνευση Αστικών Λυμάτων και FMSW condensate

Το πρώτο Σενάριο που μελετήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού SimaPro ήταν αυτό της απευθείας αναερόβιας συγχώνευσης αστικών λυμάτων και FMSW condensate σε ταχύρρυθμο αντιδραστήρα με ανακλαστές τύπου PABR με βασική ιδέα την ενίσχυση των αστικών λυμάτων ως προς την συγκέντρωση οργανικού φορτίου με στόχο την δημιουργία ενός κατάλληλου υποστρώματος για την αναερόβια διεργασία χώνευσης.

## Δέντρο Διεργασιών Σεναρίου 1

Στο Σχήμα 120 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας αναερόβιας συγχώνευσης του Σεναρίου 1 για την καλύτερη κατανόηση και οπτικοποίηση του συστήματος και στο Σχήμα 121 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής υπολογισμών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή αλλιώς δέντρο διεργασιών του Σεναρίου 1, όπως διαμορφώνεται από το λογισμικό, έπειτα από αποκοπές για την παρουσίαση των σημαντικότερων διαδικασιών:



Σχήμα 120 Δέντρο διεργασιών SimaPro Σεναρίου 1

Τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απεικονίζονται στο δέντρο των διεργασιών είναι σε μονάδες kg CO<sub>2</sub> eq εφόσον για την αναπαράσταση του επιλέχθηκε ο χαρακτήρισμός της υπερθέρμανση του πλανήτη (Characterization, Global warming). Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρείται πως οι εισροές και οι εκροές της διεργασίας φέρουν μηδαμινό περιβαλλοντικό φορτίο (0 kg CO<sub>2</sub> eq) σε αντίθεση με το φορτίο της μεταφορά του FMSW condensate το οποίο όπως φαίνεται και από το Σχήμα 120 φέρει το μεγαλύτερο φορτίο (34,6 kg CO<sub>2</sub> eq). Σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για την λειτουργία του αντιδραστήρα εκείνη εκδηλώνει μια επίδραση προς το περιβάλλον αλλά συγκριτικά με εκείνη της μεταφοράς είναι περίπου 7 φορές μικρότερη (5,06 kg CO<sub>2</sub> eq).

Σχήμα 120 Δέντρο διεργασιών SimaPro Σεναρίου 1

### Αξιολόγηση επιπτώσεων Σεναρίου 1

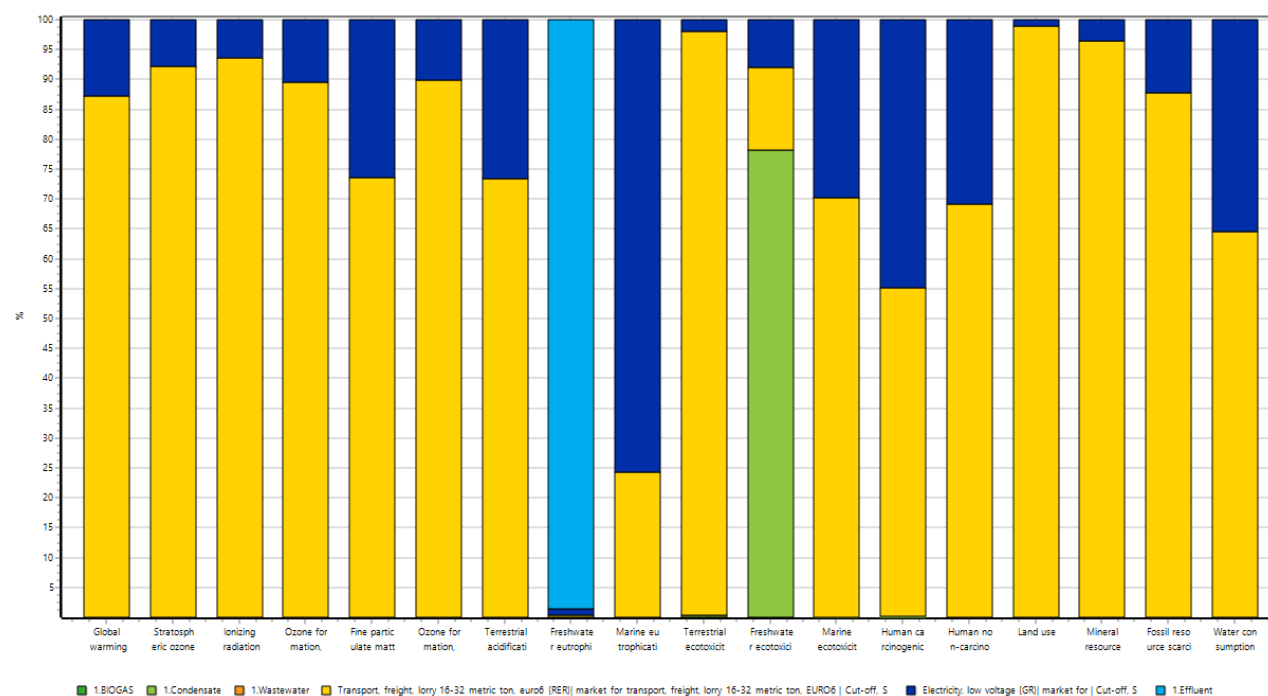
Τα αποτελέσματα της LCIA για τα εξεταζόμενα δομικά στοιχεία παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα ως διάγραμμα 100% για όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων της μεθόδου.

Στο παρακάτω Σχήμα 121 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 1: Αναερόβια Συγχώνευση Αστικών Λυμάτων και FMSW condensate. Σύμφωνα με την ανάλυση των περιβαλλοντικών εστιών επιβάρυνσης (Environmental hotspot analysis), η μεταφορά της εισροής του FMSW condensate για την έναρξη της αναερόβιας συγχώνευσης του Σεναρίου 1 αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο επιβάρυνσης για τις περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό % στις 15 από τις 18 κατηγορίες επιπτώσεων που συμβάλλει η μεταφορά κυμαίνεται σε ποσοστά άνω των 50% ενώ φτάνει μέχρι και 98,9%, ποσοστό που αντιστοιχεί στην κατηγορία επίπτωσης "Χρήση γης".

Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια παρατηρείται πως η παρουσία της συμβολή είναι ορατή και στις 18 κατηγορίες επιπτώσεων με τον “Θαλάσσιο ευτροφισμό” να υπερτερεί με ποσοστό 75,7%, ενώ στις υπόλοιπες 17 παρατηρείται ποσοστό συνεισφοράς εύρους 1,15%-44,9%.

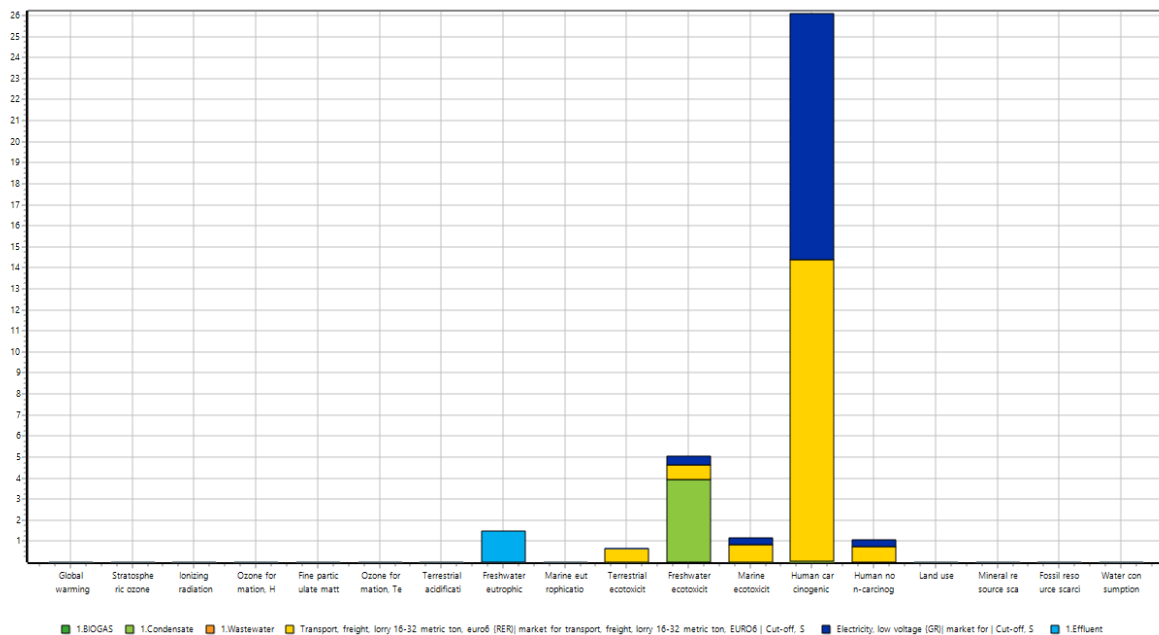
Σχετικά με την “Υπερθέρμανση του πλανήτη”, μια κατηγορία επιπτώσεων όντας από τις πιο σημαντικές που απασχολεί τις περισσότερες αναλύσεις κύκλου ζωής, οι συντελεστές που συμβάλλουν για την επιβάρυνση της είναι ο συντελεστής της μεταφοράς σε ποσοστό 87,3% και αυτός της ηλεκτρική ενέργεια με 12,7% συμβολή. Άλλη μια κατηγορία επιπτώσεων την οποία οι ρύποι που παράγονται από την μεταφορά αυξάνουν το αντίκτυπο των βλαβών της, ενώ στο Σχήμα 120 εμφανίζονται και οι τιμές τους.

Το MWW, το Biogas, το Effluent και το FMSW condensate δεν παρουσιάζουν σημαντική συνεισφορά (η οποία μπορεί να θεωρηθεί και αμελητέα) στις περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων που αξιολογήθηκαν, με μοναδική εξαίρεση για το Effluent και το FMSW condensate που στις κατηγορίες “Ευτροφισμός των γλυκών υδάτων” και “Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων” αντίστοιχα έχουν μεγάλο ποσοστό επιβλαβής επίδρασης σε ποσοστά 98,5% και 78,1% ακολούθως.



Σχήμα 121 Characterization - Αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 1

Η ένταξη της κανονικοποίησης (Normalization) στην παρούσα μελέτη εντάσσεται συμπληρωματικά ώστε να μπορέσουν να επισημανθούν πιο σημαντικές κατηγορίες επιπτώσεων που επιβαρύνονται από την διεργασία του Σεναρίου 1, οι οποίες δεν διακρίνονται από το ποσοστό συμβολής των κατηγοριών. Μετά την κανονικοποίηση οι δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων έχουν όλοι την ίδια μονάδα, έτσι διευκολύνεται η αναμεταξύ τους σύγκριση.



Σχήμα 122 Normalization - Αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 1

Από Σχήμα 122 παρατηρείται πως οι κατηγορίες επιπτώσεων που επηρεάζονται περισσότερο με σειρά σημαντικότητας είναι οι εξής:

- Ανθρώπινη καρκινογόνος τοξικότητα
- Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων
- Ευτροφισμός των γλυκών υδάτων
- Θαλάσσια οικοτοξικότητα
- Ανθρώπινη μη-καρκινογόνος τοξικότητα
- Χερσαία οικοτοξικότητα

Στα Παραρτήματα A-Z ( παραδοτέο D8.1) παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές χωρίς κανονικοποίηση των τιμών των αποτελέσματα των κατηγοριών επιπτώσεων που είναι και οι κυριότερες όπως μπορεί να φανεί από το Σχήμα 122. Από τα αποτελέσματα των Διαγραμμάτων του characterization, του Normalization καθώς και τις τιμές Παραρτήματα A-Z είναι φανερό πως όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένα ποσοστό επίδρασης δεν είναι από μόνο του αντιπροσωπευτικό. Η απόδειξη φαίνεται από την σύγκριση των Παραρτημάτων A και Z όπου οι τιμές του A φαίνονται μικρότερες από εκείνες του Z αλλά παρ' όλα αυτά φέρει και τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

### Μεταφορά (Transportation)

Από τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης η κατηγορία που επρόκειτο να πληγεί περισσότερο από την μεταφορά του FMSW condensate από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου μέχρι τα Κ.Ε.Λ. Λυκόβρυσης είναι εκείνη της “Ανθρώπινης καρκινογόνου τοξικότητας”. Μια πιθανή εξήγηση για την εν λόγω επιβάρυνση από την μεταφορά είναι το γεγονός πως οι ρύποι που εκπέμπονται από την μεταφορά μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία. Το σύνολο των δεδομένων της μεταφοράς αντιπροσωπεύει την υπηρεσία μεταφοράς εμπορευμάτων 1tkm με φορτηγό της κατηγορίας μεγέθους 16-32 μετρικών τόνων μικτού βάρους οχήματος (GVW) και της κατηγορίας εκπομπών EURO6, ενώ σχετικά με τους ρύπους που φέρει ένα EURO6, όπου επιλέχθηκε για την ανάλυση της διεργασίας, καταγράφονται οι εξής: οξείδια του αζώτου, οξείδιο του αζώτου, μεθάνιο,

υδρογονάνθρακες μη μεθανίου, αμμωνία, βενζόλιο και μόλυβδος. Έτσι οι χημικές ουσίες αυτές εκτός ότι εισπνέονται καθημερινά από τον άνθρωπο είναι πιθανό να συσσωρευτούν στην ανθρώπινη αλυσίδα και έστω και έμμεσα να εισχωρήσουν στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ η ίδια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την κατηγορία της “ Ανθρώπινης μη-καρκινογόνου τοξικότητας”

Σχετικά με τις κατηγορίες “Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων”, “Θαλάσσια οικοτοξικότητα” και “Χερσαία οικοτοξικότητα” παρατηρείται ότι αναφέρονται και οι τρεις στην οικοτοξικότητα. Ακόμα τα σύνολα δεδομένων του λογισμικού για τις μεταφορές αναφέρονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των μεταφορών, ο οποίος σημαίνει κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και το τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων και των οδικών υποδομών. Έτσι εφόσον η μεταφορά αφορά ολόκληρο τον κύκλο ζωής η επιβάρυνση από την μεταφορά μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι η οικοτοξικότητα αποτελεί μια από τις επικίνδυνες ιδιότητες των αποβλήτων και συγκεκριμένα για τα απόβλητα που προκύπτουν από την επεξεργασία ορυκτών που περιέχουν μέταλλα, όπου η επεξεργασία ορυκτών είναι κομμάτι της.

Τέλος να σημειωθεί πως η βάση δεδομένων της μεταφορά στο λογισμικό SimaPro περιλαμβάνει τις μέσες απαιτήσεις μεταφοράς για το συγκεκριμένο προϊόν εντός της εν λόγω γεωγραφίας, καθώς και εισροές του ίδιου του προϊόντος για την κάλυψη τυχόν απωλειών στο εμπόριο και τις μεταφορές.

### **Ηλεκτρική ενέργεια (Electricity)**

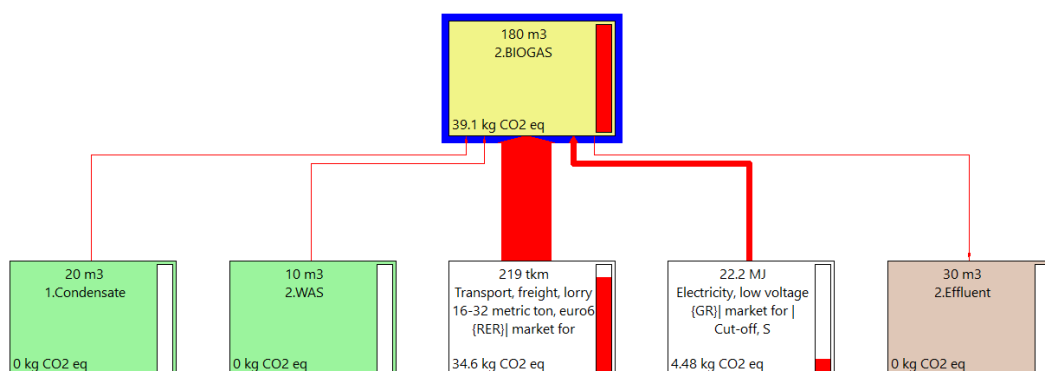
Η επιβάρυνση των κατηγοριών επιπτώσεων από την ηλεκτρική ενέργεια είναι το γεγονός πως η Ελλάδα ακόμα έχει σε μεγάλο ποσοστό διεργασίες οι οποίες λειτουργούν με βάση την βενζίνη, σε σύγκριση με άλλες χώρες. Για τον λόγο αυτό μέχρι να μειθούν οι διεργασίες με βάση την βενζίνη (petrol based processes) οι αναλύσεις κύκλου ζωής θα έχουν στα αποτελέσματα τους το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της ενέργειας.

### **Ανάλυση Σεναρίου 2: Αναερόβια συγχώνευση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος και FMSW condensate**

Το δεύτερο Σενάριο που μελετήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού SimaPro ήταν αυτό της ένταξης του FMSW condensate στο υφιστάμενο διαχειριστικό μοντέλο των αστικών λυμάτων και πιο συγκεκριμένα με συνδιαχείριση περίσσειας ενεργού ιλύος σε αντιδραστήρα συνεχούς ανάδευσης δεξαμενής (CSTR) με βασική ιδέα την εισαγωγή του FMSW condensate έμμεσα στο υφιστάμενο διαχειριστικό πλάνο μέσω της συγχώνευσης του με την περίσσεια ενεργού ιλύος.

### **Δέντρο Διεργασιών Σεναρίου 2**

Στο Σχήμα 123 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας αναερόβιας συγχώνευσης του Σεναρίου 2 για την καλύτερη κατανόηση και οπτικοποίηση του συστήματος και στο Σχήμα 124 και 125 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής υπολογισμών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή αλλιώς δέντρο διεργασιών του Σεναρίου 2, όπως διαμορφώνεται από το λογισμικό, έπειτα από αποκοπές για την παρουσίαση των σημαντικότερων διαδικασιών:



Σχήμα 123 Δέντρο διεργασιών SimaPro Σεναρίου 2

Τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που απεικονίζονται στο δέντρο των διεργασιών είναι σε μονάδες kg CO<sub>2</sub> eq εφόσον για την αναπαράσταση του επιλέχθηκε ο χαρακτηρισμός της υπερθέρμανση του πλανήτη (Characterization, Global warming). Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατηρείται πως οι εισροές και οι εκροές της διεργασίας φέρουν μηδαμινό περιβαλλοντικό φορτίο (0 kg CO<sub>2</sub> eq) σε αντίθεση με το φορτίο της μεταφορά του FMSW condensate το οποίο όπως φαίνεται και από το Σχήμα 124 φέρει το μεγαλύτερο φορτίο (34,6 kg CO<sub>2</sub> eq). Σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για την λειτουργία του αντιδραστήρα εκείνη εκδηλώνει μια επίδραση προς το περιβάλλον αλλά συγκριτικά με εκείνη της μεταφοράς είναι περίπου 7 φορές μικρότερη (4,48 kg CO<sub>2</sub> eq). Σχήμα 120 Δέντρο διεργασιών SimaPro Σεναρίου 1

### Αξιολόγηση επιπτώσεων Σεναρίου 2

Τα αποτελέσματα της LCIA για τα εξεταζόμενα δομικά στοιχεία παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα 124 ως διάγραμμα 100% για όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων της μεθόδου.

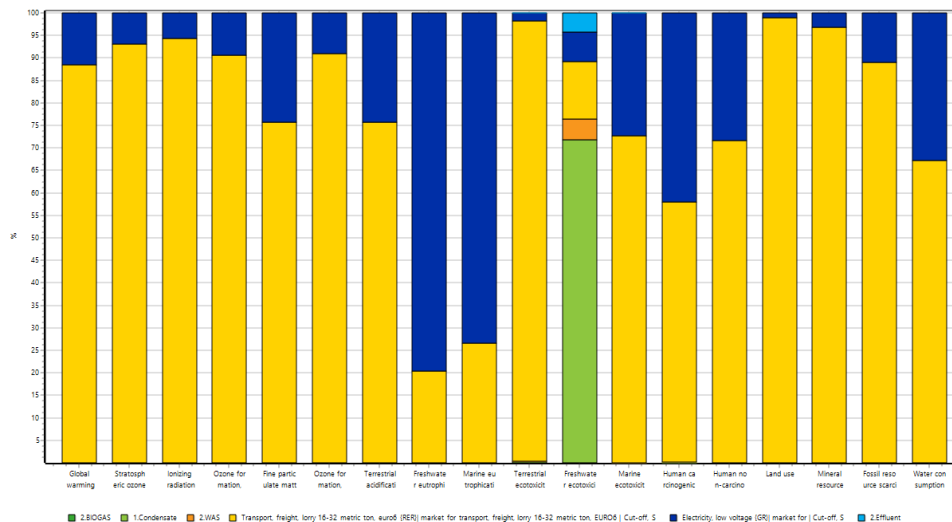
Στο παρακάτω Σχήμα 125 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 2: Αναερόβια Συγχώνευση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος και FMSW condensate. Σύμφωνα με την ανάλυση των περιβαλλοντικών εστιών επιβάρυνσης (Environmental hotspot analysis), η μεταφορά της εισροής του FMSW condensate για την έναρξη της αναερόβιας συγχώνευσης του Σεναρίου 2 αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μερίδιο επιβάρυνσης για τις περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα το ποσοστό % στις 15 από τις 18 κατηγορίες επιπτώσεων που συμβάλλει η μεταφορά κυμαίνεται σε ποσοστά άνω των 50% ενώ φτάνει μέχρι και 99%, ποσοστό που αντιστοιχεί στην κατηγορία επίπτωσης “Χρήση γης”.

Όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια παρατηρείται πως η παρουσία της συμβολή είναι ορατή και στις 18 κατηγορίες επιπτώσεων με τον “Ευτροφισμός των γλυκών υδάτων” και τον “Θαλάσσιο ευτροφισμό” να υπερτερούν με ποσοστά 79,5% και 73,4% αντίστοιχα, ενώ στις υπόλοιπες 16 παρατηρείται ποσοστό συνεισφοράς εύρους 1,02%-32,8%.

Σχετικά με την “Υπερθέρμανση του πλανήτη”, μια κατηγορία επιπτώσεων όντας από τις πιο σημαντικές που απασχολεί τις περισσότερες αναλύσεις κύκλου ζωής, οι συντελεστές που συμβάλλουν για την επιβάρυνση της είναι ο συντελεστής της μεταφοράς σε ποσοστό 88,5% και αυτός της ηλεκτρική ενέργεια με 11,5% συμβολή. Άλλη μια κατηγορία επιπτώσεων την οποία οι ρύποι που παράγονται από την μεταφορά αυξάνουν το αντίκτυπο των βλαβών της, ενώ στο Σχήμα 124 παρουσιάζονται και οι τιμές τους.

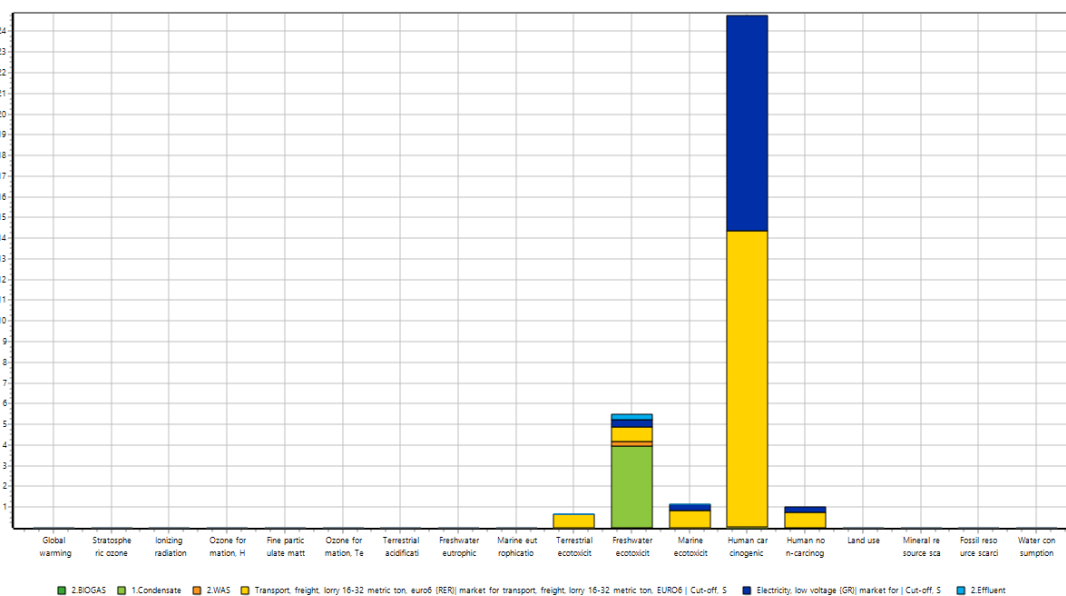


Το WAS, το Biogas, το Effluent και το FMSW condensate δεν παρουσιάζουν σημαντική συνεισφορά στις περισσότερες από τις κατηγορίες επιπτώσεων που αξιολογήθηκαν, με μοναδική εξαίρεση την κατηγορία “Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων” όπου παρατηρείται συμβολή WAS, Effluent και FMSW condensate σε ποσοστά επιβλαβής επίδρασης 4,55%, 4,31% και 71,9% αντιστοίχως.



Σχήμα 124 Characterization - Αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 2

Η ένταξη της κανονικοποίησης (Normalization) στην παρούσα μελέτη εντάσσετε συμπληρωματικά ώστε να μπορέσουν να επισημανθούν πιο σημαντικές κατηγορίες επιπτώσεων που επιβαρύνονται από την διεργασία του Σεναρίου 2, οι οποίες δεν διακρίνονται από το ποσοστό συμβολής των κατηγοριών. Μετά την κανονικοποίησης οι δείκτες κατηγορίας επιπτώσεων έχουν όλοι την ίδια μονάδα, έτσι διευκολύνεται η αναμεταξύ τους σύγκριση.



Σχήμα 125 Normalization - Αποτελέσματα της LCIA για το Σενάριο 2

Από το Σχήμα 125 παρατηρείται πως οι κατηγορίες επιπτώσεων που επηρεάζονται περισσότερο με σειρά σημαντικότητας είναι οι εξής:

- Ανθρώπινη καρκινογόνος τοξικότητα
- Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων
- Θαλάσσια οικοτοξικότητα
- Ανθρώπινη μη-καρκινογόνος τοξικότητα
- Χερσαία οικοτοξικότητα

Στα Παραρτήματα Η-Λ παρουσιάζονται οι πραγματικές τιμές χωρίς κανονικοποίηση των τιμών των αποτελέσματα των κατηγοριών επιπτώσεων που είναι και οι κυριότερες όπως μπορεί να φανεί από το σχήμα 124. Από τα αποτελέσματα των Διαγραμμάτων του characterization, του Normalization καθώς και τις τιμές Παραρτήματα Η-Λ είναι φανερό πως όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ένα ποσοστό επίδρασης δεν είναι από μόνο του αντιπροσωπευτικό. Η απόδειξη φαίνεται από την σύγκριση των Παραρτημάτων Η-Λ όπου οι τιμές του Η φαίνονται μικρότερες από εκείνες του Λ αλλά παρ' όλα αυτά φέρει και τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

### **Μεταφορά (Transportation)**

Από τα αποτελέσματα της κανονικοποίησης η κατηγορία που επρόκειτο να πληγεί περισσότερο από την μεταφορά του FMSW condensate από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου μέχρι τα Κ.Ε.Λ. Λυκόβρυσης είναι εκείνη της “Ανθρώπινης καρκινογόνου τοξικότητας”. Μια πιθανή εξήγηση για την εν λόγω επιβάρυνση από την μεταφορά είναι το γεγονός πως οι ρύποι που εκπέμπονται από την μεταφορά μπορούν να επηρεάσουν την ανθρώπινη υγεία. Το σύνολο των δεδομένων της μεταφοράς αντιπροσωπεύει την υπηρεσία μεταφοράς εμπορευμάτων 1tkm με φορτηγό της κατηγορίας μεγέθους 16-32 μετρικών τόνων μικτού βάρους οχήματος (GVW) και της κατηγορίας εκπομπών EURO6, ενώ σχετικά με τους ρύπους που φέρει ένα EURO6, όπου επιλέχθηκε για την ανάλυση της διεργασίας, καταγράφονται οι εξής: οξείδια του αζώτου, οξείδιο του αζώτου, μεθάνιο, υδρογονάνθρακες μη μεθανίου, αμμωνία, βενζόλιο και μόλυβδος. Έτσι οι χημικές ουσίες αυτές εκτός ότι εισπνέονται καθημερινά από τον άνθρωπο είναι πιθανό να συσσωρευτούν στην ανθρώπινη αλυσίδα και έστω και έμμεσα να εισχωρήσουν στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ η ίδια εξήγηση μπορεί να δοθεί και για την κατηγορία της “Ανθρώπινης μη-καρκινογόνου τοξικότητας”

Σχετικά με τις κατηγορίες “Οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων”, “Θαλάσσια οικοτοξικότητα” και “Χερσαία οικοτοξικότητα” παρατηρείται ότι αναφέρονται και οι τρεις στην οικοτοξικότητα. Ακόμα τα σύνολα δεδομένων του λογισμικού για τις μεταφορές αναφέρονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των μεταφορών, ο οποίος σημαίνει κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και το τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων και των οδικών υποδομών. Έτσι εφόσον η μεταφορά αφορά ολόκληρο τον κύκλο ζωής η επιβάρυνση από την μεταφορά μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι η οικοτοξικότητα αποτελεί μια από τις επικίνδυνες ιδιότητες των αποβλήτων και συγκεκριμένα για τα απόβλητα που προκύπτουν από την επεξεργασία ορυκτών που περιέχουν μέταλλα, όπου η επεξεργασία ορυκτών είναι κομμάτι της.

Τέλος να σημειωθεί πως η βάση δεδομένων της μεταφορά στο λογισμικό SimaPro περιλαμβάνει τις μέσες απαιτήσεις μεταφοράς για το συγκεκριμένο προϊόν εντός της εν λόγω γεωγραφίας, καθώς και εισροές του ίδιου του προϊόντος για την κάλυψη τυχόν απωλειών στο εμπόριο και τις μεταφορές.

### **Ηλεκτρική ενέργεια (Electricity)**

Η επιβάρυνση των κατηγοριών επιπτώσεων από την ηλεκτρική ενέργεια οφείλεται στο γεγονός πως η Ελλάδα ακόμα έχει ακόμα σε μεγάλο ποσοστό διεργασίες οι οποίες λειτουργούν με βάση την βενζίνη, σε σύγκριση με άλλες χώρες. Για τον λόγο αυτό μέχρι να μειωθούν οι διεργασίες με βάση

την βενζίνη (petrol based processes) οι αναλύσεις κύκλου ζωής θα έχουν στα αποτελέσματα τους το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της ενέργειας.

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα ανάλυση κύκλου ζωής μελετήθηκαν δύο κύρια σενάρια:

Το **πρώτο** διαχειριστικό σενάριο προτείνει την απευθείας αναερόβια συν-χώνευση FMSW condensate και Αστικών Λυμάτων σε έναν ταχύρρυθμο αντιδραστήρα με ανακλαστήρες τύπου PABR ( Periodic Anaerobic Baffled Reactor). Το συγκεκριμένο διαχειριστικό σενάριο βασίζεται στην ιδέα της ενίσχυσης των αστικών λυμάτων ως προς την συγκέντρωση οργανικού φορτίου με σκοπό της δημιουργίας ενός κατάλληλου υποστρώματος για την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης.

Ενώ το **δεύτερο** διαχειριστικό σενάριο που προτείνεται στοχεύει στην ένταξη του FMSW condensate στο υφιστάμενο διαχειριστικό μοντέλο των αστικών λυμάτων.

Ως λειτουργική μονάδα λαμβάνεται η παραγωγή υγρού κλάσματος(condensate) της ξήρανσης/τεμαχισμού των τροφικών υπολειμμάτων η οποία είναι 0,2L ανά μέρα ανά κάτοικο. Η εφαρμογή της μελέτης έγινε για 100.000 κατοίκους η παραγωγή του υγρού κλάσματος και ανέρχεται στα 20 m<sup>3</sup> ανά μέρα ανά 100.000 κατοίκους. Ως χώρος επεξεργασίας της συνδιαχείρισης των δύο ρευμάτων λαμβάνεται το Κ.Ε.Λ. Μεταμόρφωσης, μέσης απόστασης 11χλμ. από το αμαξοστάσιο του Δήμου Χαλανδρίου (100000 κατοίκων) στο οποίο και λαμβάνει χώρα η διεργασία της ξήρανσης των ζυμώσιμων τροφικών αποβλήτων.

Κύρια συμπεράσματα από την ανάλυση κύκλου ζωής των δύο σεναρίων, με σειρά σημαντικότητας είναι:

Για το Σενάριο 1: α) Η ανθρώπινη καρκινογόνος τοξικότητα (Human carcinogenic toxicity), επηρεάζεται από τη μεταφορά του condensate και την ενέργεια που καταναλώνεται για την διεργασία, β). Η οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων (Freshwater ecotoxicity), από το Condensate κυρίως λόγω της υψηλής οργανικής φόρτισης, γ). ο ευτροφισμός των γλυκών υδάτων (Freshwater eutrophication), από Effluent (εκροή του PABR), άρα και την παιρετέρω επεξεργασία του χωνεμένου υπολείμματος, δ) η θαλάσσια οικοτοξικότητα (Marine ecotoxicity), επηρεάζεται από την μεταφορά του condensate και την ενέργεια που καταναλώνεται στην διεργασία, ε) η ανθρώπινη μη-καρκινογόνος τοξικότητα (Human non-carcinogenic toxicity), επηρεάζεται επίσης από την μεταφορά του condensate στα ΚΕΛ και την ενέργεια που καταναλώνεται στην διεργασία ζ) ενώ η χερσαία οικοτοξικότητα (Terrestrial ecotoxicity) επηρεάζεται επίσης από την μεταφορά του condensate.

Ενώ για για το Σενάριο 2: α) η ανθρώπινη καρκινογόνος τοξικότητα (Human carcinogenic toxicity), επηρεάζεται από μεταφορά του condensate και την ενέργεια που καταναλώνεται στην διεργασία β) η οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων (Freshwater ecotoxicity), από το condensate κυρίως αλλά και από WAS, μεταφορά και ενέργεια γ) η θαλάσσια οικοτοξικότητα (Marine ecotoxicity), επηρεάζεται από τη μεταφορά του condensate και την ενέργεια που καταναλώνεται στην διεργασία δ) η ανθρώπινη μη-καρκινογόνος τοξικότητα (Human non-carcinogenic toxicity), επηρεάζεται από τη μεταφορά του condensate και την ενέργεια που καταναλώνεται στην διεργασία ε) η χερσαία οικοτοξικότητα (Terrestrial ecotoxicity), από την μεταφορά του condensate.

Με βάσει τα παραπάνω τα κύρια συμπεράσματα που απορρέουν είναι η ανάγκη για επεξεργασία του condensate, η επίπτωση λόγω της μεταφοράς του από το Δήμο στο ΚΕΛ (αυτό θα μπορούσε να μειωθεί αν η κατάσταση γινόταν στο Δήμο και όχι στα ΚΕΛ). Η ενέργεια που καταναλώνεται στις δύο

διεργασίες καθώς και η εκροή του PABR και η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας με σκοπό την επίτευξη των περιβαλλοντικών ορίων ασφαλούς απόρριψης στο περιβάλλον.

## Βιβλιογραφία

ELCD | GHG Protocol. <https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/ELCD> (2 August 2023, date last accessed).

Greece - Countries & Regions - IEA. <https://www.iea.org/countries/greece> (24 August 2023, date last accessed).

Huijbregts M., Hellweg S., Frischknecht R., Hungerbühler K., Hendriks J., 2008.

Huijbregts MAJ, Hellweg S, Frischknecht R, Hungerbühler K, Hendriks AJ. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics* 2008; 64: 798–807.

ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAILED-GUIDANCE-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN. .

Jolliet, O. et al, 2016. ENVIRONMENTAL LIFE CYCLE ASSESSMENT.

Kolotzek, S. et al., 2018. A company-oriented model for the assessment of raw material supply risks, environmental impact and social implications. *Journal of Cleaner Production*: 176

Life cycle-based standards and guidelines - PRé Sustainability. <https://pre-sustainability.com/articles/lca-standards-and-guidelines/> (2 August 2023, date last accessed).

market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6, UPR, ecoinvent 3.6, Consequential | GLAD. <https://www.globallcadataaccess.org/market-transport-freight-lorry-16-32-metric-ton-euro6-upr-ecoinvent-36-consequential-0> (28 August 2023, date last accessed).

Mathioudakis, D.; Karageorgis, P.; Papadopoulou, K.; Astrup, T.F.; Lyberatos, G. Environmental and Economic Assessment of Alternative Food Waste Management Scenarios. *Sustainability* 2022, 14, 9634. <https://doi.org/10.3390/su14159634>

Recchioni M, Mathieux F, Goralczyk M, Schau EM. ILCD Data Network and ELCD Database: current use and further needs for supporting Environmental Footprint and Life Cycle Indicator Projects. 2012;

SimaPro Database Manual Methods Library Title: SimaPro Database Manual Methods Library. 2020;

SimaPro database manual Methods library. 2020.

Understanding Electricity in SimaPro – Long Trail Sustainability. <https://longtrailsustainability.com/understanding-electricity-in-simapro/> (25 August 2023, date last accessed).

Understanding Electricity in SimaPro – Long Trail Sustainability. <https://longtrailsustainability.com/understanding-electricity-in-simapro/> (22 August 2023, date last accessed).

What do the abbreviations enclosed in processes mean?  
<https://support.simapro.com/s/article/What-do-the-abbreviations-in-processes-mean> (22  
August 2023, date last accessed).

Ρουμελιώτη Ηρώ, 2013. «Ανάλυση κύκλου ζωής της μεταλλικής κατασκευής πλοίου»

**Παράρτημα Α: Characterization - Human carcinogenic toxicity – Σενάριο 1**

---

---


---

---

---

---

---



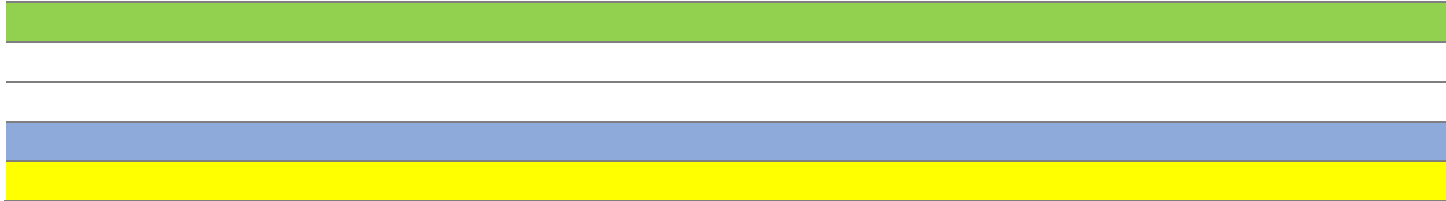
**Παράρτημα Β: Characterization – Freshwater ecotoxicity - Σενάριο 1**

---

---

---

---



**Παράρτημα Γ: Characterization – Freshwater eutrophication -Σενάριο 1**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Παράρτημα Δ: Characterization – Marine ecotoxicity - Σενάριο 1**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Παράρτημα E: Characterization – Human non-carcinogenic toxicity - Σενάριο 1**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Παράρτημα Z: Characterization – Terrestrial ecotoxicity – Σενάριο 1**

---

---

---

---

---

---

---

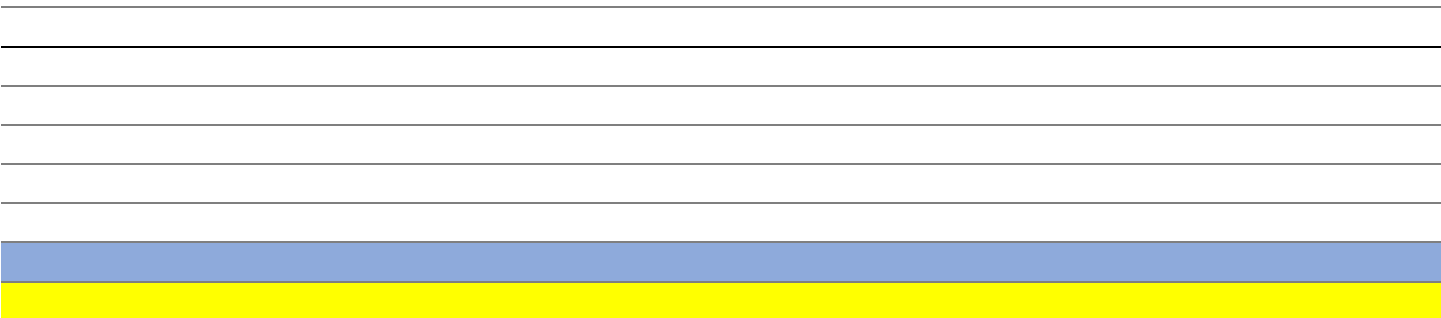
---

---

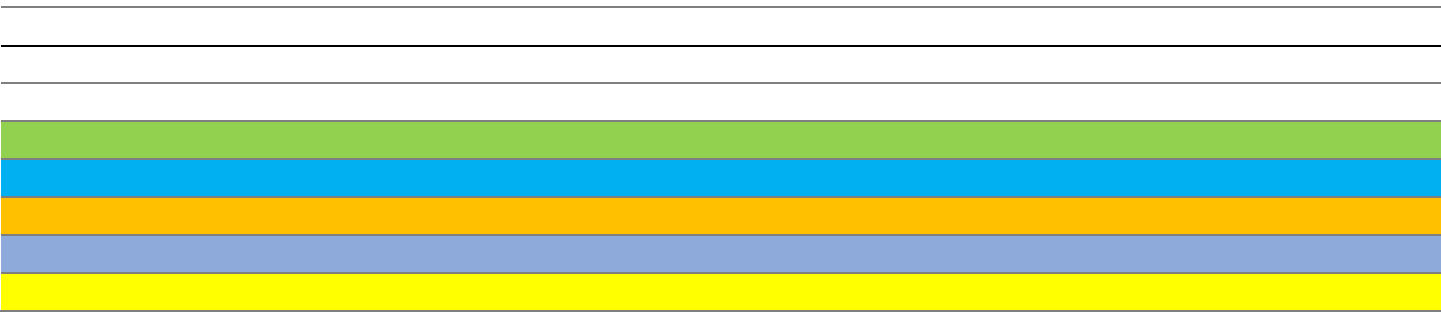
---



**Παράρτημα Η: Characterization - Human carcinogenic toxicity - Σενάριο 2**



**Παράρτημα Θ: Characterization – Freshwater ecotoxicity - Σενάριο 2**



**Παράρτημα Ι: Characterization – Marine ecotoxicity - Σενάριο 2**

---

---


---

---

---

---

---



**Παράρτημα Κ: Characterization – Human non-carcinogenic toxicity - Σενάριο 2**

---

---

---

---

---

---

---





**Παράρτημα Α: Characterization – Terrestrial ecotoxicity – Σενάριο 2**

---

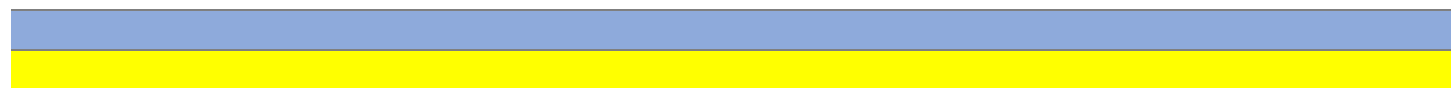
---

---

---

---

---



**D.8.2 Οικονομική μελέτη**

Η οικονομική μελέτη συγχωνεύτηκε και ολοκληρώθηκε στο D7.1 (τεχνοοικονομική μελέτη) για λόγους συνάφειας και πληρότητας.