



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

**Μεθοδολογία Ανάπτυξης και Προσομοίωσης
Βέλτιστων Σεναρίων
Υδρο-Κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης**

Ισιδώρα Χ. Ζέρβα

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Καθηγητής Χ. Μακρόπουλος

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας σηματοδοτεί και το πέρας των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου Χρήστο Μακρόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή, τόσο για το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα που μου ανέθεσε, όσο και για την όλη συνεργασία μας. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Υποψήφιο Δρ. Γεώργιο Καρακατσάνη για το ενδιαφέρον και τη συνεχή του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της ερευνητικής μου εργασίας. Οι γνώσεις και οι εύστοχες υποδείξεις του αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Συμεών Μαλαμή, Επίκουρο Καθηγητή, και Ηλία Παπακωνσταντή, Λέκτορα, για τη συμβολή τους στην εργασία μου, μέσω χρήσιμων παρατηρήσεων και συμβουλών.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω συγκεντρωτικά στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την αδιάκοπη στήριξη τους σε κάθε βήμα αυτής της πορείας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Abstract	ii
Extended Abstract	iii
1. Εισαγωγή	1
1.1. Πλαίσιο Διπλωματικής Εργασίας	1
1.2. Στόχος και Αντικείμενο	2
1.3. Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας	2
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	4
2.1. Κυκλική Οικονομία	4
2.1.1. Ορισμός.....	4
2.1.2. Οι στόχοι της κυκλικής οικονομίας.....	6
2.1.3. Εφαρμογή στο Ελληνικό Παραγωγικό Σύστημα.....	7
2.1.4. Οφέλη	8
2.1.5. Προκλήσεις	9
2.2. Βιομηχανικές και Επιχειρηματικές Περιοχές (ΒΕΠΕ).....	10
2.2.1. Κατηγορίες ΒΕΠΕ.....	10
2.2.2. Βιώσιμες ΒΕΠΕ	11
2.3. Βιομηχανική Οικολογία	13
2.3.1 Ορισμός.....	13
2.3.2. Χαρακτηριστικά της ΒΟ	14
2.3.3. Οι προσεγγίσεις της ΒΟ	15
2.3.4. Οι αρχές της ΒΟ	16
2.4. Βιομηχανική συμβίωση και βιομηχανικά οικοσυστήματα.....	18
2.4.1. Ορισμός Βιομηχανικής Συμβίωσης.....	18
2.4.2. Χαρακτηριστικά Βιομηχανικής Συμβίωσης	18
2.4.3 Περιφερειακές προσεγγίσεις ανάπτυξης συνεργιών	20
2.4.4. Παράμετροι Αποτελεσματικότητας	21
2.4.5. Ορισμός Βιομηχανικού Οικοσυστήματος.....	22
2.4.6. Προκλήσεις στο σχεδιασμό βιομηχανικών οικοσυστημάτων	22
2.4.7. Οφέλη για τη βιομηχανία	23
2.4.8. Οφέλη για το περιβάλλον	24
2.4.9. Οφέλη για την κοινωνία	24
2.4.10. Μεθοδολογίες Βιομηχανικής Συμβίωσης.....	24

2.4.11. Παραδείγματα Βιομηχανικής Συμβίωσης	26
3. Υδρο-κεντρική βιομηχανική συμβίωση (Water Smart Industrial Symbiosis)	32
3.1. Μηδενική Απόρριψη Υγρών Αποβλήτων.....	34
3.2 Χαρακτηριστικά των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων.....	38
3.2.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά	39
3.2.2 Χημικά Χαρακτηριστικά	40
3.2.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά.....	47
3.2.4 Τοξικά χαρακτηριστικά	47
4. Εφαρμογή Πρακτικών Υδρο-Κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης στην Ελλάδα	48
4.1. Οφέλη	48
4.2. Εμπόδια.....	49
5. Μεθοδολογικό Πλαίσιο Ανάπτυξης Σεναρίων Υδρο—κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης	50
5.1. Μέθοδος/Ανάλυση Εισροών – Εκροών (Input-Output Analysis)	50
5.1.1. Εισαγωγή.....	50
5.1.2. Διαρθρωτικές Μεταρρυθμίσεις (Structural Economics)	52
5.1.3. Ορισμός.....	54
5.1.4. Παράδειγμα Υπολογισμού εισροών- εκροών.....	55
5.1.5. Κατηγορίες μοντέλων ανάλυσης εισροών- εκροών (IO)	59
5.2. Διάγραμμα Sherwood	64
5.3. Ανάπτυξη Λειτουργικού Πλαισίου Εισόδου – Εξόδου με τη Χρήση Python	66
5.3.1. Συνοπτική Περιγραφή Αλγορίθμου	67
6. Μελέτη Περίπτωσης	70
6.1. Ανάλυση και Κατηγοριοποίηση των Εισροών & Εκροών.....	71
6.2. Αναζήτηση Σεναρίων Βιομηχανικής Συμβίωσης	75
6.2.1. Σενάριο 1 ^ο – Ποσοστό πώλησης 0%	75
6.2.2. Σενάριο 2 ^ο – Ποσοστό πώλησης 0,6%	81
6.2.3. Σενάριο 3 ^ο – Ποσοστό πώλησης 1,2%	85
6.3. Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων	89
7. Συμπεράσματα/Περαιτέρω Μελέτη.....	91
7.1. Συμπεράσματα.....	91
7.2. Περαιτέρω έρευνα.....	93
8. Βιβλιογραφία	94

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1.1.1: Σχηματική απεικόνιση παραδοσιακού γραμμικού μοντέλου σε μοντέλο κυκλικής ροής / κλειστού βρόγχου. (Πηγή: Ellen MacArthur, 2015).....	4
Εικόνα 2.1.1.2: Σχηματική Απεικόνιση Αλυσίδων Μεταφοράς Βρόχων (Ellen MacArthur, 2014)	5
Εικόνα 2.4.11: Το συμβιωτικό δίκτυο της περιοχής Kalundborg	29
Εικόνα 2.4.11.2: Κύριες συνέργειες και ανταλλαγές πόρων στο Δίκτυο Helsingborg IS. (Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις ροές υλικού μεταξύ των ηθοποιών και τα κόκκινα βέλη περιγράφουν τους φορείς ενέργειας που αποστέλλονται μεταξύ των εταιρών ή της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Από το δίκτυο κάθε εταίρος, καθώς και άλλοι καταναλωτές, είναι σε θέση να χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια.).....	31
Εικόνα 5.2.1. Διάγραμμα Sherwood που δείχνει τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης χημικού στοιχείου και το κόστος ανάκτησής του. (Harper & Graedel, 2004).....	65
Εικόνα 5.3.1 : Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου	67
Εικόνα 6.2.1.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου	75
με ποσοστό πώλησης 0%.....	75
Εικόνα 6.2.1.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.	76
Εικόνα 6.2.1.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.	77
Εικόνα 6.2.1.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.	78
Εικόνα 6.2.1.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση. .	79
Εικόνα 6.2.1.6.: Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος.....	80
Εικόνα 6.2.2.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.	81
Εικόνα 6.2.2.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.....	82
Εικόνα 6.2.2.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.....	82
Εικόνα 6.2.2.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας σεναρίου, με ποσοστό πώλησης 0,6 %.....	83
Εικόνα 6.2.2.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %	83
Εικόνα 6.2.2.6 : Κέρδη κάθε βιομηχανίας-πωλητή, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %	84
Εικόνα 6.2.2.7 : Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.....	84
Εικόνα 6.2.2.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.	85
Εικόνα 6.2.3.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2%.....	86
Εικόνα 6.2.3.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.....	86
Εικόνα 6.2.2.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %	87
Εικόνα 6.2.3.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.....	87
Εικόνα 6.2.3.6 : Κέρδη κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.....	88
Εικόνα 6.2.3.7. : Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.....	88

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1.4.1. : Σενάριο 1: Πίνακας ροής που αντιστοιχεί στην οικονομία που απαιτεί την επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων.	58
Πίνακας 5.1.4.2. : Σενάριο 2: Πίνακας ροής που αντιστοιχεί στην οικονομία που μπορεί να υποστεί την απόρριψη κάποιας ποσότητας υγρών αποβλήτων.	58
Πίνακας 5.1.5. : Αναπαράσταση των μοντέλων WEIO (A), WIO (B), PIO (C) και HIO (D).	64
Πίνακας 5.3.1. : Δεδομένα Εισόδου - Εξόδου.	66
Πίνακας 6.1.1. : Κατηγοριοποίηση Εισροών – Εκροών.	72
Πίνακας 6.1.2. : Δημιουργία γραμμικών σχέσεων Κόστους ανάκτησης - Συγκέντρωσης Χημικού Στοιχείου.	73
Πίνακας 6.1.3. : Κόστη ανάκτησης χημικών στοιχείων.	73
Πίνακας 6.1.4. : Τιμή αγοράς χημικών στοιχείων.	74
Πίνακας 6.3.1. : Αποτελέσματα συμβιωτικών σεναρίων με ποσοστό πώλησης 0%-0,6%-1,2%.	90

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσει μια μεθοδολογία για την υποστήριξη μιας υδρο-κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης (Water Smart Industrial Symbiosis) στην παραγωγική διαδικασία βιομηχανικών μονάδων με μακροπρόθεσμο στόχο την επίτευξη Zero Liquid Discharge (μηδενική απόρριψη υγρών αποβλήτων) σε επίπεδο βιομηχανικής περιοχής.

Στη βιομηχανική συμβίωση, η οποία αποτελεί σημαντικό ερευνητικό τμήμα του αναδυόμενου πεδίου της Βιομηχανικής Οικολογίας στα πλαίσια της Κυκλικής Οικονομίας, επιζητείται η συστηματική αύξηση της αποδοτικότητας του νερού, της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές διεργασίες με τη δημιουργία διαδρομών διασύνδεσης (pathways) μεταξύ των διαφορετικών βιομηχανικών μονάδων, κατά μήκος των οποίων τα υγρά απόβλητα της μίας βιομηχανίας γίνονται, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, πρώτες ύλες για την επόμενη. Η εργασία συζητά, επίσης, οφέλη και πιθανά εμπόδια για την υιοθέτηση πρακτικών υδρο-κεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης στην Ελλάδα.

Αρχικά, μέσω της ανάλυσης εισροών-εκροών και του διαγράμματος Sherwood δημιουργείται ένα λειτουργικό πλαίσιο εισόδου-εξόδου σε περιβάλλον Python, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα βιομηχανικό σύστημα για την περιγραφή και την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους διαδικασιών παραγωγής και των συναφών ροών υλικών. Αναζητούνται βέλτιστες διαδρομές διασύνδεσης μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων και αναπτύσσονται εναλλακτικά σενάρια. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων βάση περιβαλλοντικών και οικονομικών κριτηρίων.

Τέλος, παρατίθενται και σχολιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων και παρουσιάζονται προτάσεις και προτροπές για περαιτέρω έρευνα και μελλοντικές εργασίες.

Abstract

The aim of this study is to develop a methodology to support a Water Smart Industrial Symbiosis in the production process of industrial units with the long-term goal of achieving Zero Liquid Discharge at the industrial area level.

In industrial symbiosis, which is an important research part of the emerging field of Industrial Ecology within the Circular Economy, the systematic increase of the efficiency of water, energy and materials used in industrial processes is examined by creating interconnection paths (pathways) between the different industrial units, along which the liquid waste of one industry becomes, after proper treatment, raw materials for the next. This study also discusses the benefits and potential obstacles to the implementation of Water Smart Industrial Symbiosis practices in Greece.

Initially, using the method of input-output analysis and the Sherwood plot a functional input-output framework is created in a Python environment, which can be used in an industrial system to describe and analyze the relationships between individual production processes and related material flows. Optimal interconnection paths between industrial units pursued and alternative scenarios are developed. Then, the symbiotic scenarios are evaluated based on environmental and economic criteria.

Finally, the conclusions that emerged from the assessment of the symbiotic scenarios are listed and commented, as well as suggestions and prompts for further research are presented.

Extended Abstract

With industrialization and urbanization, resources are being used remarkably to maintain the rapid growth of the economy and the daily needs of the inhabitants. The use of the Earth's resources at the current rate of growth is leading the planet to environmental degradation. The key challenge for the global economy is to decouple economic growth from resource constraints. Unless action is taken to address the current situation, aggregate demand for reserves is expected to reach 130 billion tonnes by 2050. This marks a major increase from the 50 billion tonnes in 2014. However, wastewater pollution is considered to be one of the most difficult environmental pollution issues and has gained more attention worldwide (Eurostat, 2016). These resource shortages and significant environmental pressures will expose countries and businesses to significant risks. At this point, the concept of the Circular Economy and more specifically, of the Water Smart Industrial Symbiosis emerges, which concerns the cooperation between the industrial units in the management of resources, especially the by-products, so that the liquid waste of a company (outputs) is, after proper processing, the entry of raw materials into the other (inputs).

The aim of the dissertation is the study for the application of a method of Water Smart Industrial Symbiosis with the aim of zero discharge of liquid waste. This project introduces an approach that helps decision makers to systematically investigate various wastewater treatment and reuse scenarios between a complex of facilities with the aim of zero liquid discharge.

In the first chapter of the dissertation a reference is made to the general topic that this study deals with, the basic definitions are given as well as the goals and the purpose that it serves. Furthermore, in the second chapter, a bibliographic review is being made for the key concepts underpinning the development of this study. Based on Kirchherr, et al., 2017, the circular economy gives rise to the traditional linear 'produce-use-discard' model, in which resources are mined, used, consumed and then discarded before being transferred to the end of the value chain. The linear model was implemented by a system where input goods are cheap and widely available but no longer viable, making it necessary to close the loop to achieve a sustainable growth model. The circular economy is better understood by looking at the natural, biosystems that function optimally because each of their elements is part of the whole (industrial ecology). The term "industrial ecology" was introduced and became more widely known in 1989 by Frosch and Gallopoulos (1989), who proposed the evolution of industrial activity in the direction of the structure and operation of a natural ecosystem. (Hadjibiros & Dermatas, 2007; Hadjibiros, Dermatas and Laspidou, 2011). The authors argue that just as natural ecosystems are characterized by a high degree of interdependence and integration, so industrial

ecosystems should not produce waste but secondary resources that can feed other adjacent and possibly adjacent productive activities. The way in which the principles of industrial ecology can be put into practice is the industrial symbiosis and the place of application the eco-industrial park / industrial ecosystem, concepts that are analyzed below. Industrial Symbiosis is based on the principles of Industrial Ecology and refers to the network of product, by-product and waste exchanges that reduce the ecological footprint of industrial areas (Kurup et al. 2005). It is a systemic approach to a more sustainable and integrated industrial system, which identifies business opportunities that utilize underutilized resources (such as materials, energy, water, know-how, etc.) (Lombardi and Laybourn, 2012). The set of companies that have such a partnership is called the Industrial Ecosystem.

As mentioned before, environmental pollution issues have arisen as a matter of urgent need. More specifically, pollution from industrial liquid waste is considered to be one of the most difficult issues of environmental pollution and has gained more attention worldwide. Developing effective wastewater disposal strategies implies a comprehensive understanding of the potential impacts on public health, agricultural practices, and other environmental concerns. For these reasons, some industrial cities are beginning to impose policies that include zero waste disposal (ZLD) practices for wastewater disposal. ZLD is a treatment process that aims to remove all liquid waste from a system. The aim is to reduce waste and produce water suitable for reuse (eg irrigation), thus saving money and improving the environment. In consequence, the next chapter develops the concept of Water Smart Industrial Symbiosis (WSIS) with the aim of Zero Liquid Disposal (ZLD), in which water/wastewater plays a key role both as a reusable resource but also as a vector for energy and materials to be extracted, treated, stored and reused within a dynamic socio-economic and business oriented industrial ecosystem. The possible benefits and obstacles for the adoption of such practices in Greece are, also, presented. One of the most important benefit is that the WSIS can contribute significantly reducing the discharge of pollutants into water systems through the recovery of chemical elements from wastewater, reducing the over-pumping of groundwater systems by reusing water, in the supply or enrichment of groundwater aquifers through surface filtration or directly through drilling with treated water from sewage and wastewater. The most important obstacle regards the institutional framework of the country is not distinguished by an integrated legislative approach to achieve Industrial Symbiosis, in general.

As detailed below, a methodological framework for the development of Water Smart Industrial Symbiosis Optimal Scenarios. This framework is based on the logic of Input-Output Analysis and Sherwood plot to develop an algorithm, in Python environment, in order to describe and analyze the relationships between the individual production processes and related material flows that will

examine possible trades between the industrial units of an industrial area and will evaluate them based on environmental and economic criteria. Input-output economics, an important formal model, can identify stocks and flows of energy and other materials from extraction through production and consumption to recycling or disposal. The calculation of inputs-outputs, including waste, reflects the separate but comprehensive analysis of natural reserves and flows, as well as prices and costs. In 1994, Allen and Behmanesh proposed that the “Sherwood Plot” could be used to indicate the recycling potential of material waste streams. More recently, Johnson et al. consider applying this same approach to product recycling. The “Sherwood Plot” indicates a close relationship between the recovery cost of a material and its dilution ($1 / \text{concentration}$) in the feed stream. According to the logic of the above methods, the present dissertation attempts to develop a system that will be able to manage data from the industries concerned, to process and store it in such a way that it is easily manageable. At the same time, it should be able to offer effective presentation of these, with the aim of better informing the final buyer / consumer, with the ultimate goal of saving, reducing waste production, improving relations with other industries / companies and developing a "green" image of the industry / company. It was necessary to select specific industries but also to sort their data, in such a way as to serve the purposes of the work, which were classified according to the European Waste Catalogue (EWC). The industrial units that have been chosen for the creation of the case study exist in Greece and their capacities are corresponding to the capacities of existing units. In an effort to develop an approach based on the extraction and exploitation of materials contained in industrial wastewater streams, a tool, in python environment, has been developed to optimize and control the relevant processes, evaluate their costs and benefits, and assist stakeholders to identify them evaluating and exploring alternative symbiotic scenarios associated with emerging business opportunities. Specifically, it describes and analyzes the relationships between the individual production processes and the associated material flows, it examines possible symbiotic actions between the industrial units of an industrial area and creates symbiotic scenarios and evaluates them.

From the evaluation of the symbiotic scenarios, it was observed that contrary to the concept of pollution prevention and zero waste, symbiosis can work better when industrial plants produce large amounts of wastewater. This situation seems to be contrary to the concept of ecological efficiency and the "green" image. Also, the greatest economic benefit can occur when more industries manage to reuse and buy and sell at the same time. If there were more industries there would be more chances for buying and selling in order to avoid outflows due to excess or inability to find a buyer. Water Smart Industrial Symbiosis supports the competitiveness and viability of businesses, by providing cheap raw materials, countering the forthcoming increase in the prices of limited raw materials and helping to save costs in Industries. Water and wastewater play a key role both as a reusable resource, but also

as a source of energy and materials for export, treatment, storage and reuse within a dynamic economic and business oriented industrial ecosystem. The focus of the industrial sector on sustainable development and the circular economy creates respect for the environment, responsible entrepreneurship and a cohesive society. It creates at the same time new business opportunities, but also seamless access of the industry to cheap raw materials and import substitution.

The study carried out and focused mainly on the recovery of metals from liquid waste, provides the opportunity for further research and analysis. Indicatively, the main axes that concern the development of the present research work are:

- Creating a list of Optimal Symbiotic Interventions, aiming at increasing the symbiotic actions and the "closing of the open streams", such as anaerobic digestion unit, integrated waste recycling network, central liquid waste treatment unit etc. These units are a supporting infrastructure that will be provided by the industrial area in order to strengthen the circular economy. The creation of scenarios and the consideration of carrying out some optimal symbiotic intervention, depends on the existing industrial units and the streams of inputs and outputs.
- Development of large-scale applications so that the tool is considered not only in industrial areas but also in global supply chains taking into account additional economic factors, such as transport costs.
- Upgrade the tool to reuse water with the aim of restoring water systems.
- Upgrade the tool with additional criteria for the exchange of materials and processing costs, in order to meet the needs of the required quality of raw materials.
- Possible common management of industrial waste with waste of different origins.
- Creating of a platform, in which the possibilities of utilization of the by-products will be recorded, thus assisting the design of the symbiotic networks. To achieve this, the cooperation of all stakeholders (entrepreneurs and management) is a prerequisite, in order to create a common code of communication.

1. Εισαγωγή

1.1. Πλαίσιο Διπλωματικής Εργασίας

Η χρήση των πόρων της Γης με τον σημερινό ρυθμό αύξησης οδηγεί τον πλανήτη στην περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η βασική πρόκληση για την παγκόσμια οικονομία είναι η αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τον περιορισμό των πόρων. Εάν δεν γίνουν διορθωτικές κινήσεις για την αντιμετώπιση της τρέχουσας κατάστασης, η συνολική ζήτηση για αποθέματα πόρων που σπανίζουν αναμένεται να φτάσει τους 130 δισεκατομμύρια τόνους έως το 2050. Αυτό σηματοδοτεί μια μεγάλη αύξηση από τα 50 δισεκατομμύρια τόνους που ήταν το 2014. Ακόμη και με μια αισιόδοξη πρόβλεψη για την τεχνολογική καινοτομία, η οικονομία είναι απίθανο να είναι σε θέση να παράγει περισσότερα από 80 δισεκατομμύρια τόνους, αφήνοντας ένα έλλειμμα περίπου 40 δισεκατομμύρια τόνων έως το 2050 (Eurostat, 2016). Οι εν λόγω ελλείψεις θα εκθέσουν τις χώρες και τις επιχειρήσεις σε σημαντικούς κινδύνους. Στο σημείο αυτό ξεπροβάλλει για πρώτη φορά η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας (Circular Economy) (Αβανίδης 2017).

Η κυκλική οικονομία προκαλεί το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο "παράγω - χρησιμοποιώ - απορρίπτω", στο οποίο οι πόροι εξορύσσονται, χρησιμοποιούνται καταναλώνονται και στην συνέχεια απορρίπτονται πριν μεταβιβαστούν στο τέλος της αλυσίδας αξίας. Το γραμμικό μοντέλο έγινε πράξη από ένα σύστημα όπου τα εμπορεύματα εισροών είναι φθηνά και ευρέως διαθέσιμα, αλλά δεν είναι πλέον βιώσιμο, καθιστώντας αναγκαίο το να "κλείσει ο βρόχος" (close the loop) για να επιτύχει ένα μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης. (Kirchherr, et al., 2017).

Μιλώντας για βιώσιμη ανάπτυξη, η Βιομηχανική Οικολογία (Industrial Ecology) βασίζεται σε μια προσέγγιση προσανατολισμένη στο σύστημα για την ενσωμάτωση της ανθρώπινης οικονομικής δραστηριότητας και της διαχείρισης των υλικών σε ένα θεμελιώδες βιολογικό, χημικό και φυσικό παγκόσμιο σύστημα. Αποτελεί ένα ευρύ, ολιστικό πλαίσιο για την καθοδήγηση του μετασχηματισμού του βιομηχανικού συστήματος σε βιώσιμη βάση και αυτό αποτελεί μια βαθιά μεταστροφή από ένα γραμμικό μοντέλο σε ένα μοντέλο κλειστού βρόχου που μοιάζει πολύ με τις κυκλικές ροές οικοσυστημάτων.

Ο τρόπος με τον οποίο οι αρχές της βιομηχανικής οικολογίας μπορούν να τεθούν σε πρακτική εφαρμογή είναι η Βιομηχανική Συμβίωση (Industrial Symbiosis) η οποία αποτελεί μέσο εφαρμογής της κυκλικής οικονομίας (Λοϊζίδου, 2014). Ως Βιομηχανική Συμβίωση ορίζεται η ανταλλαγή υπηρεσιών, πόρων και ενδιάμεσων προϊόντων δημιουργώντας μια αλυσίδα νέων συνεργασιών

μεταξύ των βιομηχανιών, προκειμένου να δημιουργηθούν νέες αξίες, να μειωθεί το κόστος της παραγωγής με ταυτόχρονη βελτίωση του περιβάλλοντος αξιοποιώντας τα βιομηχανικά απόβλητα.

1.2. Στόχος και Αντικείμενο

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη για την εφαρμογή μιας μεθόδου Υδρο-βιομηχανικής συμβίωσης με μακροπρόθεσμο στόχο τη μηδενική απόρριψη υγρών αποβλήτων. Το έργο αυτό εισάγει μια προσέγγιση που βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να διερευνήσουν συστηματικά διάφορα σενάρια επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων μεταξύ ενός συμπλέγματος εγκαταστάσεων με στόχο τη μηδενική απόρριψή τους. Η εργασία συζητά, επίσης, οφέλη και πιθανά εμπόδια για την υιοθέτηση πρακτικών υδρο-κεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης στην Ελλάδα.

1.3. Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται μια αναφορά στο γενικότερο θέμα που πραγματεύεται η εργασία, δίνονται οι βασικοί ορισμοί καθώς επίσης ορίζονται οι στόχοι και ο σκοπός που αυτή εξυπηρετεί.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση της θεωρίας που έχει παραχθεί γύρω από την Κυκλική Οικονομία, τις Βιομηχανικές περιοχές, την Βιομηχανική Οικολογία, και την Βιομηχανική Συμβίωση. Αναφέρονται, επίσης, μερικές εφαρμογές της Βιομηχανικής Συμβίωσης στην Ευρώπη.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στην έννοια της Υδρο-κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης με στόχο τη Μηδενική Απόρριψη Αποβλήτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πιθανά οφέλη και εμπόδια για την υιοθέτηση τέτοιων πρακτικών στην Ελλάδα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το Μεθοδολογικό Πλαίσιο Ανάπτυξης Σεναρίων Υδρο-κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης το οποίο βασίζεται στη λογική της Ανάλυσης Εισροών-Εκροών και του διαγράμματος Sherwood ώστε να αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος, σε περιβάλλον Python, με σκοπό την περιγραφή και την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους διαδικασιών παραγωγής και των συναφών ροών υλικών που θα εξετάζει πιθανές συμβιωτικές δράσεις μεταξύ των βιομηχανικών

μονάδων μιας βιομηχανικής περιοχής, θα δημιουργεί συμβιωτικά σενάρια και θα τα αξιολογεί βάσει περιβαλλοντικών και οικονομικών κριτηρίων.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύεται η μελέτη περίπτωσης, γίνεται κατηγοριοποίηση των εισροών και εκροών των βιομηχανιών και πραγματοποιείται αξιολόγηση των σεναρίων βάση περιβαλλοντικών και οικονομικών κριτηρίων.

Στο έβδομο κεφάλαιο, παρατίθενται και σχολιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων. Επιπλέον, παρουσιάζονται προτάσεις και προτροπές για περαιτέρω έρευνα και μελλοντικές εργασίες.

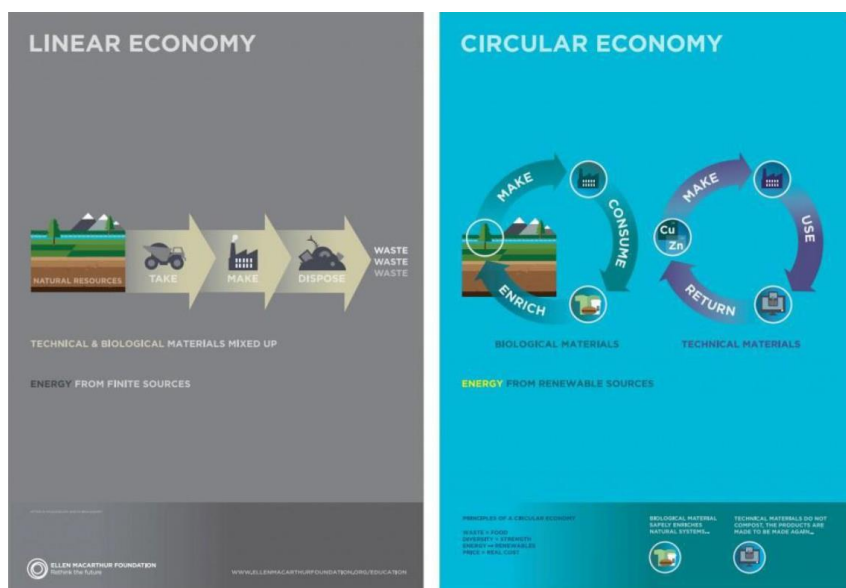
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Κυκλική Οικονομία

2.1.1. Ορισμός

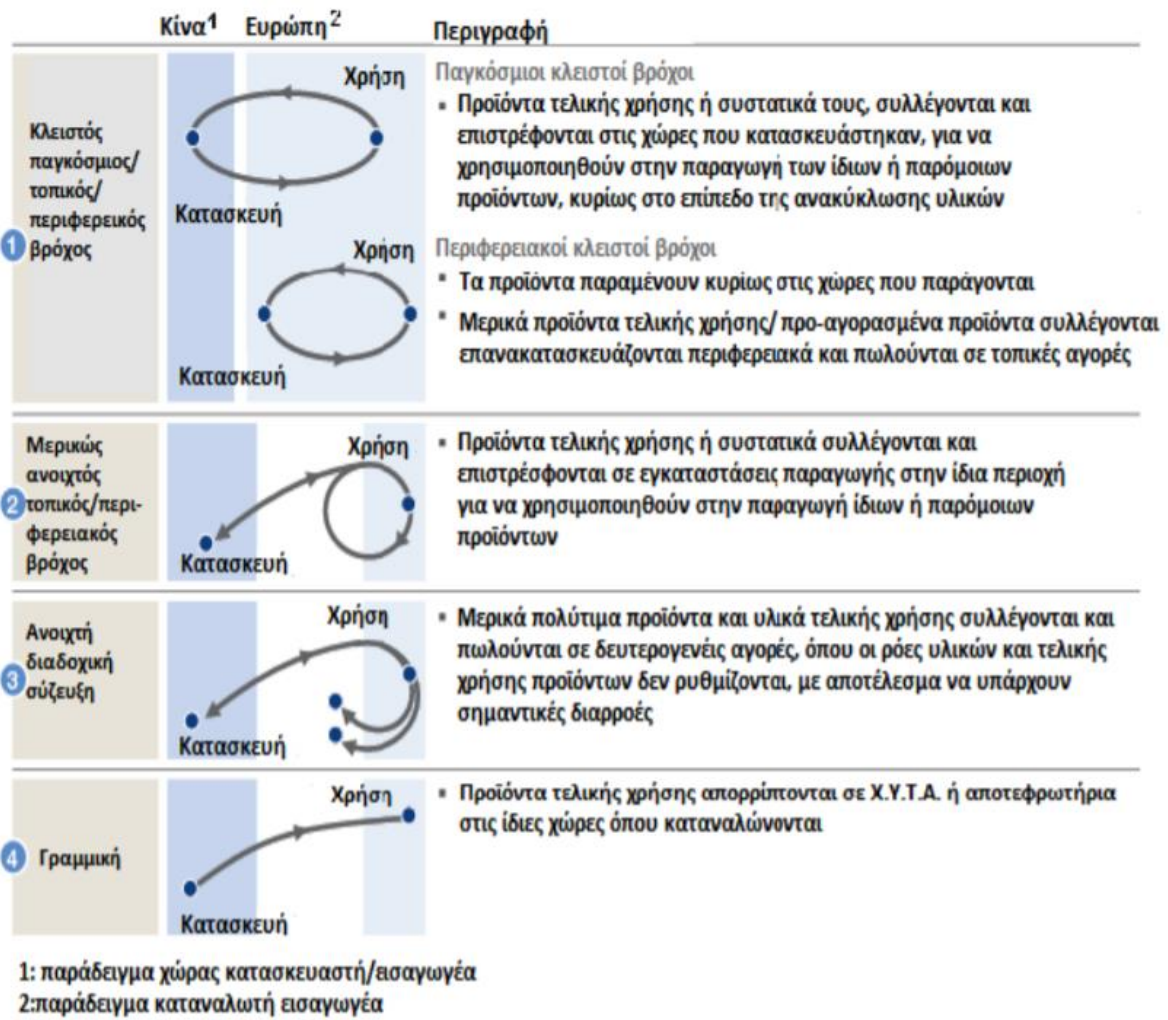
Η έννοια της κυκλικής οικονομίας έρχεται να ανταποκριθεί στην φιλοδοξία για αειφόρο ανάπτυξη στα πλαίσια της αυξανόμενης πίεσης από την παραγωγή και κατανάλωση των πόρων και του περιβάλλοντος του πλανήτη. Αποτελεί ένα οικονομικό μοντέλο που αποσκοπεί στην εξάλειψη των αποβλήτων και τη συνεχή χρήση των πόρων. Χαρακτηρίζεται από την επαναχρησιμοποίηση, κοινή χρήση, επισκευή, ανακαίνιση, ανακατασκευή και ανακύκλωση για τη δημιουργία ενός συστήματος κλεισίματος βρόχου, ελαχιστοποιώντας τη χρήση των εισροών πόρων και τη δημιουργία αποβλήτων, ρύπανσης και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η προσέγγισή της αποτελεί μια εναλλακτική λύση έναντι του γραμμικού μοντέλου “παράγω - χρησιμοποιώ - απορρίπτω” (“make, use, dispose”), και στοχεύει στην αξία των προϊόντων και των υλικών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και στην ανάκτηση πρώτων υλών από αυτά για την επόμενη χρήση τους. (Εικόνα 2.1.1.1)

Η κυκλική οικονομία γίνεται καλύτερα κατανοητή εξετάζοντας τα φυσικά, βιοσυστήματα που λειτουργούν με βέλτιστο τρόπο διότι το καθένα από τα στοιχεία τους εντάσσεται στο σύνολο (**βιομηχανική οικολογία**). Τα προϊόντα σχεδιάζονται με στόχο να εντάσσονται σε κύκλους υλικών, με αποτέλεσμα τα υλικά να μεταφέρονται με τέτοιο τρόπο ώστε η προστιθέμενη αξία να διατηρείται όσο το δυνατόν περισσότερο - ενώ τα υπολειμματικά απόβλητα να προσεγγίζουν το μηδέν.



Εικόνα 2.1.1.1.: Σχηματική απεικόνιση παραδοσιακού γραμμικού μοντέλου σε μοντέλο κυκλικής ροής / κλειστού βρόχου. (Πηγή: Ellen MacArthur, 2015)

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται διαφορετικά αρχέτυπα βρόχων της κυκλικής οικονομίας (κλειστοί / ανοιχτοί βρόγχοι), αριθμημένα σύμφωνα με την σειρά προτεραιότητας που προτείνει η κυκλική οικονομία.



Εικόνα 2.1.1.2: Σχηματική Απεικόνιση Αλυσίδων Μεταφοράς Βρόχων (Πηγή: Ellen MacArthur, 2014)

2.1.2. Οι στόχοι της κυκλικής οικονομίας

Η αναθεωρημένη νομοθετική πρόταση σχετικά με τα απόβλητα θέτει σαφείς στόχους για τη μείωση των αποβλήτων και την ανακύκλωση (Circular Economy strategy,2014).

- Κοινός στόχος για όλη την ΕΕ για την ανακύκλωση του 65% των αστικών αποβλήτων ως το 2030.
- Κοινός στόχος για όλη την ΕΕ για την ανακύκλωση του 75% των απορριμμάτων συσκευασίας ως το 2030.
- Δεσμευτικός στόχος σχετικά με την υγειονομική ταφή, για τη μείωση της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στο 10% μέσω της ταφής υπολειμμάτων κατά το μέγιστο όλων των αποβλήτων ως το 2030.
- Απαγόρευση της υγειονομικής ταφής των χωριστά συλλεγόμενων αποβλήτων.
- Προώθηση οικονομικών μέσων για την αποθάρρυνση της υγειονομικής ταφής.
- Συγκεκριμένα μέτρα για την ενίσχυση της βιομηχανικής «συμβίωσης» (industrial symbiosis), δηλαδή τη μετατροπή ενός υποπροϊόντος μιας βιομηχανίας σε πρώτη ύλη μιας άλλης βιομηχανίας.

2.1.3. Εφαρμογή στο Ελληνικό Παραγωγικό Σύστημα

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας είναι εύκολα προσαρμόσιμο στην ελληνική οικονομία λόγω της πληθώρας ευκαιριών και δυνατοτήτων αξιοποίησης πόρων που παρουσιάζει, της διαθέσιμης γνώσης και εξειδίκευσης των νέων επιστημόνων αλλά και των αλλαγών που γίνονται αυτή την περίοδο στη χώρας μας, γενικότερα στην οικονομία και την ανάπτυξη αλλά και ειδικότερα στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων. Αποτελεί μια μείζονα και επιτακτική αναγκαιότητα εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης που παρουσιάζει η Ελλάδα αλλά και των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων και των ιδιαίτερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών της χώρας (πχ. νησιωτικότητα, απομακρυσμένες – ορεινές περιοχές).

Η ολοκλήρωση των Περιφερειακών Σχεδιασμών, η έναρξη κατασκευής έργων επεξεργασίας σύμμικτων απορριμμάτων αλλά και καθαρών ρευμάτων (πχ. οργανικό), η αξιοποίηση Compost στην γεωργική παραγωγή είναι ενδεικτικοί τομείς της κυκλικής οικονομίας όπου απαιτούνται παράλληλες δράσεις κανονιστικών ρυθμίσεων και προδιαγραφών, ανάπτυξης νέας επιχειρηματικότητας, χρηματοδότησης, περιβαλλοντικής βιομηχανίας και οργάνωσης θυλάκων, κλπ.

Η κρίση στην οποία βρίσκεται η χώρα μας τα τελευταία χρόνια, η ανεργία ιδιαίτερα των νέων και η υπό-ανάπτυξη δημιουργούν περισσότερες ευκαιρίες στην Κυκλική Οικονομία. Η έλλειψη διαθέσιμων κεφαλαίων για αγορά πρώτων υλών, η ευελιξία των μικρομεσαίων και των κοινωνικών επιχειρήσεων, η ανάγκη για εργασία των νέων επιστημόνων, σε συνδυασμό με τις υποχρεώσεις της περιβαλλοντικής νομοθεσίας τροφοδοτούν τις πρωτοβουλίες ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Η κυκλική οικονομία στην Ελλάδα μπορεί να τροφοδοτήσει ένα ποιοτικό άλμα στην οικονομία, που θα αποτελεί αναπτυξιακό μετασχηματισμό. Δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, τροφοδοτεί την μικρομεσαία επιχειρηματικότητα, τη δημιουργία νέων επαγγελματιών και την κοινωνική οικονομία, που είναι ακόμα σε πολύ χαμηλό επίπεδο στην Ελλάδα.

Περαιτέρω πλεονεκτήματα είναι η αποκέντρωση της μεταποίησης που δημιουργεί η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση, ενώ είναι συμβατή και φιλική προς τον ελληνικό παραγωγικό ιστό που χαρακτηρίζεται από μικρό μέγεθος επιχειρήσεων. Υποστηρίζει την ανταγωνιστικότητα και βιωσιμότητα των επιχειρήσεων, εφόσον εξασφαλίζει φθηνές πρώτες ύλες, αντιμετωπίζει την επερχόμενη αύξηση των τιμών των περιορισμένων πρώτων υλών και βοηθάει την εξοικονόμηση κόστους στις Βιομηχανίες. Επίσης δημιουργεί νέα επαγγελματική και επιχειρηματική ύλη με πραγματικό προϊόν και όχι υπηρεσίες ενώ η μετατροπή των καταναλωτών σε χρήστες υιοθετεί καταναλωτικές τάσεις προς προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον, χωρίς να υποτιμούμε την επίτευξη ασφαλών λύσεων στην απόρριψη των αποβλήτων, χωρίς πρόστιμα από την ΕΕ.

2.1.4. Οφέλη

Η κυκλική οικονομία προσφέρει μια ευκαιρία να επανεφεύρουμε την οικονομία μας, καθιστώντας την πιο βιώσιμη και ανταγωνιστική. Αυτό αποφέρει οφέλη για τις ευρωπαϊκές επιχειρήσεις, τις βιομηχανίες και τους πολίτες, όπως:

- πιο καινοτόμους και αποτελεσματικούς τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης
- προστασία των επιχειρήσεων από την έλλειψη πόρων και τις ασταθείς τιμές
- βελτιστοποίηση της διαχείρισης των αποβλήτων που ενισχύει την ανακύκλωση και μειώνει την υγειονομική ταφή
- εξοικονόμηση ενέργειας καθώς λιγότερες διαδικασίες παραγωγής απαιτούν λιγότερη ενέργεια
- τα οφέλη για το περιβάλλον όσον αφορά το κλίμα και τη βιοποικιλότητα, τη ρύπανση του αέρα, του εδάφους και των υδάτων.

Τέσσερα επιπρόσθετα οφέλη προκύπτουν εμμέσως και παράλληλα:

- Η ανάπτυξη της μικρομεσαίας επιχειρηματικότητας, ιδιαίτερα στους τομείς της προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση, επισκευών, επιδιορθώσεων.
- Η δημιουργία νέων επαγγελμάτων για την υλοποίηση των ανωτέρω διαρθρωτικών μεταρρυθμίσεων.
- Η διάδοση, ωρίμανση και διάχυση των τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν και η χρήση τους από νέους επαγγελματίες και εργαζόμενους είναι ένα πρόσθετο όφελος και ειδικά για τη χώρα μας.
- Η ανάπτυξη της κοινωνικής οικονομίας, εφόσον σημαντικό ανθρώπινο δυναμικό θα μπορούσε να ενεργοποιηθεί, παράγοντας πλούτο μέσω της κοινωνικής οικονομίας και με διάθεση πρόσθετων πόρων για να στηθούν κοινωνικές συνεταιριστικές επιχειρήσεις πλάι στις παραγωγικές μονάδες.

2.1.5. Προκλήσεις

Αυτή η μετάβαση προς την κυκλική οικονομία υποστηρίζεται πλέον από ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό πολιτικών και πρωτοβουλιών. Ωστόσο, συνεχίζουν να υφίστανται συγκεκριμένα πολιτικά, κοινωνικά, οικονομικά και τεχνολογικά εμπόδια στην ευρύτερη υλοποίηση και ανάληψη:

- Οι εταιρίες συχνά στερούνται της ευαισθητοποίησης, γνώσης ή ικανότητας που απαιτείται για την αναζήτηση κυκλικών οικονομικών λύσεων.
- Τα υφιστάμενα συστήματα, οι υποδομές, τα επιχειρηματικά μοντέλα και η τεχνολογία συχνά «κλειδώνουν» την οικονομία σε ένα γραμμικό μοντέλο.
- Οι επενδύσεις σε μέτρα για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, ή σε καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα, παραμένουν ανεπαρκείς καθώς θεωρούνται επισφαλείς και πολύπλοκες.
- Η ζήτηση για αειφόρα προϊόντα και υπηρεσίες ενδέχεται να παραμείνει χαμηλή, ιδιαίτερα όταν προϋποθέτει αλλαγές συμπεριφοράς.
- Οι τιμές συχνά δεν αντανακλούν το πραγματικό κόστος της χρήσης πόρων και ενέργειας για την κοινωνία.
- Η πολιτική ώθηση για τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία δεν είναι αρκετά ισχυρή και συνεπής.

Ανακεφαλαιώνοντας, η κυκλική οικονομία μπορεί να αποτελέσει καταλύτη για την παραγωγική ανασυγκρότηση και έχει σαφή περιφερειακή διάσταση. Στηρίζεται στην ορθή αξιοποίηση των πόρων, στην ιδέα της ανακύκλωσης-επαναχρησιμοποίησης, στο μοντέλο της **βιομηχανικής οικολογίας** και της **βιομηχανικής συμβίωσης**. Επιδιώκει και ενθαρρύνει την χρήση δευτερογενών υλικών και αποβλήτων ως παραγωγικών πόρων και χρήσιμων υλικών, προσδίδοντας μια αειφορική διάσταση στο παραγωγικό μοντέλο. Επιπλέον, το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας είναι εύκολα προσαρμόσιμο στην ελληνική οικονομία λόγω της πληθώρας ευκαιριών και δυνατοτήτων αξιοποίησης πόρων που παρουσιάζει, της διαθέσιμης γνώσης και εξειδίκευσης των νέων Ελλήνων και Ελληνίδων επιστημόνων αλλά και των αλλαγών που γίνονται αυτή την περίοδο στη χώρας μας, γενικότερα στην οικονομία και την ανάπτυξη αλλά και ειδικότερα στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων.

2.2. Βιομηχανικές και Επιχειρηματικές Περιοχές (ΒΕΠΕ)

2.2.1. Κατηγορίες ΒΕΠΕ

Σχετικά με τις κατηγορίες των ΒΕΠΕ ισχύουν τα παρακάτω :

- Για τη βιομηχανική , βιοτεχνική και γενικά επιχειρηματική ανάπτυξη και οικονομική πρόοδο της χώρας, καθώς και για την προστασία του περιβάλλοντος, είναι δυνατόν να καθορίζονται μία ή περισσότερες «Βιομηχανικές και Επιχειρηματικές Περιοχές» (Β.Ε.Π.Ε.) σε όλους τους νομούς της χώρας, σύμφωνα με τις διατάξεις αυτού του νόμου 2545/1997 (ΦΕΚ Α-254/15-12-1997).
- Οι Β.Ε.Π.Ε. μπορούν να έχουν μία από τις ακόλουθες μορφές:
 1. Βιομηχανική περιοχή (ΒΙ.ΠΕ.): ΒΙ.ΠΕ. είναι ο χώρος ο οποίος καθορίζεται, οριοθετείται, πολεοδομείται και οργανώνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος νόμου, προκειμένου να λειτουργήσει ως χώρος υποδοχής κάθε βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας.
 2. Βιομηχανικό Πάρκο (ΒΙ.ΠΑ.) : ΒΙ.ΠΑ. είναι ο χώρος, ο οποίος καθορίζεται, οριοθετείται, πολεοδομείται και οργανώνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος νόμου, προκειμένου να λειτουργήσει ως χώρος υποδοχής κάθε βιομηχανικής και βιοτεχνικής δραστηριότητας μέσης και χαμηλής όχλησης.
 3. Βιοτεχνικό Πάρκο (ΒΙΟ.ΠΑ.): ΒΙΟ.ΠΑ. είναι ο χώρος, ο οποίος καθορίζεται, οριοθετείται, πολεοδομείται και οργανώνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος νόμου, προκειμένου να λειτουργήσει ως χώρος υποδοχής κάθε βιομηχανικής ή βιοτεχνικής δραστηριότητας χαμηλής όχλησης και επαγγελματικών εργαστηρίων.
 4. Τεχνόπολη: Τεχνόπολη είναι ο χώρος, ο οποίος οριοθετείται, πολεοδομείται και οργανώνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος νόμου και στον οποίο εγκαθίστανται βιομηχανίες νέας και υψηλής τεχνολογίας, ερευνητικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητες, καθώς και επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών. Οι χώροι αυτοί χαρακτηρίζονται από υψηλή ποιότητα περιβάλλοντος και δύνανται να περιλαμβάνουν οικιστικά συγκροτήματα, στα οποία ενσωματώνονται οι αναγκαίες αστικές λειτουργίες.
- Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης μπορεί να καθορίζονται και νέες μορφές Β.Ε.Π.Ε. για τις οποίες θα έχουν εφαρμογή οι διατάξεις του παρόντος νόμου.

- Ο καθορισμός Β.Ε.Π.Ε. επιτρέπεται στις περιοχές, στις οποίες έχουν προηγηθεί εγκεκριμένα χωροταξικά σχέδια ή ρυθμιστικά ή γενικά πολεοδομικά σχέδια ή οποιαδήποτε άλλα εγκεκριμένα σχέδια χρήσεων γης κατ' εφαρμογή των κατευθύνσεων χωροταξικής πολιτικής ή των ειδικότερων κατευθύνσεων, χρήσεων και λειτουργιών που προβλέπονται από αυτά. Ο καθορισμός όμως Β.Ε.Π.Ε. επιτρέπεται και σε περιοχές για τις οποίες δεν έχουν εγκριθεί τα παραπάνω σχέδια, μετά από συνεκτίμηση στοιχείων χωροταξικού σχεδιασμού της ευρύτερης περιοχής και ιδίως της συμβατότητας της αιτούμενης χρήσης με άλλες ήδη υφιστάμενες ή προγραμματιζόμενες χρήσης και λειτουργίες, της προστασίας των ανανεώσιμων ή μη φυσικών πόρων, των κατευθύνσεων των περιφερειακών, τοπικών ή ειδικών αναπτυξιακών προγραμμάτων και της ανάγκης προστασίας της απασχόλησης, της μορφολογίας του εδάφους και της δυνατότητας εξυπηρέτησης της προτεινόμενης Β.Ε.Π.Ε. από υφιστάμενα δίκτυα και άλλες εξωτερικές υποδομές, ούτως ώστε να τεκμηριώνεται τόσο η σκοπιμότητα της αιτούμενης Β.Ε.Π.Ε., όσο και η καταλληλότητα του χώρου καθορισμού της και να διασφαλίζεται η ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής.
- Ως βιομηχανικές ή βιοτεχνικές δραστηριότητες υψηλής, μέσης ή χαμηλής όχλησης, κατά την έννοια του παρόντος, νοούνται οι αναφερόμενες στο άρθρ. 1 της 10537/18.2.1993 απόφασης των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και Ανάπτυξης (ΦΕΚ 139 Β') σε συνδυασμό με την κοινή υπουργική απόφαση 69269/5387/25.10.1990 (ΦΕΚ 678 Β'), όπως αυτές εκάστοτε ισχύουν.

2.2.2. Βιώσιμες ΒΕΠΕ

Η ανάπτυξη των ΒΕΠΕ σε ένα βιώσιμο πλαίσιο είναι ένα σημαντικό πολιτικό θέμα. Η δημιουργία, διοίκηση και διαχείριση βιώσιμων ΒΙΠΕ αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την αειφόρο ανάπτυξη σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Η κατάλληλη χωροθέτησή τους συντελεί στην αειφόρο ανάπτυξη των γειτνιαζόντων πολεοδομικών συγκροτημάτων. Οι ΒΕΠΕ για να χαρακτηριστούν βιώσιμες, θα πρέπει να αναπτύσσονται ταυτοχρόνως σε τρεις βασικούς άξονες (τους βασικούς άξονες γενικότερα της αειφορίας): κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό. Ωστόσο, είναι σημαντικό να υπάρχει σύνδεσμος μεταξύ των τριών παραπάνω αξόνων, π.χ. ροές ενέργειας και υλικών από μία βιομηχανία σε κάποια άλλη, αυξάνοντας έτσι την ενεργειακή απόδοση και των δύο.

Στις πρακτικές των βιώσιμων ΒΕΠΕ συμπεριλαμβάνονται:

- Ευκολότερη χρήση-ανταλλαγή σε μικρότερο κόστος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Ενεργειακή εκμετάλλευση-αξιοποίηση αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων ως πρώτη ύλη.

- Ανάπτυξη και κατασκευή πράσινων εγκαταστάσεων και κτιρίων, καθώς και κάθε περιβάλλοντα χώρου με βάση το πράσινο.
- Συνεχής βελτίωση των συστημάτων για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης αλλά και της μείωσης των ενεργειακών απωλειών.
- Εναρμόνιση με την υφιστάμενη νομοθεσία και τήρηση των κανόνων λειτουργίας.
- Συνέργειες με τα δίκτυα επικοινωνίας των επιχειρήσεων, που απαρτίζουν τις ΒΕΠΕ (ενδογενή και εξωγενή, συμπεριλαμβάνοντας και τις ειδικότερες στρατηγικές των παραγομένων προϊόντων).

2.3. Βιομηχανική Οικολογία

Η Βιομηχανική Οικολογία (Industrial Ecology) δεν είναι σε καμία περίπτωση μια νέα ιδέα. Έχουν γίνει προσπάθειες ταξινόμησης και ανάπτυξης των εννοιών της βιομηχανικής οικολογίας σε διάστημα 30 ετών. Ωστόσο, αυτά ήταν μάλλον άκαρπα όσον αφορά την απόκτηση ορμής και ενδιαφέροντος από την ακαδημαϊκή και επιχειρηματική αρένα μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980. Ένα από τα πιο συχνά αναφερόμενα άρθρα στη βιβλιογραφία της βιομηχανικής οικολογίας είναι «Strategies for Manufacturing» (Frosch και Galloroulos 1989). Αυτό το κλασικό έγγραφο πρότεινε την ιδέα ότι θα πρέπει να είναι δυνατή η ανάπτυξη μεθόδων βιομηχανικής παραγωγής που θα είχαν σημαντικά λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

2.3.1 Ορισμός

Αν και η έννοια της βιομηχανικής οικολογίας είναι αναγνωρισμένη για πάνω από 30 χρόνια, το θεωρητικό πλαίσιο της βιομηχανικής οικολογίας και οι προσεγγίσεις για την προώθηση της εφαρμογής της είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο (Harper και Graedel 2004). Συνεπώς, δεν υπάρχει ακόμη ένας ενιαίος ορισμός που να είναι καθολικά αποδεκτός. Οι Jelinski et al. ορίζουν τη βιομηχανική οικολογία ως «έννοια στην οποία ένα βιομηχανικό σύστημα δεν αντιμετωπίζεται μεμονωμένα από τα γύρω συστήματά του, αλλά σε συνεννόηση με αυτά». Οι Van Berkel et al. (1995) αναφέρουν ότι η βιομηχανική οικολογία χρησιμοποιεί μια ολιστική άποψη για τη μελέτη, την αξιολόγηση και τη βελτίωση της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων (υλικά και ενέργεια) σε μια βιομηχανική κοινωνία. Ένας από τους πιο έγκυρους ορισμούς της βιομηχανικής οικολογίας παρέχεται από τους Graedel & Allenby (2003):

«Τα μέσα με τα οποία η ανθρωπότητα μπορεί σκόπιμα και ορθολογικά να προσεγγίσει και να διατηρήσει μια επιθυμητή ικανότητα μεταφοράς, δεδομένης της συνεχούς οικονομικής, πολιτιστικής και τεχνολογικής εξέλιξης. Η έννοια απαιτεί να αντιμετωπίζεται ένα βιομηχανικό σύστημα όχι μεμονωμένα από τα γύρω συστήματά του, αλλά σε συνεργασία με αυτά. Είναι μια άποψη συστημάτων στην οποία κάποιος επιδιώκει να βελτιστοποιήσει το συνολικό κύκλο υλικών από το παρθένο υλικό, στο εξαντλημένο υλικό, στο συστατικό, στο προϊόν, στο άχρηστο προϊόν, και στην τελική διάθεση. Οι παράγοντες που πρέπει να βελτιστοποιηθούν περιλαμβάνουν τους πόρους, την ενέργεια και το κεφάλαιο».

2.3.2. Χαρακτηριστικά της ΒΟ

Η βιομηχανική οικολογία είναι «βιομηχανική» και «οικολογική» (Lifset και Graedel 2002).

- Είναι βιομηχανική, καθώς επικεντρώνεται στο σχεδιασμό των προϊόντων και τις διαδικασίες κατασκευής. Συνεπώς, η βιομηχανία θεωρείται ως ο πρωταρχικός παράγοντας για τη βελτίωση του περιβάλλοντος, καθώς διαθέτει την τεχνολογική εμπειρογνωμοσύνη, τη διαχειριστική ικανότητα και τους οικονομικούς και άλλους πόρους που απαιτούνται για την επιτυχή εκτέλεση του περιβαλλοντικά ενημερωμένου σχεδιασμού προϊόντων και διαδικασιών.
- Είναι οικολογική κατά δύο έννοιες τουλάχιστον. Πρώτον, θεωρεί τα μη ανθρώπινα «φυσικά» συστήματα ως μοντέλα βιομηχανικής δραστηριότητας. Τα ώριμα οικοσυστήματα είναι εξαιρετικά αποτελεσματικά όσον αφορά την ανακύκλωση των πόρων και, ως εκ τούτου, προωθούνται ως υποδειγματικά μοντέλα για την αποτελεσματική ανακύκλωση στη βιομηχανία και την κοινωνία. Δεύτερον, η Βιομηχανική Οικολογία τοποθετεί τη βιομηχανία – ή την τεχνολογική δραστηριότητα – στο πλαίσιο των μεγαλύτερων οικοσυστημάτων που την υποστηρίζουν. Αυτό εστιάζει τη βιομηχανική οικολογία στην εξέταση των πηγών των πόρων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική δραστηριότητα και των μηχανισμών που απορροφούν και αποτοξινώνουν τα απόβλητα που απορρίπτονται από την κοινωνία.

Μια απλή, αλλά πολύ χρήσιμη, σύνοψη της βιομηχανικής οικολογίας παρέχεται από τους Jelinski et al. (1992):

- Είναι ενεργή και όχι αντιδραστική. Η βιομηχανική οικολογία κινείται και προωθείται από τη βιομηχανία επειδή είναι προς το δικό της συμφέρον και προς όφελος εκείνων που περιβάλλουν τα συστήματα με τα οποία αλληλοεπιδρούν όχι επειδή επιβάλλεται από έναν ή περισσότερους εξωτερικούς παράγοντες (όπως ρυθμιστικά όργανα, κοινότητα).
- Ενσωματώνεται και δεν προστίθεται (is designed in, not added on). Αυτό το χαρακτηριστικό αναγνωρίζει ότι πολλές πτυχές των ροών υλικών καθορίζονται από αποφάσεις που λαμβάνονται πολύ νωρίς στη διαδικασία σχεδιασμού και ότι η βελτιστοποίηση της βιομηχανικής οικολογίας απαιτεί από κάθε σχεδιαστή προϊόντων και διαδικασιών και από κάθε μηχανικό κατασκευής να βλέπει τη βιομηχανική οικολογία με την ίδια ένταση που ασκείται για την ποιότητα του προϊόντος ή τη δυνατότητα κατασκευής.
- Είναι ευέλικτη και όχι «δύσκαμπτη». Πολλές από τις πτυχές της διαδικασίας ενδέχεται να χρειαστεί να αλλάξουν καθώς υπάρχει δυνατότητα για νέες διεργασίες κατασκευής, προκύπτουν

νέοι περιορισμοί από επιστημονικές και οικολογικές μελέτες, νέες ευκαιρίες δημιουργούνται καθώς εξελίσσονται οι αγορές και ούτω καθεξής.

- Συμπεριλαμβάνει και δεν απομονώνει. Στον σύγχρονο διεθνή κόσμο, η βιομηχανική οικολογία απαιτεί προσεγγίσεις που όχι μόνο ανταποκρίνονται σε βιομηχανικούς τομείς αλλά και σε εθνικούς και πολιτισμικούς φραγμούς.

2.3.3. Οι προσεγγίσεις της ΒΟ

Οι πρακτικές της βιομηχανικής οικολογίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες τέσσερις προσεγγίσεις (D. Van Beers 2009):

1. Η ειδική προσέγγιση για τα υλικά: αναλύει τον τρόπο ροής ενός υλικού μέσα από τη βιομηχανική κοινωνία, προκειμένου να εντοπιστούν, να αξιολογηθούν και να εφαρμοστούν ευκαιρίες βελτίωσης. Τα πολυάριθμα παραδείγματα τέτοιας ανάλυσης ροής υλικού και ουσίας έχουν διεξαχθεί για επιλεγμένα μέταλλα και υλικά σε διάφορα γεωγραφικά επίπεδα: παγκόσμιο, ηπείρου, χώρας και πόλης. Στη συνέχεια, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνικές για τη βελτίωση των ροών υλικών και τη μείωση της εξάντλησης των φυσικών πόρων .
2. Η προσέγγιση που αφορά το συγκεκριμένο προϊόν: αναλύει τις διάφορες ροές υλικών των συστατικών ενός επιλεγμένου προϊόντος από την άποψη του συστήματος, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αλληλεπίδραση του προϊόντος με το περιβάλλον. Οι λύσεις μπορούν να βρεθούν μέσω σχεδιασμού βασιζόμενου στον κύκλο ζωής, ο οποίος επιδιώκει να μειώσει το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο που συνδέεται με τα συστήματα προϊόντων, χωρίς όμως να θέτει σε κίνδυνο την τεχνική απόδοση, το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας, την ποιότητα και τις προσδοκίες των καταναλωτών.
3. Η ειδική προσέγγιση που αφορά τον δράστη: αξιολογεί τις ευκαιρίες και τους περιορισμούς που έχουν οι διάφοροι παράγοντες της βιομηχανίας να αλλάξουν ροές υλικών και προϊόντων με περιβαλλοντικά συμβατή κατεύθυνση. Οι φορείς μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες ροές: βιομηχανίες, καταναλωτές και κυβέρνηση. Στο πλαίσιο της βιομηχανικής οικολογίας, ο πρωταρχικός στόχος είναι οι βιομηχανίες, επειδή αυτοί είναι οι βασικοί συντελεστές στον σχεδιασμό και την κατασκευή των προϊόντων.

4. Η περιφερειακή προσέγγιση: εστιάζει στη βελτιστοποίηση της ανταλλαγής υλικών, ενέργειας και πληροφοριών μεταξύ των επιχειρήσεων σε τοπικό επίπεδο. Η έννοια των περιφερειακών συνεργειών πόρων (ή **βιομηχανικής συμβίωσης**) εντάσσεται σε αυτή την περιφερειακή προσέγγιση και εξηγείται περαιτέρω παρακάτω.

Αυτές οι τέσσερις προσεγγίσεις δεν αποκλείουν η μία την άλλη, ωστόσο υπογραμμίζουν διαφορετικές οπτικές γωνίες από τις οποίες μπορεί να επηρεαστεί η βιομηχανική κοινωνία για να συμβάλει στην αειφόρο χρήση των φυσικών πόρων. Από αυτή την κατηγοριοποίηση είναι σαφές ότι η έννοια της περιφερειακής συνέργειας είναι ένα από τα υποσύνολα της βιομηχανικής οικολογίας με συγκεκριμένα και μοναδικά χαρακτηριστικά. Επομένως, η ανάπτυξη της περιφερειακής συνέργειας χρειάζεται εξειδικευμένες προσεγγίσεις και μεθοδολογίες για την προώθηση αυτής της έννοιας με ουσιαστικό τρόπο.

2.3.4. Οι αρχές της ΒΟ

Οι **βασικές αρχές** της ΒΟ κατά τον Roberts (2004) είναι:

- Η ενίσχυση των προσπάθειών για την υλοποίηση συνεργασιών και την ανάπτυξη δεσμών μεταξύ των τοπικών κοινωνιών και της κυβέρνησης με επιχειρήσεις και βιομηχανίες που υιοθετούν αειφόρες πρακτικές.
- Ο εντοπισμός και η χωροθέτηση βιομηχανιών με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιστοποιείται η συλλογή και συγκέντρωση των παραγόμενων υπο-προϊόντων, των (θεωρουμένων ως) αποβλήτων και της μη-χρησιμοποιούμενης ενέργειας και, στη συνέχεια, η (επανα)διάθεσή τους σε άλλες βιομηχανίες, που θα εκμεταλλευτούν τις συγκεκριμένες ροές με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτουν αμοιβαία οφέλη για όλους τους συμμετέχοντες.
- Η δημιουργία ευκαιριών αξιοποίησης των αποβλήτων των βιομηχανικών συστημάτων, μέσω της εφαρμογής πρακτικών ανάκτησης υλικών και ενέργειας, η ύπαρξη ενός κατάλληλου «καταλύτη» (βιομηχανία), ο οποίος θα οδηγήσει σε αποτελεσματικές συνεργασίες και συνέργειες και, τελικά, σε ένα περιβάλλον το οποίο θα ευνοεί την τεχνολογική ανάπτυξη προς τις κατευθύνσεις της καθαρότερης παραγωγής (cleaner production), της αξιοποίησης των αποβλήτων και της αειφορίας των βιομηχανικών συστημάτων.
- Η διάθεση των κατάλληλων «έξυπνων» υποδομών για τη διασφάλιση της ανάπτυξης των βιομηχανιών, οι οποίες υποστηρίζουν και εφαρμόζουν αειφόρες πρακτικές προκειμένου να παραμείνουν καινοτόμες και ανταγωνιστικές.

- Η παροχή κινήτρων και η υποστήριξη πολιτικών, οι οποίες ενισχύουν τη βιομηχανική καινοτομία, τη συνεργασία μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων και την εμπορική χρήση νέων και βελτιωμένων προϊόντων, τα οποία προέρχονται από την εκμετάλλευση της περίσσειας υλικών (πρώτων υλών ή αποβλήτων) και ενέργειας.
- Η υποστήριξη των πλεονεκτημάτων και των αναμενομένων οφελών των βιομηχανιών, οι οποίες διακρίνονται για την αειφόρο ανάπτυξή τους.

Ο τρόπος με τον οποίο οι αρχές της βιομηχανικής οικολογίας μπορούν να τεθούν σε πρακτική εφαρμογή είναι η **βιομηχανική συμβίωση** και ο χώρος εφαρμογής το **οικο-βιομηχανικό πάρκο/βιομηχανικό οικοσύστημα, έννοιες που αναλύονται παρακάτω.**

2.4. Βιομηχανική συμβίωση και βιομηχανικά οικοσυστήματα

Η βιομηχανική συμβίωση (Industrial Symbiosis) βασίζεται στις αρχές της Βιομηχανικής Οικολογίας και αναφέρεται στο δίκτυο του προϊόντος, του υποπροϊόντος και των ανταλλαγών αποβλήτων που μειώνουν το οικολογικό αποτύπωμα των βιομηχανικών περιοχών (Kurup et al. 2005). Αποτελεί μια συστημική προσέγγιση για ένα πιο βιώσιμο και ολοκληρωμένο βιομηχανικό σύστημα, το οποίο εντοπίζει επιχειρηματικές ευκαιρίες που αξιοποιούν τους υποχρησιμοποιούμενους πόρους (όπως υλικά, ενέργεια, νερό, τεχνογνωσία, κ.λπ.) (Lombardi & Laybourn, 2012). Το σύνολο των επιχειρήσεων που έχουν μια τέτοια σχέση συνεργασίας λέγεται Βιομηχανικό Οικοσύστημα (Industrial Ecosystem).

2.4.1. Ορισμός Βιομηχανικής Συμβίωσης

Χαρακτηρίζεται ως εργαλείο για την προώθηση της περιβαλλοντικής αειφορίας στη διασταύρωση της μηχανικής, της οικολογίας και της οικονομίας. Συγκεκριμένα αποσκοπεί στη συστηματική αύξηση της αποδοτικότητας της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές διεργασίες με τη δημιουργία ρευμάτων σύνδεσης μεταξύ των διαφορετικών βιομηχανικών μονάδων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών βιομηχανιών για τις οποίες η ύπαρξη της μιας αυξάνει τη βιωσιμότητα των συνεργαζόμενων υπολοίπων και στην οποία η απαίτηση για εξοικονόμηση πρώτων υλών, ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος είναι ζωτικής σημασίας.

2.4.2. Χαρακτηριστικά Βιομηχανικής Συμβίωσης

Ως **συμβιωτική δράση/ρεύμα σύνδεσης/διαδρομή σύνδεσης** ορίζεται η δημιουργία μιας σύνδεσης (**link/path**) μεταξύ 2 βιομηχανικών μονάδων. Η σύνδεση αυτή είναι μία ροή μάζας ή ενέργειας που μεταφέρεται από τη μία μονάδα στην άλλη. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της σύνδεσης αυτής είναι ότι το ρεύμα που μεταφέρεται είναι πλέον μη αξιοποιήσιμο από τη μονάδα πομπό αλλά μπορεί να αξιοποιηθεί από τη μονάδα δέκτη.

Η έννοια της βιομηχανικής συμβίωσης συνδέεται στενά με την **ομαδοποίηση (clustering)** των σχετικών βιομηχανιών με βάση τις υπηρεσίες και τις εισροές (inputs) και εκροές (outputs) των πόρων τους. Κλειδί για την δυνατότητα ομαδοποίησης αποτελούν οι δυνατότητες συνεργειών οι οποίες προσφέρονται αρχικά βάσει της γεωγραφικής εγγύτητας. Η ομαδοποίηση είναι ένα σημαντικό στοιχείο που επιτρέπει την ανάπτυξη περιφερειακών συνεργιών καθώς και μηχανισμό για τη μείωση της ανάγκης για υποδομές κοινής ωφελείας και συναφείς δαπάνες. Οι συμμετέχουσες επιχειρήσεις

και οι οργανισμοί είναι σε θέση να επιτύχουν συνέργειες και να εκμεταλλευτούν το οικονομικό πλεονέκτημα από την κοινή πρόσβαση στα δίκτυα πληροφοριών και γνώσεων, τις αλυσίδες προμηθευτών και διανομής, τις αγορές και το μάρκετινγκ, τους πόρους και τους φορείς υποστήριξης που διατίθενται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Η βιομηχανική ομαδοποίηση επικεντρώνεται στις λειτουργικές διασυνδέσεις και τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των φορέων στις αλυσίδες αξίας. Συνοπτικά, τα οφέλη της βιομηχανικής ομαδοποίησης περιλαμβάνουν (Roberts 2004):

- Προσέλκυση επιχειρήσεων στη βιομηχανική ζώνη λόγω των πλεονεκτημάτων κόστους που συνδέονται με τη συνεγκατάσταση και την ασφάλεια της προσφοράς πόρων.
- Η εγγύτητα δημιουργεί εξοικονόμηση εξωτερικού κόστους και οικονομίες κλίμακας, οι οποίες μειώνουν το λειτουργικό κόστος για εταιρείες που μοιράζονται κοινούς προμηθευτές ή υπηρεσίες.
- Ενθαρρύνει επίσης την καινοτομία, η οποία οδηγεί σε ευκαιρίες για την ανάπτυξη νέων βιομηχανιών, ιδίως επιχειρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιούν απόβλητα και παραπροϊόντα.
- Όσο πιο πυκνή είναι η βιομηχανική περιοχή, τόσο μεγαλύτερες είναι οι προοπτικές για καινοτομία και συνέργειες.

Ταξινόμηση Βιομηχανικής Συμβίωσης ανάλογα με τον τύπο συνέργειας σε τρεις κύριες κατηγορίες (Bossilkov et al., 2005, Van Berkel 2003), δηλ :

- Συνέργειες σε μια ενιαία αλυσίδα εφοδιασμού. Διαθέτουν τοπικούς κατασκευαστές και αποκλειστικούς προμηθευτές κύριων αντιδραστηρίων για βιομηχανίες βασικών διεργασιών (π.χ. παραγωγή αμμωνίας και χλωρίου για βιομηχανική χρήση). Αποτελούν «συνήθεις εργασίες», όπου μια επιχείρηση αποκομίζει όφελος από τη συνεγκατάσταση με τους κύριους πελάτες της, ένα φαινόμενο που είναι γνωστό ως οικονομία των οικισμών (agglomeration economy) (Desrochers 2004). Δεν πληρούν το κριτήριο της «ανταλλαγής πόρων μεταξύ παραδοσιακά χωριστών βιομηχανιών», το οποίο είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα της βιομηχανικής συμβίωσης (Chertow 2000).
- Συνέργειες από την κοινή χρήση των υπηρεσιών κοινής ωφελείας που εξελίσσονται κυρίως γύρω από το νερό και την ενέργεια ((π.χ. ανάκτηση ύδατος και συμπαραγωγή)).
- Συνέργειες από την τοπική χρήση των υποπροϊόντων (ενέργεια ή/και απόβλητα). Περιλαμβάνουν τη χρήση προηγουμένως απορριφθέντος υποπροϊόντος (στερεών, υγρών ή αερίων) από μια εγκατάσταση από άλλη εγκατάσταση για την παραγωγή μιας πολύτιμης εναλλακτικής πρώτης ύλης (π.χ. ανάκτηση και πώληση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνο).

2.4.3 Περιφερειακές προσεγγίσεις ανάπτυξης συνεργιών

Αναγνωρίζεται ότι υπάρχουν διάφορες σχεδιασμένες και προβλεπόμενες προσεγγίσεις για την ενίσχυση της περιφερειακής ανάπτυξης συνεργιών στις βιομηχανικές περιοχές και έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα μέρη του κόσμου σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες. Συνοπτικά, αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Από πάνω προς τα κάτω (Top-down) : Η προσέγγιση από την κορυφή προς τα κάτω περιλαμβάνει την ενεργή συμμετοχή κυβερνητικών φορέων στην ανάπτυξη περιφερειακών πρωτοβουλιών συνέργειας. Για παράδειγμα, η έννοια του οικολογικού βιομηχανικού πάρκου υιοθετήθηκε από την κινεζική κυβέρνηση προσθέτοντας αξία σε επιχειρήσεις και κοινότητες, βελτιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας, υλικών και κοινοτικών πόρων. Η προσέγγιση του οικολογικού βιομηχανικού πάρκου μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας μέσω «οικονομιών ενοποίησης συστημάτων» (“economies of systems integration”), όπου οι εταιρικές σχέσεις μεταξύ των επιχειρήσεων ικανοποιούν τις κοινές υπηρεσίες εξυπηρέτησης, τις μεταφορές και τις ανάγκες υποδομής (Geng and Yi 2005, Chiu 2004). Η Κίνα διαθέτει πολυάριθμα βιομηχανικά πάρκα υπό κατασκευή στα οποία ενσωματώνονται αρχές οικολογικής βιομηχανικής ανάπτυξης, όπως το Shenjia Chemical Industrial Park και η ζώνη οικονομικής ανάπτυξης του Dalian (Geng and Wu 2000).
- Κάτω προς τα επάνω (Bottom-up) : Στην προσέγγιση "από τη βάση προς την κορυφή", οι βιομηχανίες και οι επιχειρήσεις αποτελούν τη βασική κινητήρια δύναμη της ανάπτυξης των περιφερειακών συνεργιών. Αυτή η προσέγγιση δεν έχει προκαθοριστεί, δεν διευκολύνεται από κυβερνητική υπηρεσία ή συντονιστή και δεν περιλαμβάνει μελέτες συνολικής βελτιστοποίησης του συστήματος. Η προσέγγιση από τη βάση προς την κορυφή είναι μάλλον αποτέλεσμα της αυθόρμητης αυτο-οργάνωσης. Το κύριο κίνητρο για την καθιέρωση σχέσεων οφείλεται στις ευκαιρίες για εξοικονόμηση κόστους ή στην κάλυψη των τοπικών ορίων διαθεσιμότητας πόρων. Η εξέλιξη της βιομηχανικής συμβίωσης στο Kalundborg αποτελεί βασικό παράδειγμα της προσέγγισης από τη βάση προς την κορυφή (Chertow 2007). Το Kalundborg είναι μία από τις πλέον δημοσιευμένες και ερευνηθείσες βιομηχανικές περιοχές όσον αφορά την περιφερειακή ανάπτυξη συνεργιών (Jacobsen 2003, Chertow και Lombardi 2005, Ehrenfeld και Chertow 2002).
- Πλαγίως (Sideway in): Στην προσέγγιση αυτή οι κυβερνητικοί οργανισμοί παρέχουν έναν ρόλο που βοηθά στην ανάπτυξη περιφερειακών συνεργιών, σε στενή συνεργασία με τις στοχευμένες βιομηχανίες μιας περιοχής. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αυτής της προσέγγισης

είναι η δημιουργία δικτύων ανακύκλωσης στην περιοχή της Στυρίας στην Αυστρία. Εμπνευσμένο από τις επιτυχίες περιφερειακής συνέργειας στο Kalundburg το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Περιβάλλοντος ξεκίνησε ένα ερευνητικό πρόγραμμα με περιφερειακές βιομηχανίες για τη δημιουργία καινοτόμων λύσεων για τη διαχείριση επιχειρηματικών αποβλήτων. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα του προγράμματος ήταν η συνειδητοποίηση ότι η επικοινωνία μεταξύ των βιομηχανιών και των αρχών αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή ανακύκλωση μεταξύ επιχειρήσεων. Κατά συνέπεια, δημιουργήθηκε η Εταιρεία Προώθησης της Οικονομίας Κύκλου, της Περιφερειακής Ανάπτυξης και της Καινοτομίας. Το κέντρο αυτό επικεντρώνεται στη δημιουργία πρωτοβουλιών ανακύκλωσης με υψηλό δυναμικό ανακύκλωσης στην περιοχή, συμπεριλαμβανομένου του χρησιμοποιούμενου γρανίτη, των χρησιμοποιημένων σκονών επίστρωσης και των χρησιμοποιημένων ξύλινων παλετών (Hasler 2005).

2.4.4. Παράμετροι Αποτελεσματικότητας

Υπάρχει ένα σύνολο βασικών ζητημάτων και παραμέτρων οι οποίοι αποτελούν κομβικά σημεία για την αποτελεσματικότητα και την επιτυχία της εφαρμογής μίας βιομηχανικής συμβίωσης (Rechberger H.,2006).

- Βούληση για συνεργασία. Απαραίτητη προϋπόθεση για να εφαρμοστούν δομές που θα οδηγούν σε μία βιομηχανική συμβίωση είναι η βούληση των επιμέρους βιομηχανιών για συνεργασία. Συγκεκριμένα, οι λήπτες των αποφάσεων, οι μηχανικοί, οι διευθυντές καθώς και οι εργαζόμενοι είναι εκείνοι οι οποίοι θα έρθουν αντιμέτωποι με τις απαιτούμενες αλλαγές και η δική τους είναι εκείνη η οποία μπορεί να καθορίσει την επιτυχία τους.
- Χωροταξικός σχεδιασμός. Ο χωροταξικός σχεδιασμός επηρεάζει κατά ένα σημαντικό ποσοστό τη δυνατότητα οικονομικά και χρονικά σκόπιμων μεταφορών υλικών, υποπροϊόντων και αποβλήτων. Σε ήδη υπάρχουσες βιομηχανίες, όπου κατά τον σχεδιασμό τους δεν είχαν ληφθεί υπόψη μεταφορές μεταξύ τους, υπάγεται στους μηχανικούς η εύρεση των ανάλογων λύσεων.
- Σχεδιασμός και επιλογή τεχνολογίας γραμμής παραγωγής. Κατά τον σχεδιασμό της γραμμής παραγωγής και της επιλογής της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί λαμβάνεται υπόψη η φύση των αποβλήτων, των υποπροϊόντων, των μεταφορών τους και της εναλλακτικής χρήσης τους.

- Αναζήτηση εναλλακτικών μεθόδων. Σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες δυνατότητες και ευκαιρίες από το περιβάλλον σύστημα μπορούν να εφαρμοστούν εναλλακτικές μέθοδοι στην παραγωγική διαδικασία, οι οποίες να είναι οικονομικά και οικολογικά πιο συμφέρουσες από τις υπάρχουσες.

2.4.5. Ορισμός Βιομηχανικού Οικοσυστήματος

Η βιομηχανική οικολογία προτείνει τη χρήση του σχεδιασμού των οικοσυστημάτων για την καθοδήγηση του επανασχεδιασμού των βιομηχανικών συστημάτων και την εφαρμογή της βιομηχανικής συμβίωσης. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια καλύτερη σχέση της βιομηχανικής απόδοσης με τους οικολογικούς περιορισμούς. Η ευρύτερη εφαρμογή αυτής της αναλογικής προσέγγισης είναι να περιγραφούν τα συμπλέγματα παραγωγής ως «βιομηχανικά οικοσυστήματα». Η ιδέα αυτή προτείνει ένα δίκτυο της αλληλεπίδρασης μεταξύ των εταιρειών, έτσι ώστε τα υπολείμματα μιας μονάδας να μετατρέπονται σε πρώτη ύλη για μία άλλη. Ο σχεδιασμός καθαρότερων στρατηγικών παραγωγής στη συνέχεια κινείται πέρα από τις μεμονωμένες εγκαταστάσεις ή την εταιρεία, στα πλαίσια των διεταιρικών σχέσεων. Τέτοιες περιοχές μπορεί να σχεδιάστηκαν εξ αρχής ώστε να εφαρμόσουν τη βιομηχανική συμβίωση είτε να προϋπήρχαν και να μετατράπηκαν σταδιακά σε οικο-βιομηχανικά πάρκο/βιομηχανικά οικοσυστήματα.

Τα Βιομηχανικά Οικοσυστήματα διακρίνονται σε 2 κατηγορίες : τα Περιβαλλοντικά Βιομηχανικά Δίκτυα και τα Περιβαλλοντικά Βιομηχανικά Πάρκα, όταν το δίκτυο είναι εγκατεστημένο σε έναν Οργανωμένο Υποδοχέα Βιομηχανίας (ΒΙ.ΠΕ., ΒΙ.ΠΑ., ΒΙΟ.ΠΑ.). Τα Περιβαλλοντικά Βιομηχανικά Πάρκα ενδείκνυται να έχουν χωροθετηθεί με περιβαλλοντικά κριτήρια και να έχουν υποδομές (οδικά δίκτυα, δίκτυα ύδρευσης, ακαθάρτων, χώρους πρασίνου κλπ) σχεδιασμένες επίσης με περιβαλλοντικά κριτήρια (Μουρτσιιάδης, 2012).

2.4.6. Προκλήσεις στο σχεδιασμό βιομηχανικών οικοσυστημάτων

Η ανάπτυξη ενός βιομηχανικού οικοσυστήματος ή ενός ευρύτερου περιφερειακού δικτύου (βιομηχανικών μονάδων) είναι μια πολύπλοκη και απαιτητική διαδικασία ενοποίησης και ενσωμάτωσης, σε πολλούς τομείς σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων. Οι προκλήσεις σχεδιασμού υποδεικνύουν ότι ο τομέας της βιομηχανικής οικολογίας θα συνυπάρχει με άλλους κλάδους, οδηγώντας σε μια εδραιωμένη πρακτική αειφόρου ανάπτυξης.

Ο τεχνικός σχεδιασμός της ανταλλαγής ανακτημένων πρώτων υλών από τα απόβλητα ή αλλιώς υπολειμματικών υλικών και ενέργειας μπορεί να είναι το ευκολότερο μέρος. Οι εμπλεκόμενες επιχειρήσεις ενδέχεται να χρειάζονται νέες οργανωτικές δομές, πολιτικές και διαδικασίες. Οι

οργανισμοί οικονομικής ανάπτυξης και οι διαχειριστές ακινήτων θα χρειαστεί να δημιουργήσουν νέες στρατηγικές για την προσέλκυση επιχειρήσεων. Οι περιβαλλοντικοί χωροταξικοί φορείς θα πρέπει να επανεξετάσουν πολλούς κανονισμούς και πολιτικές.

Η πολυπλοκότητα της ανάπτυξης του μπορεί καλύτερα να αντιμετωπιστεί από μια εξελικτική διαδικασία σχεδιασμού στην οποία αποφεύγεται ο έλεγχος από πάνω προς τα κάτω. Το βασικό πρώτο καθήκον είναι η δημιουργία αρχικών συνθηκών που παρέχουν ένα πλαίσιο στο οποίο οι φορείς του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα μπορούν να λειτουργήσουν με τρόπο συμμετοχικό, αυτο-οργανωτικό (οργανισμός μάθησης). Αυτό θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα πρώιμα πρωτότυπα, όπου η ταχεία ανάκαμψη από τα αναπόφευκτα σφάλματα σχεδιασμού θα είναι επιτακτική. Η γνώση από τέτοια σφάλματα καθώς και οι επιτυχίες θα επιτρέψει σε μεμονωμένες εταιρείες και στο σύνολο του συστήματος να επιτύχουν συνεχή βελτίωση τόσο στις επιχειρηματικές όσο και στις περιβαλλοντικές επιδόσεις.

Το τεχνικό καθήκον του «σχεδιασμού» ενός βέλτιστου συνδυασμού εταιρειών/ επιχειρήσεων/ βιομηχανικών μονάδων που επεξεργάζονται και χρησιμοποιούν τα απόβλητα πρέπει να αποφεύγει την εξάρτηση από τοξικά υλικά. Η λύση για την πρόληψη της ρύπανσης από την αντικατάσταση υλικών ή τον επανασχεδιασμό της διαδικασίας πρέπει να έχει προτεραιότητα έναντι της εμπορίας τοξικών.

2.4.7. Οφέλη για τη βιομηχανία

Οι επιχειρήσεις αποκτούν ένα περιβαλλοντικό προφίλ, ενισχύοντας τη δημόσια εικόνα τους και παρατηρείται μια συνολική αύξηση της ανταγωνιστικότητάς τους σε συνδυασμό με βελτίωση της οικολογικής απόδοσης (Dunn & Steineman, 1998).

Πιο αναλυτικά, στις εμπλεκόμενες εταιρείες προσφέρεται η δυνατότητα μείωσης του κόστους παραγωγής μέσω αυξημένων υλικών και ενεργειακής απόδοσης, ανακύκλωσης αποβλήτων και αποφυγής κυρώσεων. Η αυξημένη αποτελεσματικότητα θα επιτρέψει επίσης να παράγουν πιο ανταγωνιστικά προϊόντα. Επιπλέον, το κόστος που αναλαμβάνεται μόνο από μεμονωμένες επιχειρήσεις - όπως το κόστος της υποδομής, της έρευνας και ανάπτυξης και το κόστος σχεδιασμού και συντήρησης εξελιγμένων συστημάτων πληροφοριών - μπορεί να μοιράζονται όλα τα μέλη-επιχειρήσεις. Αυτή η κατανομή βιομηχανικών δαπανών θα βοηθήσει τα μέλη να επιτύχουν μεγαλύτερη οικονομική απόδοση από ό, τι οι ανεξάρτητοι ομόλογοί τους. Αυτά τα οφέλη κόστους για τις συμμετέχουσες εταιρείες αυξάνει την αξία των έργων για ιδιωτικούς ή δημόσιους κατασκευαστές ακινήτων και εταιρείες διαχείρισης πάρκων.

2.4.8. Οφέλη για το περιβάλλον

Εκτός από την προφανή μείωση πολλών πηγών ρύπανσης και μειωμένης ζήτησης φυσικών πόρων, θα επιδείξουν σε έναν πραγματικό κόσμο τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης. Η εξέλιξη των πάρκων θα οδηγήσει επίσης στη δημιουργία ακόμα πιο καινοτόμων προσεγγίσεων για την πρόληψη της ρύπανσης, την ενεργειακή απόδοση, την ανάκτηση πόρων, την αποσυναρμολόγηση των προϊόντων και άλλες τεχνολογίες περιβαλλοντικής διαχείρισης. Τέλος, κάθε πάρκο θα λειτουργήσει ως μοντέλο εργασίας για μελλοντικά οικολογικά πάρκα και άλλες περιβαλλοντικά ορθές μορφές επιχειρηματικής λειτουργίας.

2.4.9. Οφέλη για την κοινωνία

Πρωθούν δυνατότητες συνεργασίας με τις κοινότητες, τους δήμους και την πολιτεία για μια συνολική δράση πάνω στη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς συμβάλλουν στη δημιουργία πολιτικών και κανονισμών που είναι πιο αποτελεσματικοί για το περιβάλλον, ενώ θα είναι λιγότερο επαχθείς για τις επιχειρήσεις. Οι ενισχυμένες οικονομικές επιδόσεις των συμμετεχουσών επιχειρήσεων θα καταστήσουν τα πάρκα ισχυρό εργαλείο οικονομικής ανάπτυξης. Οι κοινότητες θα επωφεληθούν από νέες θέσεις εργασίας που δημιουργούνται σε πολύ καθαρότερες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

2.4.10. Μεθοδολογίες Βιομηχανικής Συμβίωσης

Μια ανασκόπηση της ανάπτυξης βιομηχανικής συμβίωσης σε δεκαέξι διεθνείς βαριές βιομηχανικές περιοχές (Bossilkov et al., 2005) αποκάλυψε ότι ο αριθμός των παραδειγμάτων εφαρμογής της βιομηχανικής συμβίωσης σε όλο τον κόσμο αυξάνεται. Η μελέτη κατέληξε επίσης στο συμπέρασμα ότι μέχρι στιγμής η παγκόσμια εξέλιξη σχετίζεται με «αυτο-οργάνωση», καθώς οι βιομηχανίες επιδιώκουν επιχειρηματικές ευκαιρίες από τη συνεργασία και τον επιμερισμό των πόρων, και όχι από τη δομημένη και προγραμματισμένη ανάπτυξη. Οι περιφερειακές συνέργειες αναπτύχθηκαν ευκαιρικά ελλείψει συγκεκριμένων μεθόδων για την παραγωγή εναλλακτικών λύσεων και / ή την επιλογή και την αξιολόγηση της τεχνολογίας συνέργειας. Αυτό συμβαίνει παρά την ύπαρξη ικανότητας και ιστορικού μεθόδων οικολογικής αποδοτικότητας και μετρήσεων και τεχνολογιών ανάκτησης πόρων, στις οποίες θα μπορούσαν να βασιστούν οι μέθοδοι αυτές (UNEP 1996, USEPA 2001, Crul et al. 1991). Υπάρχει η ευκαιρία να υποστηριχθεί η ανάπτυξη και η εφαρμογή περιφερειακών έργων συνέργειας με προσαρμοσμένες μεθόδους. Η συνέχιση της στήριξης της καιροσκοπικής ανάπτυξης βιομηχανικής συμβίωσης μπορεί να σημαίνει ότι πολλές πρωτοβουλίες για πιθανές συνέργειες καθώς και τα σχετικά οφέλη τους χάνονται.

Τα παραδοσιακά εργαλεία μηχανικής επικεντρώνονται στη μοντελοποίηση και τη βελτιστοποίηση των ροών υλικών και ενέργειας μέσα σε μια διαδικασία ή μια εγκατάσταση. Η ροή του υλικού και της ενέργειας μεταξύ πολλαπλών εγκαταστάσεων θέτει μια νέα πρόκληση για τα εργαλεία αυτά, όσον αφορά τον αριθμό των ροών υλικών και ενέργειας και τις εργασίες μονάδων που πρέπει να αξιολογηθούν, καθώς και την εξέταση της απόστασης κατά την οποία πρέπει να είναι το υποπροϊόν μεταφέρονται (συνήθως αγνοούνται σε επίπεδο εγκατάστασης).

Γενικά, υπάρχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για σχέδια βιομηχανικής συμβίωσης (Young 1999; et al. 1997; Industrial Economics 1998; Nobel 1998; Baas 1998; Bossilkon et al. 2005). Τα περισσότερα έργα τείνουν να καταγράφουν τις υφιστάμενες και πιθανές δυνατότητες συνεργίας, δηλαδή να αναπτύσσουν περιπτωσιολογικές μελέτες, χωρίς πρόθεση για περαιτέρω πρόοδο (Venta και Nisbet 1997; Schwarz και Steininger 1997; Homcheon 2004). Συνολικά, οι κύριες συνιστώσες οποιασδήποτε μεθοδολογίας ανάπτυξης βιομηχανικής συμβίωσης θα πρέπει τουλάχιστον να περιλαμβάνουν (προσαρμοσμένο από Bossilkon κ.ά. 2005):

- Ευαισθητοποίηση και πρόσληψη: αναζήτηση υποστήριξης και δέσμευση μιας βασικής ομάδας συμμετεχουσών εταιρειών.
- Συλλογή δεδομένων: για τη λογιστική καταγραφή των εισροών και των ροών των υλικών, των βασικών προϊόντων και των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας κάθε εταιρείας. Η φάση αυτή χρησιμοποιεί γενικά ένα μέσο έρευνας, το οποίο συνήθως ακολουθείται από επιτόπια επίσκεψη ή τηλεφωνική συνέντευξη.
- Ανάλυση & Ταυτοποίηση συμβίωσης/συνεργιών: Συνήθως τα δεδομένα εισάγονται σε μια βάση δεδομένων με κάποια μορφή. Αρχικά ένας μεγάλος αριθμός πιθανών συνδυασμών προσδιορίζεται ως σημείο εκκίνησης. Συναντήσεις ανταλλαγής ιδεών οργανώνονται για να εξετάσουν τις αναγνωρισμένες συνέργιες ή να εντοπίσουν πρόσθετες.
- Εφαρμογή και συνέχιση: μέσω περαιτέρω συνεδριάσεων για την ιεράρχηση των έργων και την εκπόνηση σχεδίου δράσης για την υλοποίηση βιώσιμων συνεργιών.

2.4.11. Παραδείγματα Βιομηχανικής Συμβίωσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα κυριότερα οικολογικά Βιομηχανικά Πάρκα στην Ευρώπη (Περικλέους, 2012):

Πίνακας 2.4.11 : Κυριότερα Οικολογικά Βιομηχανικά Πάρκα της Ευρώπης.

Βιομηχανικό Οικολογικό Πάρκο	Συνοπτική Περιγραφή
Crewe green Business Park (Αγγλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο
Dagenham Sustainable Industrial Park (Αγγλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο
Dyfi Eco Park (Αγγλία)	Πάρκο που εστιάζει τις δραστηριότητές του στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
Sustainable Growth Park Yorkshire (Αγγλία)	Πάρκο βασισμένο στις αρχές της πράσινης ανάπτυξης.
Selkirk Eco Industrial Project (Αγγλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο
Righead Sustainable Industrial Estate (Αγγλία)	Περιοχή που γίνεται προσπάθεια εφαρμογής των αρχών της βιομηχανικής οικολογίας
Ecotech Swaffham (Αγγλία)	Πάρκο το οποίο αποτελεί κέντρο ανάπτυξης οικολογικών δραστηριοτήτων.
Green Park Cornwall (Αγγλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο.
London Remade eco-industrial sites (Αγγλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο με επίκεντρο την ανακύκλωση και τη βιομάζα.
Hartberg Okopark (Αυστρία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο
Styrian Recycling (Αυστρία)	Βιομηχανική περιοχή που χαρακτηρίζεται από εξελιγμένο σύστημα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υλικών στα πρότυπα του Kalundborg, συμπεριλαμβανομένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, βιομηχανίας οικοδομικών υλικών, χάρτου και παραγωγής πλαστικών.
Eco-Industrial Park Karlsruhe (Γερμανία)	Αποτελείται περίπου από 40-50 εταιρείες και ένα δίκτυο ανταλλαγής οργανικών και ανόργανων υπο-προϊόντων.
Value park Schkopau (Γερμανία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο.
Emscher Park (Γερμανία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο σε προϋπάρχουσα βιομηχανική περιοχή.
Herning – Ikast Industrial Park (Δανία)	Επιχειρηματικό και βιομηχανικό πάρκο σχεδιασμένο σε οικολογικά πρότυπα
Kalundborg (Δανία)	Εξελιγμένο ολοκληρωμένο βιομηχανικό πάρκο, που χαρακτηρίζεται από ένα δίκτυο επιχειρήσεων, ανταλλαγής υλικών και ενέργειας, αναπτύχθηκαν τα τελευταία 25 χρόνια, χωρίς επιρροή από το εξωτερικό.

Ecopark Oulu (Φινλανδία)	Σχεδιασμένο το 2002 οικολογικό πάρκο στο οποίο εγκαταστάθηκαν προϋπάρχουσες βιομηχανίες από τις γύρω περιοχές. Δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη συνεργασιών εντός του πάρκου.
Rantasalmi (Φινλανδία)	Υπό συνεχή ανάπτυξη ολοκληρωμένο βιομηχανικό πάρκο
Ecosite du Pays de Thau (Γαλλία)	Οικολογικό πάρκο που αναπτύσσεται στις αρχές της συμβίωσης και με τις γύρω κατοικημένες περιοχές.
Parc Industriel Plaine de l'Ain, Lyon (Γαλλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο.
Montagna – Energia Valle di Non (Ιταλία)	Οικολογικό βιομηχανικό πάρκο.
Turin Environmental Park (Ιταλία)	Περιβαλλοντικό βιομηχανικό πάρκο.
Rotterdam Harbour Industrial Ecosystems Project (Ολλανδία)	Εφαρμογή της βιομηχανικής συμβίωσης μέσω κρατικής παρέμβασης στις βιομηχανίες στο λιμάνι του Rotterdam.
Landskrona (Σουηδία)	Μέσω του διεθνούς ινστιτούτου για την βιομηχανική οικολογική οικονομία και του Πανεπιστημίου του Lund αναπτύχθηκε η βιομηχανική συμβίωση στη βιομηχανική περιοχή της Landskron
Stockholm Environmental Science Park (Σουηδία)	Πάρκο που αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες χρήσιμες στη βιώσιμη ανάπτυξη.
Norrköping (Σουηδία)	Βιομηχανικό δίκτυο συμβίωσης που συνδυάζει ιδιωτικές και δημόσιες επιχειρήσεις
Helsingborg (Σουηδία)	Βιομηχανικό δίκτυο συμβίωσης που συνδυάζει ιδιωτικές και δημόσιες επιχειρήσεις σε υπάρχουσα βιομηχανική περιοχή.

Παρακάτω γίνεται μια πιο αναλυτική περιγραφή των δικτύων βιομηχανικής συμβίωσης στο Kalundborg της Δανίας και στο Helsingborg της Σουηδίας.

Δίκτυο Βιομηχανικής Συμβίωσης στο Kalundborg της Δανίας

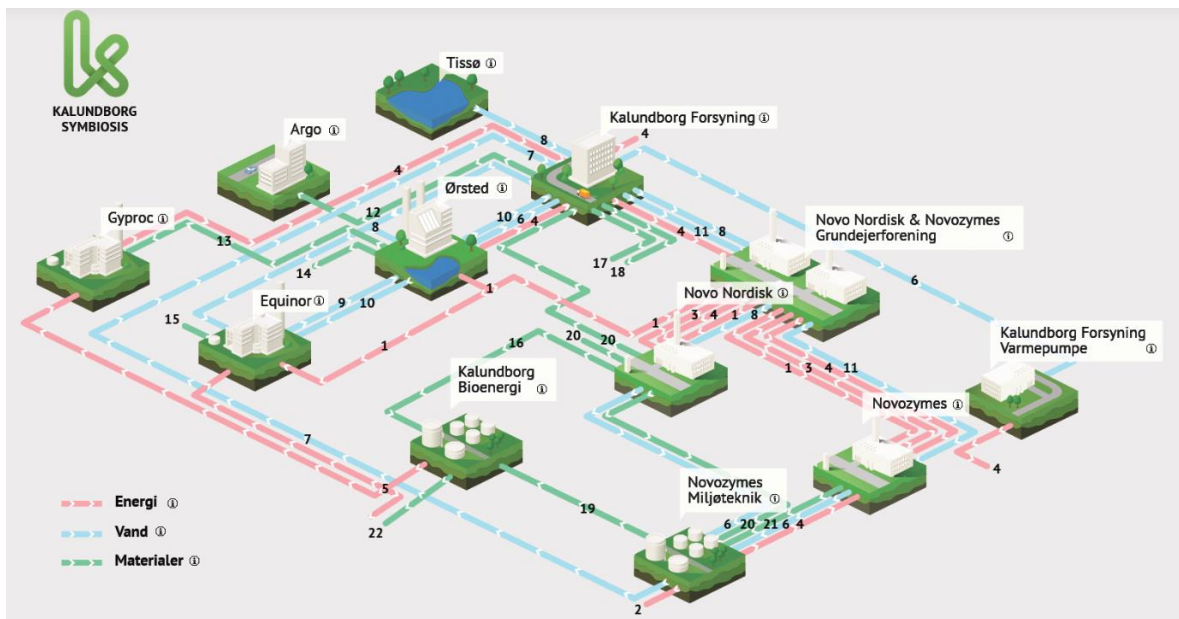
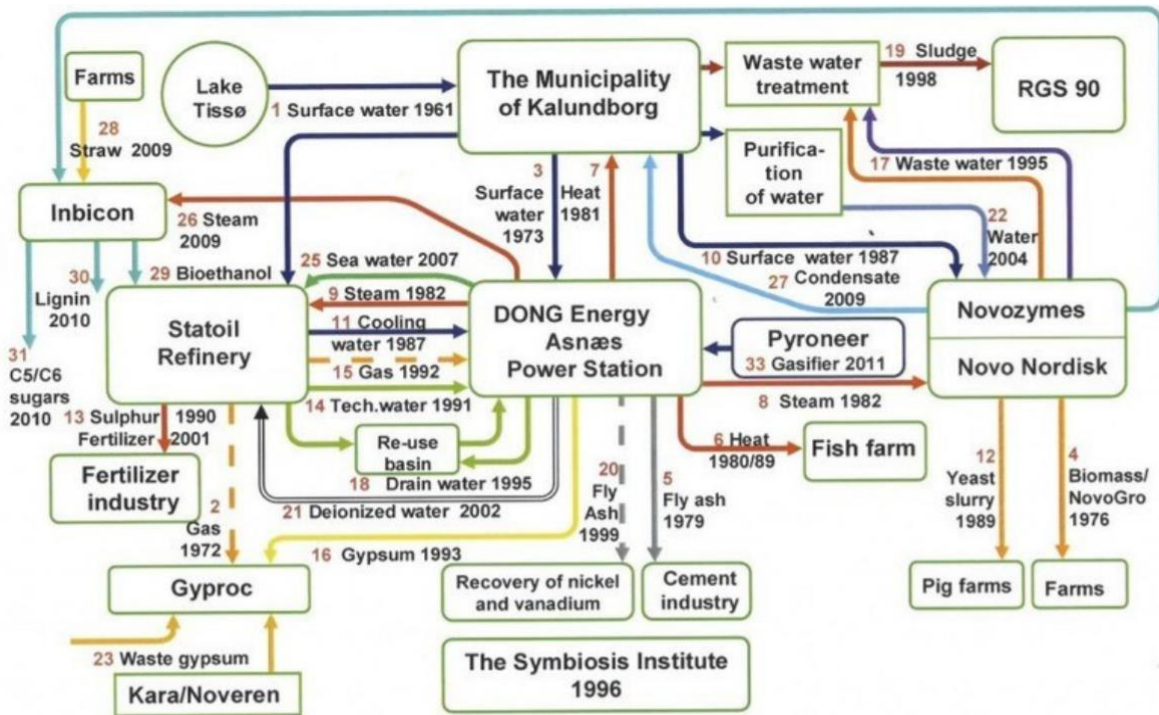
Μία από τις αγαπημένες περιπτώσεις που παρουσιάζονται από τους βιομηχανικούς οικολόγους είναι η ιστορία της αυθόρμητης εξέλιξης της «βιομηχανικής συμβίωσης» στο Kalundborg της Δανίας. Αυτός ο ιστός υλικών και ενεργειακών ανταλλαγών μεταξύ των επιχειρήσεων (και με την κοινότητα) αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών σε αυτήν την βιομηχανική περιοχή στην ακτή, δυτικά της Κοπεγχάγης. Αρχικά, το κίνητρο πίσω από αυτό το έργο ήταν η μείωση των αποβλήτων με την αναζήτηση κερδοφόρων χρήσεων για αυτούς, δηλαδή ένας παραδοσιακός επιχειρηματικός στόχος. Σταδιακά, οι διευθυντές και οι κάτοικοι της πόλης συνειδητοποίησαν ότι παρήγαγαν ισχυρά περιβαλλοντικά οφέλη μέσω των συναλλαγών τους. Αρχικός στόχος ήταν η αξιοποίηση των επιφανειακών νερών της λίμνης Tisso από ένα νέο διυλιστήριο και η ταυτόχρονη προστασία των υπόγειων νερών από τη μέχρι τότε εντατική εκμετάλλευση, με αφετηρία τη

συνεργασία της πόλης του Kalundborg με τη νέα μονάδα διύλισης. Ακολούθησαν μία σειρά από έργα διασύνδεσης βιομηχανιών και το δίκτυο συνεργαζόμενων μονάδων επεκτάθηκε σημαντικά. Πλέον, το συμβιωτικό δίκτυο περιλαμβάνει συνολικά 17 μονάδες μεταξύ των οποίων πραγματοποιούνται 30 ανταλλαγές ρευμάτων.

Το σύστημα του Kalundborg περιλαμβάνει πέντε βασικούς εταίρους :

- Το σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Asnaes, που είναι ο μεγαλύτερος της Δανίας με δυναμικότητα 1500 MW
- Το διυλιστήριο πετρελαίου της Statoil, το μεγαλύτερο της Δανίας με δυναμικότητα 3,2 εκατομμύρια τόνων το χρόνο (αυξάνεται σε 4,8 εκατ. τόνους το χρόνο)
- Την Gyro, ένα εργοστάσιο γυψοσανίδων που παράγει 14 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα τέτοιων προϊόντων το χρόνο
- Την Novo Nordisk, μια διεθνή εταιρεία βιοτεχνολογίας με ετήσιες πωλήσεις πάνω από 2 δισεκατομμύρια ευρώ. Το εργοστάσιο στο Kalundborg είναι το μεγαλύτερο της εταιρείας και παράγει φαρμακευτικά (μεταξύ των οποίων και το 40% της παγκόσμιας προσφοράς ινσουλίνης) και βιομηχανικά ένζυμα
- Την πόλη του Kalundborg που 20.000 κάτοικοί της θερμαίνονται από το σύστημα, ενώ παρέχεται ζεστό νερό σε κατοικίες και βιομηχανίες

Το σύστημα ολοκληρώνεται στη σημερινή του μορφή με την Kemira (χημική εταιρεία παραγωγής κυρίως θειικού οξέος), ένα εργοστάσιο τσιμέντου, μία μονάδα ιχθυοκαλλιέργειας, μία κτηνοτροφική μονάδα, και ένα γεωργικό συνεταιρισμό



Εικόνα 2.4.11: Το συμβιωτικό δίκτυο της περιοχής Kalundborg (Πηγή: Kalundborg Symbiosis/ <http://www.symbiosis.dk/en/>)

Στο οικο-βιομηχανικό αυτό πάρκο η κεντρική μονάδα γύρω από την οποία απορρέουν οι περισσότερες λειτουργίες είναι το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πορεία είναι η εξής: το εργοστάσιο παράγει απόβλητα ατμού και ζεστού νερού. Αυτό το νερό θερμαίνει τις δεξαμενές ενός ιχθυοτροφείου ενώ ο ατμός χρησιμοποιείται από την τοπική κοινωνία για τη θέρμανση και από τη Novo Nordisk (τη φαρμακευτική εταιρεία), η οποία με τη σειρά της δίνει οργανική υλός στους αγρότες για να τη χρησιμοποιήσουν ως λίπασμα. Τα αέρια που παράγονται από το διυλιστήριο του πετρελαίου στέλνονται στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,

καλύπτοντας μια κατανάλωση 30,000 τόνων κάρβουνου το χρόνο, που απαιτούνται για τη λειτουργία του. Τα περιβαλλοντικά οφέλη ανά έτος μεταφράζονται σε:

- Εξοικονόμηση φυσικών πόρων (Πετρέλαιο: 19 x 10³ τόνοι, Άνθρακας: 30 x 10³ τόνοι, Νερό: 600 x 10³ m³),
- Μείωση εκπομπών (CO₂: 130 x 10³ τόνοι (από 4 x 10⁶ τόνους) και SO₂ 3700 τόνοι (από 29 x 10³ τόνους)),
- Επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων (Ιπτάμενη τέφρα: 135 τόνοι, Θείο : 2800 τόνοι, Γύψος: 80 x 10³ τόνοι, Άζωτο από τη ιλύ: 800 τόνοι).

Το αποτέλεσμα αυτών των λειτουργιών είναι:

- Μείωση της ρύπανση του αέρα, των νερών και του εδάφους.
- Εξοικονόμηση άλλων πόρων.
- Εξοικονόμηση νερού.
- Περισσότερα έσοδα (οικονομικό όφελος).
- Εξοικονόμηση κόστους για τις εμπλεκόμενες εταιρείες, και
- Έσοδα από τις ανταλλαγές των υπο-προϊόντων.

Η επιτυχία του αρχετυπικού αυτού παραδείγματος οφείλεται μεταξύ άλλων:

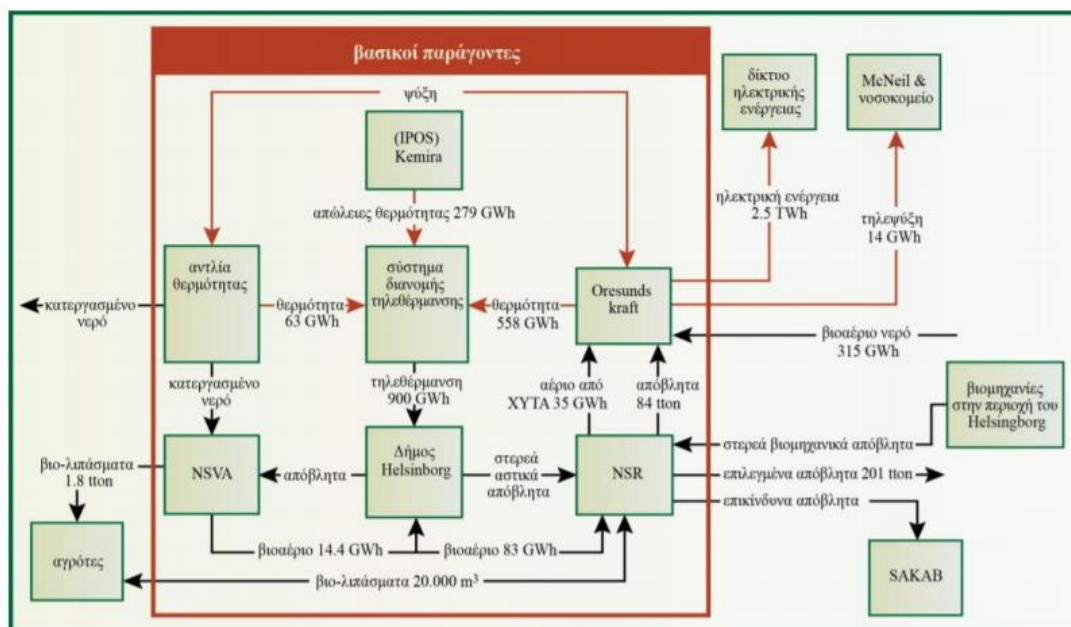
- Στην ποικιλία των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, που ταίριαζαν η μια με την άλλη,
- Στη μικρή γεωγραφική απόσταση ανάμεσα στα μέλη της βιομηχανικής συμβίωσης, που ελάττωσε τα κόστη μεταφοράς υλικών, ενέργειας κτλ.,
- Στη μικρή «νοητική απόσταση» ανάμεσα στους εταίρους, δηλαδή τα μέλη του συστήματος γνώριζαν ο ένας τον άλλο και μπορούσαν να επικοινωνήσουν άνετα, Ο στόχος ήταν μια βιώσιμη οικονομία, που να βασίζεται σε έγκυρες και επικερδείς εμπορικά συμφωνίες, και
- Εθελοντική συμμετοχή και εθελοντική στενή συνεργασία με τις αρμόδιες κρατικές αλλά και κοινοτικές τοπικές αρχές.

Δίκτυο Βιομηχανικής Συμβίωσης στο Helsingborg της Σουηδίας

Το Helsingborg είναι μια πόλη όπου η αειφόρος ανάπτυξη είναι ένα σημαντικό ζήτημα, ενώ αναπτύσσει νέες περιοχές στην πόλη. Για παράδειγμα, το 2010 η πόλη υπέγραψε συμφωνία με ορισμένες από τις μεγάλες εταιρείες που εργάζονται εκεί, για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τους πολίτες και τις βιομηχανίες στο Helsingborg. Επιπλέον, ο δήμος είναι ο ιδιοκτήτης του κύριου παραγωγού ενέργειας και θερμότητας που παραδίδεται στην

πόλη μέσω ενός συστήματος τηλεθέρμανσης, καθώς και είναι ιδιοκτήτης της τοπικής εταιρείας επεξεργασίας αποβλήτων. (Πηγή: <http://www.industriellekologi.se/symbiosis/helsingborg.html>).

Οι διάφορες συμβιωτικές σχέσεις στο Helsingborg έχουν πολλά περιβαλλοντικά οφέλη. Τα κυριότερα είναι η μειωμένη ανάγκη για παραγωγή θερμότητας και λιγότερη ζήτηση για διαφορετικούς τύπους καυσίμων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλεονάζουσα θερμότητα από διάφορες βιομηχανίες στο Helsingborg μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως στο σύστημα τηλεθέρμανσης. Επίσης, το φυσικό αέριο μπορεί να αντικατασταθεί από βιοαέριο, το οποίο αποτελεί παραπροϊόν από την επεξεργασία λυμάτων π.χ. Ένα άλλο πλεονέκτημα των βιομηχανικών συμβιωτικών στο Helsingborg είναι ο μειωμένος αριθμός και η απόσταση των μεταφορών μέσω της σύνδεσης των διαφόρων εταιρειών, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών. Περαιτέρω, τα διαφορετικά συμβιωτικά δίκτυα οδηγούν επίσης σε μικρότερο όγκο αποβλήτων τοποθετημένων σε χώρους υγειονομικής ταφής, ειδικά επειδή μεγάλο μέρος των αποβλήτων ανακυκλώνεται και πολλά από τα υπόλοιπα απόβλητα χρησιμοποιούνται για καύση. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι οι γεωργοί στην περιοχή υποκαθιστούν μερικά από τα ανόργανα λιπάσματα με μια πλούσια σε θρεπτικά συστατικά ιλύ, η οποία μειώνει τη ζήτηση πεπερασμένου φωσφόρου και ορυκτού φυσικού αερίου. Επιπλέον, η επιλογή του δήμου και των εταιρειών να συνεργαστούν για περιβαλλοντικό κέρδος, φέρνει σε γνώση των περιβαλλοντικών θεμάτων τον πληθυσμό του Helsingborg.



Εικόνα 2.4.11.2: Κύριες συνέργειες και ανταλλαγές πόρων στο Δίκτυο Helsingborg IS. (Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις ροές υλικού μεταξύ των ηθοποιών και τα κόκκινα βέλη περιγράφουν τους φορείς ενέργειας που αποστέλλονται μεταξύ των εταιριών ή της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Από το δίκτυο κάθε εταιρία, καθώς και άλλοι καταναλωτές, είναι σε θέση να χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια.)

3. Υδρο-κεντρική βιομηχανική συμβίωση (Water Smart Industrial Symbiosis)

Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για νερό από διάφορες οικονομικές δραστηριότητες και αυξανόμενη πίεση στις φυσικές πηγές νερού. Για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη νερού για την κοινωνία μας, υπάρχει ανάγκη να διατεθούν εναλλακτικοί υδατικοί πόροι κατάλληλοι για διαφορετικές λειτουργίες και πολλούς χρήστες και να αξιοποιηθούν καλύτερα οι υδατικοί πόροι και όλες οι πολύτιμες ουσίες που θα μπορούσαν να ληφθούν μέσω των υγρών αποβλήτων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης. Ωστόσο, οι καινοτομίες στον τομέα αυτό παραμένουν κατακερματισμένες και / ή πειραματίστηκαν μόνο σε μικρές κλίμακες. Η δοκιμή και η ανάπτυξη σε λειτουργικά περιβάλλοντα και σε κλίμακες κατάλληλες για την ενθάρρυνση της ευρύτερης πρόσληψης εξακολουθούν να λείπουν.

Οι δράσεις πρέπει να καταδεικνύουν τη σκοπιμότητα μιας οικονομίας και κοινωνίας «έξυπνης ύδρευσης», στην οποία όλοι οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειακών, των υπόγειων, των υγρών αποβλήτων και των επεξεργασμένων υδάτων, διαχειρίζονται με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η λειψυδρία και η ρύπανση, να αυξηθεί η ανθεκτικότητα (resilience) στην αλλαγή του κλίματος, να διασφαλιστεί η κατάλληλη διαχείριση των κινδύνων που σχετίζονται με το νερό και η ανάκτηση όλων των πολύτιμων ουσιών που μπορούν να ληφθούν από διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ή από χρησιμοποιούμενες σε ροές ύδατος.

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων εναλλακτικών λύσεων επεξεργασίας βιομηχανικών υγρών αποβλήτων θεωρείται ότι έχει μεγάλη σημασία λόγω των περιορισμένων ορίων και των αυστηρών προτύπων απόρριψης που επιβάλλονται στις βιομηχανίες. Οι πιθανές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (Ehrenfeld και Gertler, 1997) θα διαφέρουν από τη μία βιομηχανία στην άλλη, ανάλογα με την ποσότητα και την ποιότητά τους.

Οι ενέργειες πρέπει να αφορούν μόνο ένα από τα ακόλουθα θέματα:

α) Συμβίωση μεταξύ βιομηχανίας και επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας :

Οι δράσεις πρέπει να επιδεικνύουν λύσεις αποδοτικές από πλευράς πόρων, οι οποίες προκύπτουν από τη συστηματική εκμετάλλευση των συμβιωτικών διασυνδέσεων μεταξύ της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στη βιομηχανία και στις επιχειρήσεις ύδρευσης. Αυτά μπορεί να αφορούν π.χ. την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, τη χρήση ουσιών ή ενέργειας που προέρχονται από την επεξεργασία τους ή να αποδείξουν την έννοια της δυναμικής κατανομής της σωστής ποιότητας του νερού για τον σωστό σκοπό, διασφαλίζοντας παράλληλα την υγεία και την ασφάλεια. Οι καινοτόμες λύσεις δεν χρειάζεται να είναι μόνο τεχνολογικές αλλά μπορούν επίσης να

περιλαμβάνουν και άλλα είδη καινοτομίας, όπως η καινοτόμος διακυβέρνηση και η εμπλοκή των ενδιαφερομένων μερών (stakeholders) ή τα επιχειρηματικά μοντέλα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

β) Εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με πολλαπλές χρήσεις νερού σε διάφορες σχετικές κλίμακες:

Οι δράσεις θα πρέπει να δοκιμάζουν και να επιδεικνύουν συστημική καινοτομία σε μεγάλης κλίμακας λειτουργικά περιβάλλοντα, καθώς και να απευθύνονται σε πολλές χρήσεις νερού (αστικές, βιομηχανικές, αγροτικές και γεωργικές) και σε διάφορες κλίμακες (περιφερειακές / εθνικές / διεθνείς) με σκοπό :

- την τόνωση της αποδοτικής και πολλαπλής χρήσης, ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού
- την ανάκτηση ενέργειας και πρώτων υλών από το νερό
- τη διαχείριση της ζήτησης ύδατος και αποτελεσματική κατανομή
- την εκμετάλλευση εναλλακτικών πηγών νερού
- την πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων και υποβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος και του εδάφους
- την οικονομικά αποδοτική και έξυπνη διαχείριση του συστήματος ύδρευσης και της υποδομής

Στο μέτρο του δυνατού, οι καινοτόμες λύσεις πρέπει να περιλαμβάνουν όλες τις προαναφερθείσες δραστηριότητες. Οι δράσεις θα πρέπει επίσης να εξετάσουν νέες έννοιες και στρατηγικές μάρκετινγκ και χρηματοδότησης για τη μεγιστοποίηση των πολλαπλών τιμών των υδάτων και την αύξηση της ελκυστικότητας του τομέα των υδάτων για τους επενδυτές, νέες προσεγγίσεις διακυβέρνησης και μέσα λήψης αποφάσεων για τους διαχειριστές των υδάτων, τις προσεγγίσεις ευπάθειας συστημάτων ύδρευσης και άλλες αξιολογήσεις βιωσιμότητας (π.χ. Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής).

Ενθαρρύνεται, επίσης, η ανάπτυξη δυνατοτήτων ψηφιακών λύσεων για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση δεδομένων και διαδικασιών. Όπου ενδείκνυται, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τα σχετικά ρυθμιστικά και θεσμικά εμπόδια που εμποδίζουν την ευρεία εφαρμογή καινοτόμων λύσεων. Για τη διασφάλιση της δυνατότητας εφαρμογής και της ευρείας διάδοσης των καινοτόμων τεχνολογιών ύδατος σε διαφορετικές συνθήκες (συμπεριλαμβανομένων των διαφορετικών υδάτινων πόρων, οικονομικών, κοινωνικών και κανονιστικών ρυθμίσεων) ενθαρρύνεται έντονα η συμμετοχή εταίρων της αγοράς ή / και τελικών χρηστών από ευρύ φάσμα διαφορετικών ευρωπαϊκών περιφερειών , καθώς και τη συμμετοχή των ΜΜΕ.

3.1. Μηδενική Απόρριψη Υγρών Αποβλήτων

Με την εκβιομηχάνιση και την αστικοποίηση, οι πόροι χρησιμοποιούνται αξιοσημείωτα για να διατηρήσουν την ταχεία ανάπτυξη της οικονομίας και τις καθημερινές ανάγκες των κατοίκων. Τα ζητήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης έχουν προκύψει ως μια κατάσταση που έπρεπε να επιλυθεί επειγόντως, όπως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, η ρύπανση από τα υγρά απόβλητα και στερεά απόβλητα και ούτω καθεξής. Ωστόσο, η ρύπανση εξαιτίας των υγρών αποβλήτων, συγκεκριμένα των βιομηχανικών, θεωρείται ως ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης και έχει αποκτήσει μεγαλύτερη προσοχή παγκοσμίως. Αειφόρος ανάπτυξη είναι ο στόχος που επιτυγχάνει την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας διατηρώντας ταυτόχρονα την ικανότητα των φυσικών συστημάτων να παρέχουν υπηρεσίες. Επιπλέον, βιωσιμότητα είναι μια διαδικασία ή κατάσταση που μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μια μεγάλη ποσότητα απόρριψης υγρών αποβλήτων θα αυξήσει την πίεση στους φυσικούς πόρους και θα προκαλέσει ορισμένες οικονομικές απώλειες. Επομένως, η διερεύνηση της ρύπανσης εξαιτίας των υγρών αποβλήτων έχει σημαντικό αντίκτυπο όχι μόνο στη διατήρηση των υδάτινων πόρων αλλά και στην προστασία της υγείας των ανθρώπων, η οποία είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Τα οικιακά λύματα και τα βιομηχανικά υγρά απόβλητα είναι δύο μεγάλοι τύποι υγρών αποβλήτων, των οποίων τα βιομηχανικά είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπιστούν λόγω των σύνθετων συστατικών ρύπανσης και της υψηλής συγκέντρωσης ρύπων. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι προφανές ότι η τρέχουσα κατάσταση της απόρριψης υγρών αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν από την εφαρμογή μέτρων για τον μετριασμό της απόρριψής τους. Η περίπλοκη και εσωτερική ροή των αποβλήτων μεταξύ των βιομηχανιών παραμελήθηκε, η οποία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην άμβλυνση των αποβλήτων και στην εφαρμογή της κατάλληλης στρατηγικής αντιμετώπισης.

Η ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την απόρριψη υγρών αποβλήτων συνεπάγεται ολοκληρωμένη κατανόηση των πιθανών συνεπειών για τη δημόσια υγεία, τις γεωργικές πρακτικές, καθώς και άλλες περιβαλλοντικές ανησυχίες. Για τους λόγους αυτούς, ορισμένες βιομηχανικές πόλεις αρχίζουν να επιβάλλουν πολιτικές που περιλαμβάνουν πρακτικές μηδενικής απόρριψης υγρών αποβλήτων (ZLD).

Η ZLD είναι μια διαδικασία επεξεργασίας που αποσκοπεί στην απομάκρυνση όλων των υγρών αποβλήτων από ένα σύστημα. Σκοπός είναι να μειωθούν τα απόβλητα και να παραχθεί νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση (π.χ. άρδευση), εξοικονομώντας έτσι χρήματα και ευνοώντας το περιβάλλον. Τα συστήματα ZLD χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας υγρών

αποβλήτων / αφαλάτωσης για τον καθαρισμό και την ανακύκλωση σχεδόν όλων των αποβλήτων που παράγονται.

Οι τυποποιημένες βιομηχανικές εργασίες συχνά οδηγούν σε πολλές ανεπιθύμητες ροές εκροής, συμπεριλαμβανομένων των ποιοτήτων των υγρών αποβλήτων που ενδέχεται να προκαλέσουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αν αντιμετωπιστούν ακατάλληλα. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η περιβαλλοντική συμμόρφωση με τα πρότυπα απόρριψης τους κατά τον χειρισμό τους. Η απόρριψη των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων ρυθμίζεται ως επί το πλείστον από την επιβολή συγκεκριμένων ορίων εκροής. Παρέχονται γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τους τυπικούς κανονισμούς απόρριψής τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδέχεται να λαμβάνουν υπόψη τους τύπους των επιχειρήσεων που διεξάγονται σε μια βιομηχανική εγκατάσταση ή ακόμη και να επιβάλλουν συγκεκριμένους περιορισμούς απαλλαγής. Πολλές τεχνολογίες επεξεργασίας έχουν αναπτυχθεί για να βοηθήσουν τις βιομηχανίες να ικανοποιήσουν διαφορετικές απαιτήσεις σχετικά με τα πρότυπα ποιότητας των υδάτων για την απόρριψη.

Επιπλέον, πολλές τυπικές μέθοδοι επεξεργασίας μπορούν επίσης να συνδυαστούν με τεχνικές Zero Liquid Discharge (ZLD), για να βοηθήσουν στην άμβλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με πλευρικές ροές (ιλύς, συμπύκνωμα κ.λπ.) που παράγονται ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Το ZLD αναφέρεται γενικά σε μια προσέγγιση η οποία εμποδίζει την απόρριψη υγρών αποβλήτων ή αποβλήτων σε επιφανειακά ύδατα. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται την εφαρμογή στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης που επιτυγχάνουν σχεδόν μηδενικά επίπεδα εκροής ή μπορεί να συνεπάγεται την ενσωμάτωση επιπρόσθετων σταδίων επεξεργασίας που ουσιαστικά μειώνουν οποιαδήποτε υγρά απόβλητα προς ξηρά στερεά / άλατα. Η ενσωμάτωση των επιλογών ZLD που συνεπάγονται επεξεργασία άλατος μπορεί να επιτρέψει την πρόσθετη ανάκτηση νερού στο σύστημα, ανάλογα με τον τύπο των μηχανισμών ZLD που τίθενται σε λειτουργία. Το ανακτημένο νερό ενδέχεται να επαναχρησιμοποιηθεί σε ορισμένες εφαρμογές που καταναλώνουν νερό ή μπορεί ακόμη και να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει την ποιότητα άλλων ρευμάτων αποβλήτων, γεγονός που με τη σειρά του μπορεί να αυξήσει την ολική ροή των υγρών αποβλήτων που ανακυκλώνονται πίσω στο σύστημα. Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων σε συνδυασμό με ένα πρόσθετο στάδιο επεξεργασίας ZLD μπορεί να βοηθήσει στην εκπόνηση βελτιωμένων στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης τους, εξαλείφοντας την απόρριψη τους.

Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ενσωμάτωσης νερού για να αξιολογηθεί η πιθανότητα επίτευξης σχεδίων ZLD ή σχεδόν ZLD, ως πρόβλημα ελαχιστοποίησης υγρών αποβλήτων ή πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους. Οι γραφικές τεχνικές, οι αριθμητικές μέθοδοι καθώς και τα εργαλεία

μαθηματικού προγραμματισμού μπορούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα ελαχιστοποίησης των υγρών αποβλήτων. Οι Deng και Feng (2009) παρουσιάζουν μια στρατηγική εκσυγχρονισμού που στοχεύει τη μηδενική απόρριψη υγρών, για ένα σύστημα ύδατος σε μια μονάδα αλουμινίου, χρησιμοποιώντας μια γραφική μέθοδο. Οι Deng et al. (2008) αναλύουν τις συνθήκες και τους βέλτιστους στόχους για τη μηδενική απόρριψη υγρών, καθώς και τη βελτιστοποίηση της αντίστοιχης συγκέντρωσης επεξεργασμένου νερού, για ένα σύστημα με ένα μόνο μολυσματικό και σταθερό φορτίο μάζας. Παρουσιάζουν μια γραφική τεχνική για να στοχεύουν τις βέλτιστες συγκεντρώσεις πριν και μετά την επεξεργασία, καθώς και τις ροές επεξεργασμένου νερού. Σύμφωνα με την ανάλυση που παρουσίασαν οι Deng et al. (2008) η ZLD μπορεί να επιτευχθεί σε συστήματα χωρίς απώλειες ύδατος, εάν η συγκέντρωση μετά την επεξεργασία είναι χαμηλότερη από την ελάχιστη περιοριστική συγκέντρωση εισόδου όλων των λειτουργιών. Όταν υπάρχουν απώλειες νερού, η ZLD είναι εφικτή μόνο εάν η μέγιστη συγκέντρωση μετά την επεξεργασία που ορίζεται για το ZLD είναι πάντα υψηλότερη από αυτή που προκύπτει, ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί ένα βέλτιστο δίκτυο ύδρευσης ZLD.

Οι μέθοδοι μαθηματικού προγραμματισμού έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε προβλήματα ελαχιστοποίησης στο νερό. Οι El-Halwagi et al (2003) παρουσιάζουν μια δυναμική προσέγγιση προγραμματισμού για τη μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης των ρευμάτων των υγρών αποβλήτων και την ελαχιστοποίηση της χρήσης του γλυκού νερού. Οι Korpol et al. (2004) εισήγαγαν μια προσέγγιση μαθηματικού προγραμματισμού που αξιολογεί τη σκοπιμότητα της μεμονωμένης ZLD σε έναν αριθμό μονάδων, στις οποίες έχουν ληφθεί υπόψη διάφορες επιλογές για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και τις διαμορφώσεις επεξεργασίας στο τέλος του σωλήνα. Δεδομένου ότι δεν έχουν ληφθεί υπόψη άλλες μονάδες επεξεργασίας ZLD μετά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, οι Korpol et al. (2004) καταδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο το ZLD θα μπορούσε να επιτευχθεί μόνο σε ορισμένες μονάδες, ενώ άλλες εγκαταστάσεις απαιτούν επεξεργασία στο τέλος του σωλήνα σε όλα τα υπόλοιπα ρεύματα υγρών αποβλήτων πριν από την απόρριψη. Ο Gabriel και ο El-Halwagi (2005) ανέπτυξαν μια προσέγγιση βελτιστοποίησης για να συμπεριλάβουν την επεξεργασία ροών υγρών αποβλήτων και το κόστος για τη βελτιστοποίηση της ανακύκλωσης / επαναχρησιμοποίησης του νερού. Οι Faria και Bagajewicz (2010) συζητούν διαφορετικές δομές νερού που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση προβλημάτων κατανομής νερού, τα οποία περιλαμβάνουν διαφορετικές ρυθμίσεις του υποσυστήματος προεπεξεργασίας, του υποσυστήματος που χρησιμοποιεί το νερό και του υποσυστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι Faria και Bagajewicz (2010) δείχνουν ότι η ανακύκλωση νερού από την τελική επεξεργασία θα μπορούσε να μειώσει το κόστος του συστήματος και η προσθήκη ενός υποσυστήματος προεπεξεργασίας μπορεί να δημιουργήσει δυνατότητες για μηδενικούς κύκλους απόρριψης.

Όταν χρησιμοποιούνται στόχοι ελαχιστοποίησης των υγρών αποβλήτων, οι μέθοδοι επικεντρώνονται κυρίως στη μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης τους, είτε μέσω προγραμμάτων άμεσης επαναχρησιμοποίησης είτε με την ενσωμάτωση επιλογών επεξεργασίας. Μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιείται συχνά για την ανανέωση και την ενίσχυση της ποιότητας τους πριν από την επαναχρησιμοποίηση, σε περιπτώσεις όπου η άμεση επαναχρησιμοποίηση δεν μπορεί να ικανοποιήσει μόνο τις απαιτούμενες προδιαγραφές ποιότητας νερού. Εάν το σύστημα είναι έλλειμμα νερού, οι συνολικές απαιτούμενες ροές απορροής είναι μεγαλύτερες από τις συνολικές διαθέσιμες ροές πηγών και η συνολική κατανάλωση νερού θα υπερβαίνει πάντοτε την ποσότητα των παραγόμενων υγρών αποβλήτων. Σε αυτή την περίπτωση, οι επιλογές ZLD μπορούν να επιτευχθούν είτε μέσω άμεσης επαναχρησιμοποίησης, σε περίπτωση που οι απαιτήσεις για την ποιότητα του νερού μπορούν να ικανοποιηθούν χωρίς επεξεργασία, είτε με την ενσωμάτωση επιλογών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Ωστόσο, εάν το σύστημα είναι πλεόνασμα νερού, οι συνολικές απαιτούμενες παροχές είναι μικρότερες από τις συνολικές διαθέσιμες ροές πηγών και η ποσότητα των παραγόμενων υγρών αποβλήτων θα υπερέβαινε πάντοτε τη συνολική κατανάλωση νερού του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, τα συστήματα ZLD ή σχεδόν-ZLD δεν μπορούν πλέον να επιτευχθούν μέσω της ελαχιστοποίησης των υγρών αποβλήτων. Επιπλέον, η επιλογή των τελικών αγωγών επεξεργασίας είναι ζωτικής σημασίας σε περίπτωση που δεν πληρούνται οι προδιαγραφές απόρριψης αποβλήτων. Οι Van der Bruggen και Braeken (2006) παρουσιάζουν μια μελέτη περίπτωσης για μια ζυθοποιία στη Φλάνδρα Βέλγιο, η οποία επιτρέπει σημαντική μείωση της κατανάλωσης ύδατος χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση βήμα προς βήμα που προσδιορίζει την επαναχρησιμοποίηση σε λιγότερο απαιτητικές εγκαταστάσεις ως ένα βήμα προς μια μηδενική απόρριψη σχέδιο. Τα Van der Bruggen και Braeken (2006) καταδεικνύουν ότι δεν είναι εφικτή η πλήρης απορρόφηση των ZLD ως αποτέλεσμα των μετέπειτα ροών υγρών αποβλήτων (κυρίως συμπυκνωμάτων) που παράγονται από τα στάδια επεξεργασίας και προτείνει επιλογές περαιτέρω επεξεργασίας συμπυκνώματος, όπως εξατμίσεως υπό κενό, για περαιτέρω διερεύνηση. Η μελέτη τους δείχνει ότι η μεγιστοποίηση του επεξεργασμένου συμπυκνώματος σε επίπεδα γλυκού νερού είναι ζωτικής σημασίας για την ZLD. Οι Vergili et al. (2012) παρουσιάζουν μια μελέτη που αξιολογεί τις στρατηγικές μηδενικής απόρριψης υγρών (ZLD) για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων βαφής από υφαντικές ύλες, χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένες μεθόδους μεμβράνης. Μια αξιολόγηση τεχνολογικών και οικονομικών επιδόσεων, η οποία αφορούσε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις, διεξήχθη με βάση μια διαδικασία επεξεργασίας τριών σταδίων για τα υγρά απόβλητα. Η διαδικασία επεξεργασίας περιλαμβάνει ένα στάδιο φιλτραρίσματος της μεμβράνης με πίεση (MF), που ακολουθείται από τη διήθηση του συμπυκνώματος από την επεξεργασία και τελικά την εξάλειψη των αποβλήτων που παράγονται από τη θεραπεία συμπυκνώματος διήθησης. Οι Barrington και Ho (2014)

διενεργούν έλεγχο νερού σε ένα εργοστάσιο κυανιούχου νατρίου, για να βοηθήσουν στην αναγνώριση των στρατηγικών διατήρησης του νερού που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ZLD. Οι εργασίες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι όλα τα έξοδα που σχετίζονται με την εφαρμογή του ZLD πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά, ιδιαίτερα την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και το κόστος ενέργειας.

3.2 Χαρακτηριστικά των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων

Υγρά βιομηχανικά απόβλητα ονομάζονται τα απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα (οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991). Είναι δηλαδή τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία και μπορεί να περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα λύματα του προσωπικού τα οποία κατατάσσονται στα αστικά λύματα. Η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων είναι διαφορετική για κάθε βιομηχανία, ακόμα και ανάμεσα σε ομοειδείς βιομηχανίες. Αυτό είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του εργοστασίου και οφείλεται στον τρόπο παραγωγικής διαδικασίας, στην ποιότητα της πρώτης ύλης και στο είδος του τελικού προϊόντος. Η παραγωγή των αποβλήτων μπορεί να είναι συνεχής ή διακεκομμένη κατά το χρόνο λειτουργίας του εργοστασίου, επίσης μπορεί να περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου (π.χ. κονσερβοποίηση φρούτων). Τα υγρά απόβλητα αυτά περιέχουν κυρίως οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, λίπη, έλαια, πρωτεΐνες, φαινόλες, επιφανειακά τασιενεργές ουσίες), ανόργανες ουσίες (άζωτο, φώσφορο, διάφορα άλατα) και διάφορα στερεά. Περιέχουν επίσης ουσίες οι οποίες βρίσκονται σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, τοξικές ουσίες, μέταλλα, ιχνοστοιχεία καθώς και διαλυμένα αέρια, όπως αμμωνία (NH₃), υδρόθειο (H₂S) κ.α. Οι ουσίες αυτές χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές του νερού και του περιβάλλοντος γενικότερα. Συνεπώς, η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη, επιβάλλεται από τη νομοθεσία και στοχεύει στην εξουδετέρωση και την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών.

3.2.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

3.2.1.1 Ολικά στερεά

Ως ολικά στερεά (TS=Total Solids) ορίζονται τα στερεά που παραμένουν ως ξηρό υπόλειμμα μετά από ξήρανση του υγρού αποβλήτου στους 103-105°C. Αυτά χωρίζονται σε διαλυτά (DS=dissolved Solids) και αιωρούμενα στερεά (SS=Suspended Solids). Τα SS χωρίζονται σε κολλοειδή μη δυνάμενα να καθιζάνουν και σε δυνάμενα να καθιζάνουν. Όλες οι παραπάνω κατηγορίες χωρίζονται σε οργανικά και ανόργανα στερεά. Ως ανόργανα στερεά ορίζονται αυτά που απομένουν μετά από την παραμονή των ολικών στερεών στους 550°C για μία ώρα.

3.2.1.2 Οσμές

Πολλά βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν δύσοσμες ουσίες αλλά επίσης δύσοσμες ενώσεις παράγονται και κατά την επεξεργασία τους ή κατά την παραμονή τους, πριν από την επεξεργασία τους, όπου αναπτύσσονται δευτερογενώς πτητικές δύσοσμες ενώσεις λόγω αναερόβιων βιολογικών δράσεων. Έτσι π.χ. στις τιμεντοβιομηχανίες και στις βιομηχανίες παραγωγής ασβέστου οι δυσσομίες οφείλονται στην εκπομπή ακρολείνης, αμινών, μερκαπτανών, διβουτυλικού θείου, H₂S και SO₂ ενώ στις βιομηχανίες συσκευασίας αλιευμάτων οφείλονται στην εκπομπή αμινών, θειούχων ενώσεων, αμμωνίας και μερκαπτανών.

3.2.1.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί μια πολύ σπουδαία παράμετρο των υγρών αποβλήτων καθότι επιδρά σε όλες τις αντιδράσεις και βιοαντιδράσεις επεξεργασίας τους και επηρεάζει και την υδάτινη ζωή στους τελικούς αποδέκτες. Για κάθε 10°C αύξηση της θερμοκρασίας, οι ρυθμοί των βιοαντιδράσεων διπλασιάζονται.

3.2.1.4 Χρώμα

Σχεδόν όλα τα βιομηχανικά απόβλητα είναι έγχρωμα και το χρώμα τους εξαρτάται από το είδος της βιομηχανίας. Η διάθεση έγχρωμων αποβλήτων στο περιβάλλον δημιουργεί προϋποθέσεις επιλεκτικής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας διαταράσσοντας τις υπάρχουσες βιολογικές ισορροπίες των οικοσυστημάτων. Ο χρωματισμός στα υγρά απόβλητα οφείλεται σε διαλυτές ενώσεις ή σε κολλοειδείς διασπορές.

3.2.1.5 Πυκνότητα

Η πυκνότητα η οποία εκφράζεται σε g/L ή kg/m³, είναι σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό εξαιτίας της δυνατότητάς της για σχηματισμό ρευμάτων πυκνότητας στις δεξαμενές καθίζησης, στις δεξαμενές χλωρίωσης και σε άλλες μονάδες κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

3.2.1.6 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα, η οποία εκφράζεται σε S/cm, χρησιμοποιείται ως μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα υγρά απόβλητα. Χρησιμοποιείται επίσης για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση και συνδέεται άμεσα με την αλατότητα, η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις χιλίοις (%).

3.2.1.7 Θολερότητα

Η θολερότητα ενός υγρού αποβλήτου αποτελεί μέτρο διαπερατότητας του φωτός και οι αυξημένες τιμές της δηλώνουν την ύπαρξη αιωρούμενων στερεών. Αποτελεί ένα πολύ βασικό τεστ για την καθαρότητα του νερού.

3.2.2 Χημικά Χαρακτηριστικά

3.2.2.1 Οργανική ύλη

Αποτελείται κυρίως από ενώσεις οργανικού άνθρακα και αζώτου και η σύστασή της στα υγρά βιομηχανικά απόβλητα υποδεικνύει τη δυνατότητα βιολογικής οξείδωσής τους καθώς και την πολυπλοκότητα των μεθόδων επεξεργασίας τους. Τυπικές οργανικές ενώσεις που ενδιαφέρουν την περιβαλλοντική τεχνολογία είναι: τα λίπη-έλαια FOG (Fats-Oils-Grease), τα απορρυπαντικά, οι φαινολικές ενώσεις, οι πτητικές οργανικές ενώσεις VOCs (Volatile Organic Compounds), τα φυτοφάρμακα και τα αγροτικά χημικά.

Στο σύνολό της η περιεκτικότητα των αποβλήτων σε οργανική ύλη εκτιμάται από τις παραμέτρους Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon TOC), Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand BOD) και Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand COD). Ο συνδιασμός των παραμέτρων αυτών μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες ως προς τις μεθόδους οξείδωσης που πρέπει να εφαρμοστούν για την απορρύπανσή των αποβλήτων.

TOC (Total Organic Carbon)

Είναι το σύνολο του άνθρακα που περιέχεται στο απόβλητο εκτός του άνθρακα που περιέχεται στα ανθρακικά άλατα και η μέτρησή του αναφέρεται ως mg/L. Ο άνθρακας αυτός χωρίζεται σε βιοαποδομήσιμο άνθρακα και μη ανάλογα με το κατά πόσο μπορεί να αποτελεί θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών του περιβάλλοντος. Ο βιοαποδομήσιμος άνθρακας χωρίζεται σε «σκληρό» και «μαλακό» ανάλογα με τον βαθμό δυσκολίας αποδόμησής του (π.χ. ο άνθρακας των φαινολικών ενώσεων αποτελεί ένα «σκληρό» TOC για τα απόβλητα).

BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από αερόβιους μικροοργανισμούς για τη βιο-οξείδωση ενός λίτρου αποβλήτου σε θερμοκρασία 20°C. Η μέτρηση του γίνεται μέσω του αναπνευστόμετρου Warburg. Είναι ένα εξειδικευμένο βιολογικό τεστ χρονικής βιο-απορρόφησης ατμοσφαιρικού οξυγόνου που απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις και εμπειρία ενώ για την ολοκληρωμένη μέτρησή του απαιτούνται τουλάχιστον είκοσι ημέρες (BOD₂₀). Για πρακτικούς λόγους, έχει καθοριστεί να λαμβάνεται η μέτρηση των πέντε ημερών (BOD₅) και η οποία, γενικά, αντιστοιχεί στο 70-75% του BOD₂₀ (BOD_u(=ultimate) = BOD₂₀). Έχοντας μία σειρά χρονικών μετρήσεων του BOD, από 0 έως 5 μέρες, μπορεί να εκτιμηθεί με αρκετή ακρίβεια η τιμή BOD₂₀. Η μέτρηση του BOD αναφέρεται ως mg O₂ ανά λίτρο αποβλήτου (mg/L).

COD (Chemical Oxygen Demand)

Είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η αντίδραση οξείδωσης πραγματοποιείται με ένα ισχυρό χημικό οξειδωτικό μέσο σε συνθήκες όξινης (π. H₂SO₄ με K₂Cr₂O₄) παρουσία AgSO₄ ως καταλύτης σε υψηλή θερμοκρασία. Υπό αυτές τις συνθήκες το απόβλητο οξειδώνεται σχεδόν πλήρως πλησιάζοντας τη θεωρητική απαίτηση σε οξυγόνο ThOD (Theoretical Oxygen Demand). Η μέτρηση του COD είναι απλή, δεν απαιτεί εξειδίκευση, και ολοκληρώνεται σε 3 ώρες περίπου και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου της επεξεργασίας του αποβλήτου σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD. Πάντοτε το BOD ενός αποβλήτου είναι μικρότερο από το COD του, διότι η χημική οξείδωση είναι ισχυρότερη της βιολογικής και επομένως πάντοτε μεγαλύτερο ποσοστό του αποβλήτου οξειδώνεται χημικά απ' ό,τι βιολογικά. Η μέτρηση του COD αναφέρεται επίσης ως mg O₂ ανά λίτρο αποβλήτου (mg/L).

Ο λόγος COD/BOD αποτελεί ασφαλή δείκτη δυσκολίας βιο-οξείδωσης (τοξικότητας) του αποβλήτου και καθοδηγεί στην επιλογή της τεχνικής οξείδωσης (βιολογική ή χημική) που πρέπει να εφαρμοστεί ώστε αυτή να είναι αποτελεσματική. Όταν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από 2.6 τότε το απόβλητο θεωρείται τοξικό και μία βιολογική επεξεργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρώσει την οξείδωσή του.

Λίπη και έλαια (FOG)

Διακρίνονται σε δύο διαφορετικά είδη, στα βρώσιμα και τα πετρελαιοειδή. Με τον όρο πετρελαιοειδή αναφέρεται μία μεγάλη κατηγορία χημικών υδρογονανθράκων που περιλαμβάνει τη βενζίνη, την κηροζίνη, το αργό πετρέλαιο, τα λάδια μηχανής, διάφορα ορυκτέλαια, γράσα, διαλύτες

και υδραυλικά λάδια. Τα πετρελαιοειδή δημιουργούν τοξικότητα στο απόβλητο λόγω των τοξικών ενώσεων που περιέχονται σ' αυτά ενώ τα βρώσιμα FOG δημιουργούν προβλήματα δυσλειτουργίας (φαινόμενα «ασφυξίας») των μικροοργανισμών κατά τη βιολογική αποδόμηση της οργανικής ύλης εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτά δύσκολα βιοαποδομούνται. Έτσι τα FOG πρέπει να απομακρυνθούν (ή να καταστραφούν) από τα απόβλητα πριν εισαχθούν στη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους.

Απορρυπαντικά

Αφορούν τασιενεργές ενώσεις που χρησιμοποιούνται είτε ως μέσον απομάκρυνσης λιπαρών ουσιών από επιφάνειες είτε ακόμη και ως απολυμαντικά. Όλες οι τασιενεργές ενώσεις θεωρούνται τοξικές διότι δημιουργούν αλλοιώσεις στην κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών ελαττώνοντας έτσι την αντίστασή τους σε οξειδωτικά σοκ. Τα πλέον δημοφιλή απορρυπαντικά βιομηχανικής χρήσης είναι το Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) και το Sodium Dodecyl Sulphonate (SDS) που ανήκουν στα ανιονικά τασιενεργά. Παρουσία 0.02% LAS και 0.01% SDS στα απόβλητα είναι ικανή να ελαττώσει την κυτταρική δραστηριότητα κατά 50% σε δύο ώρες (δείκτης IC50). Έκθεση των κόκκων αναερόβιας χώνευσης σε 0.3 g/L απορρυπαντικών δημιουργεί προϋποθέσεις άμεσης αποδιοργάνωσής τους και ραγδαίας ελάττωσης της ενεργότητάς τους.

Φαινολικές ενώσεις

Είναι ενώσεις που περιέχουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα αποτελεί η καθολική τοξικότητά τους στους μικροοργανισμούς του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια η πολύ μικρή βιοαποδομησιμότητά τους. Παράδειγμα υγρών βιομηχανικών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών φαινολικών ενώσεων είναι τα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων. Οι φαινολικές ενώσεις αυτές πρέπει να καταστρέφονται προτού το απόβλητο εισαχθεί στην δευτεροβάθμια επεξεργασία (βιολογικό καθαρισμό). Οι Προχωρημένες Οξειδωτικές Μέθοδοι Αποβλήτων (ΠΟΜΑ), αποτελούν αποτελεσματικές τεχνικές αποδόμησης του φαινολικού δακτυλίου.

3.2.2.2 Ανόργανη ύλη

Αφορά την περιεκτικότητα του αποβλήτου σε ολικό άζωτο, φώσφορο, βαρέα μέταλλα, κυανιούχες ενώσεις, νιτρώδη ιόντα, θειούχα, θειικά, θειώδη και χλωριούχα ιόντα. Αναφέρονται ως ανόργανη ύλη παρόλο που το μεγαλύτερο ποσοστό της αποτελεί μέρος οργανικών ενώσεων διότι πολύ εύκολα κατά την επεξεργασία του αποβλήτου, κυρίως με βιολογικές δράσεις, οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν τα προαναφερόμενα στοιχεία, «ανοργανοποιούνται». Συγκεκριμένα το ολικό οργανικό άζωτο εμφανίζεται ως NH_4^+ , ο φώσφορος ως ορθοφωσφορικά (PO_4^{3-}) και τα βαρέα μέταλλα ως κατιόντα. Το βιοαποδομήσιμο TOC, το άζωτο και ο φώσφορος που περιέχονται σε ένα απόβλητο αναφέρονται ως «θρεπτικά συστατικά» του αποβλήτου, διότι αποτελούν θρεπτικό υπόστρωμα για τη βακτηριακή ανάπτυξη των οικοσυστημάτων δημιουργώντας τη λεγόμενη «ευτροφική» ή «οργανική» ρύπανση. Για τη διατήρηση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων, απαιτείται ο έλεγχος του φαινομένου του ευτροφισμού στους υδάτινους αποδέκτες. Ο έλεγχος του ευτροφισμού προϋποθέτει τον έλεγχο του άνθρακα ή/και του αζώτου ή/και του φωσφόρου. Ο άνθρακας και το άζωτο απαντώνται με αφθονία στη φύση και επομένως πρακτικά είναι δύσκολο να ελεγχθούν στα οικοσυστήματα σε αντίθεση με το φώσφορο που δεν διατίθεται εύκολα στην φύση, ενώ ο έλεγχος του στα υγρά απόβλητα είναι σχετικά εύκολος. Το pH και η αλκαλικότητα είναι δύο ακόμη σημαντικά ανόργανα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων.

pH

Ο όρος pH, εκφράζει την συγκέντρωση υδρογονίωντων, που περιέχει ένα δείγμα και ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υδρογονίωντων, που περιέχει ένα διάλυμα ($-\log[\text{H}^+]$). Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από 0 έως 14. Η μέτρηση του pH είναι μια από τις σημαντικότερες και βασικότερες μετρήσεις κατά την εξέταση των υδάτων και αποβλήτων. Σε δεδομένη θερμοκρασία το pH δείχνει πόσο όξινο ή αλκαλικό είναι ένα διάλυμα ή το βαθμό ιονισμού του διαλύματος. Επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις. Στα νερά φυσικής προέλευσης, οι τιμές του pH κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 6.5 – 8.5. Σε αυτά τα όρια, πρέπει να βρίσκεται και το pH των αποβλήτων πριν την τελική τους διάθεσή.

Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα σε υγρά απόβλητα προέρχεται από την παρουσία υδροξειδίων, ανθρακικών και όξινων ανθρακικών αλάτων των στοιχείων, ασβεστίου, μαγνησίου, νατρίου, καλίου και αμμωνίας. Η αλκαλικότητα βοηθά στην αποφυγή βαθμιδώσεων pH μετά από προσθήκη οξέων. Ο προσδιορισμός γίνεται με ογκομέτρηση έναντι ενός πρότυπου διαλύματος οξέος και εκφράζεται σε mg/L ως CaCO_3 .

Η αλκαλικότητα έχει σημασία στα υγρά απόβλητα σε περίπτωση χημικής επεξεργασίας, στην βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών και στην εκφόρση NH_3 με αέρα.

Αζωτούχες ενώσεις

Ο προσδιορισμός των διαφόρων μορφών αζώτου έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς οι αζωτούχες ενώσεις επηρεάζουν σημαντικά την ανάπτυξη όλων των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Η χημεία του αζώτου είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς το άζωτο μπορεί να βρίσκεται στη φύση σε διάφορες μορφές με αριθμό οξειδωσης από $-III$ μέχρι $+V$. Οι σημαντικότερες μορφές αζώτου στη φύση είναι: α) το οργανικό άζωτο και η αμμωνία (N^{-III}), β) το αέριο άζωτο (N^0), γ) τα νιτρώδη (N^{+III}) και δ) νιτρικά (N^{+V}). Οι αζωτούχες ενώσεις χρησιμοποιούνται ως μέτρο της παρουσίας θρεπτικών συστατικών καθώς και του βαθμού αποσύνθεσης στα υγρά απόβλητα. Οι οξειδωμένες μορφές μπορούν να ληφθούν ως μέτρο του βαθμού οξειδωσης. Όλες οι ενώσεις του αζώτου εκτός των νιτρικών (NO_3^-) και νιτρωδών (NO_2^-) θεωρούνται ως μορφές οργανικού αζώτου και εκφράζονται ως Άζωτο Kjeldahl TKN. Οι επικρατέστερες αζωτούχες ενώσεις που απαντώνται στο φυσικό περιβάλλον και περιλαμβάνονται στο ολικό Kjeldahl άζωτο είναι η αμμωνία και το οργανικό άζωτο που περιλαμβάνεται σε πρωτεϊνούχες ενώσεις.

Φώσφορος

Αποτελεί απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη της ζωής διότι μέσω των φωσφορικών δεσμών το κύτταρο αποθηκεύει είτε προσωρινά (τριφωσφορική αδενοσίνη TPA) είτε μακροπρόθεσμα (πολυφωσφορικές ενώσεις) την ενέργεια που παράγεται κατά την αποδόμηση των οργανικών μακρομορίων (ετερότροφα βακτήρια) και ανόργανων ενώσεων (αυτότροφα).

Ο φώσφορος στα υγρά απόβλητα βρίσκεται σε διάφορες μορφές:

- ανόργανες φωσφορικές ενώσεις (ορθοφωσφορικά, πυροφωσφορικά, πολυφωσφορικές ενώσεις)
- οργανικός φώσφορος που βρίσκεται σε οργανικά μόρια του πρωτοπλάσματος ζώντων και νεκρών οργανισμών, όπως τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) και σε διαλελυμένα οργανικά μόρια. Συνήθως ο φώσφορος είναι δεσμευμένος σε μη υδατοδιάλυτες οργανικές ύλες όπως νουκλεοτίδια (γενετικό υλικό οργανισμών) και ορισμένα φωσφορούχα λιπίδια τα φωσφατίδια που αποτελούν συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών. Εισέρχεται στα απόβλητα κυρίως από δραστηριότητες που βασίζονται στη χρήση φωσφόρου στη βιομηχανία (απορρυπαντικά, προϊόντα ζύμωσης, εντατικοποίηση των καλλιεργειών κ.ά).

Ο προσδιορισμός του οργανικού φωσφόρου και των πολυφωσφορικών απαιτεί πρώτα την υδρόλυσή τους σε ορθοφωσφορικά και στη συνέχεια τη μέτρηση του συνόλου αυτών. Ο σημερινός ρυθμός χρήσης του φωσφόρου προδικάζει την εξάντλησή των ορυκτών αποθεμάτων του το αργότερο σε 300 χρόνια και επομένως απαιτείται επιτακτικά ο έλεγχος της διαχείρισης του φωσφόρου κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με συλλογή του (απομάκρυνση από τα απόβλητα) και την επαναχρησιμοποίησή του.

Θείο

Το θείο είναι απαραίτητο στοιχείο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμησή τους. Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) ανάγονται βιολογικά σε αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα (S^{2-}), τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο εκτός του ότι είναι τοξικό, είναι και επικίνδυνο γιατί οξειδώνεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4) το οποίο ευθύνεται για τη διάβρωση των αγωγών αποχέτευσης.

Θειούχα ιόντα (S^{2-})

Χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία σαν αναγωγικό μέσον για την καταβύθιση βαρέων μετάλλων ή για την αναγωγή το εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές κατά την διαδικασία απομάκρυνσης του χρωμίου. Παράγεται δευτερογενώς στην αναερόβια χώνευση κατά την βιο-μετατροπή των θειικών σε υδρόθειο.

Θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

Προέρχονται από διαδικασίες ρύθμισης pH με θειικό οξύ όπως είναι π.χ. στις ζυμωτικές βιομηχανίες παραγωγής οινοπνεύματος ή μαγιάς αρτοποιίας από μελάσα.

Θειώδη ιόντα (SO_3^{2-})

Βρίσκονται σε αρκετά βιομηχανικά απόβλητα. Χρησιμοποιούνται σαν μέσο δέσμευσης του οξυγόνου για την προστασία διεργασιών και προϊόντων από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου όπως π.χ. χρησιμοποιείται θειώδες νάτριο (ή θειοθειικό νάτριο) για την δέσμευση του οξυγόνου στη τροφοδοσία των βραστήρων νερού ή για την προστασία των κρασιών από οξείδωση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου.

Χλωριούχα ιόντα (Cl^-)

Το χλώριο στη μορφή χλωροϊόντων είναι ένα από τα συχνότερα ευρισκόμενα ανόργανα ιόντα στο νερό και στα απόβλητα. Υψηλές συγκεντρώσεις χλωροϊόντων προκαλούν καταστροφές στους μεταλλικούς σωλήνες και κατασκευές, στα φυτά και στις γεωργικές καλλιέργειες, καθώς επίσης παρεμποδίζουν και τις βιολογικές δράσεις.

Κυανιούχα ιόντα (CN⁻)

Αποτελούν χαρακτηριστικό των αποβλήτων από τον καθαρισμό μετάλλων, μονάδων επιμετάλλωσης με ηλεκτρόλυση καθώς και στην εξαγωγή και καθαρισμό ευγενών μετάλλων από ορυκτά και κράματα. Σε όξινο περιβάλλον τα κυανιούχα ιόντα μετατρέπονται σε υδροκυάνιο (HCN) που αποτελεί ένα πολύ τοξικό αέριο. Έχει μεγάλη συγγένεια με πολλά μέταλλα όπως π.χ. με τον δισθενή σίδηρο σχηματίζοντας φεροκυανιούχο ιόν (Fe(CN)₆⁴⁻ το οποίο θεωρείται πολύ λιγότερο τοξικό .

Βαρέα μέταλλα

Ως βαρέα μέταλλα αναφέρονται τα μέταλλα: Αρσενικό(As), Βάριο (Ba), Κάδμιο (Cd), Χρώμιο (Cr), Χαλκός (Cu), Μόλυβδος (Pb), Υδράργυρος (Hg), Νικέλιο (Ni), Σελήνιο (Se), Άργυρος (Ag), Κασσίτερος (Sn) και Ψευδάργυρος (Zn). Τα πλέον επικίνδυνα μέταλλα κατά σειρά προτεραιότητας είναι ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο μόλυβδος και ο κασσίτερος. Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν χαρακτηριστικά συστατικά υγρών αποβλήτων βιομηχανικής δραστηριότητας και πρέπει να απομακρυνθούν προτού αυτά διατεθούν στο περιβάλλον αλλά και προτού περάσουν στην βιολογική οξειδωση. Μπορούν να απομακρυνθούν αποτελεσματικά από τα υγρά απόβλητα, ώστε η συγκέντρωσή τους στα απορριπτόμενα απόβλητα να κατέλθει σε αποδεκτά επίπεδα, με καθίζησή τους σαν αδιάλυτα ιζήματα υδροξειδίων, ή θειούχων, ή θειικών, ή και ανθρακικών αλάτων.

Υδράργυρος (Hg)

Ο δι-μέθυλο-υδράργυρος θεωρείται από τις πλέον τοξικές ενώσεις. Εξάγεται από το ορυκτό cinnabar (θειούχος υδράργυρος) αν και υπάρχει σε ίχνη σε πολλά άλλα ορυκτά. Χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρόδιο κατά την ηλεκτρόλυση παραγωγής χλωρίου καθώς και σε εργαστηριακά όργανα μέτρησης κενού. Οργανικές ενώσεις του υδραργύρου χρησιμοποιούνται σαν συστατικά φυτοφαρμάκων και παρασιτοκτόνων. Ο υδράργυρος περνά στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς καθημερινές δραστηριότητες και πολλές φορές η περιεκτικότητα των αστικών λυμάτων είναι μέχρι και δέκα φορές υψηλότερη από ότι των φυσικών υδάτων.

Κάδμιο (Cd)

Η παρουσία του στα επιφανειακά νερά οφείλεται σε απορρίψεις βιομηχανικών αποβλήτων ή αποβλήτων ορυχείων. Έχει παρόμοιες χημικές ιδιότητες με τον ψευδάργυρο γι' αυτό και εύκολα συνυπάρχουν. Στην παρουσία καδμίου οφείλονται σημαντικές ασθένειες στον άνθρωπο όπως υψηλή πίεση, νεφρική ανεπάρκεια, καρκινογένεση, καταστροφή των αιμοπεταλίων κ.ά.

Μόλυβδος (Pb)

Αποτελεί πρώτη ύλη και προϊόν πολλών βιομηχανικών δραστηριοτήτων και επομένως αυξημένη είναι η παρουσία του στα απόβλητα αυτών των δραστηριοτήτων όπως είναι στις βιομηχανίες ανακύκλωσης μπαταριών αυτοκινήτων. Η συσσώρευση του στον ανθρώπινο οργανισμό δημιουργεί σημαντικές ασθένειες όπως νεφρική ανεπάρκεια και δυσλειτουργία του συκωτιού καθώς προβλήματα στο νευρικό σύστημα.

3.2.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά

Η σπουδαιότητα των βιολογικών χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων συνίσταται σε λόγους προστασίας της υγείας των ανθρώπων από τους παθογόνους μικροοργανισμούς ανθρώπινης προέλευσης και τη σημασία των βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση και την σταθεροποίηση της οργανικής ύλης. Πολλά βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς (π.χ. σφαγεία) ενώ άλλα περιέχουν μούχλες ή μύκητες (π.χ. οιοπνευματοποιίες). Επίσης μπορεί κατά την επεξεργασία τους να αναπτυχθούν επικίνδυνοι μικροοργανισμοί. Ετσι θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για όλα τα απόβλητα, επεξεργασμένα και μη, να απολυμαίνονται προτού να διατεθούν στο περιβάλλον.

3.2.4 Τοξικά χαρακτηριστικά

Η έννοια της τοξικότητας και της επικινδυνότητας είναι σύνθετη. Η επικινδυνότητα έχει σχέση με την ανθρώπινη υγεία ενώ η τοξικότητα αφορά την διατάραξη των ισορροπιών των οικοσυστημάτων. Όλες οι ενώσεις είναι τοξικές και επικίνδυνες πάνω από μία οριακή συγκέντρωση. Επομένως οι συγκεντρώσεις των ενώσεων που περιέχονται σε ένα απόβλητο καθορίζουν το κατά πόσο το απόβλητο αυτό θα χαρακτηριστεί τοξικό ή επικίνδυνο. Όμως έχει παρατηρηθεί, βιομηχανικά απόβλητα, να μην έχουν καμία ένωση του πάνω από το όριο της τοξικότητας και όμως το σύνολο του αποβλήτου να έχει χαρακτηριστικά τοξικότητας. Επίσης, η φυσική αραίωση που υφίσταται ένα απόβλητο (υγρού, στερεού, αερίου) καθώς απορρίπτεται στο περιβάλλον μπορεί να δώσει πλασματική εντύπωση ως προς την τοξικότητά του. Επομένως, ως προς τα βιομηχανικά απόβλητα, η απαίτηση για ελάχιστες συγκεντρώσεις των ρύπων δεν αποτελούν παρά μόνο την αναγκαία συνθήκη ενώ η ικανή συνθήκη θα ήταν μία επιτρεπόμενη οριακή ποσοτική τιμή εκπομπής από κάθε μονάδα παραγωγής των ρύπων.

4. Εφαρμογή Πρακτικών Υδρο-Κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης στην Ελλάδα

4.1. Οφέλη

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το πώς συμβάλει η βιομηχανική συμβίωση στην «πράσινη» εικόνα των επιχειρήσεων, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, θα γίνει αναφορά στο πως μπορεί να επηρεάσει μόνο θετικά η εφαρμογή πρακτικών υδρο-κεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης τα υδατικά συστήματα της χώρας.

Σημαντικός αριθμός επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων, στη χώρα μας, χαρακτηρίζονται ως κακής χημικής, οικολογικής και ποσοτικής κατάστασης λόγω σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης και υπεραντλήσεων. Το Άρθρο 4 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ προβλέπει τον καθορισμό περιβαλλοντικών στόχων για την προστασία και αποκατάσταση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων και τη διαμόρφωση προγράμματος βασικών και συμπληρωματικών μέτρων για την επίτευξη των στόχων αυτών. Ο σχεδιασμός μιας υδρο-κεντρικής συμβίωσης μπορεί να αποτελέσει ένα από τα βασικά μέτρα για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, καθώς μπορεί να συμβάλει δραστικά :

- στη μείωση απόρριψης ρυπογόνων ουσιών στα υδατικά συστήματα μέσω της ανάκτησης χημικών στοιχείων από τα υγρά απόβλητα.
- στη μείωση των υπεραντλήσεων υπόγειων υδατικών συστημάτων με την επαναχρησιμοποίηση νερού.
- στην τροφοδότηση ή στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων μέσω επιφανειακής διήθησης ή απευθείας μέσω γεωτρήσεων με το επεξεργασμένο νερό από τα αστικά λύματα προσωπικού και βιομηχανικά υγρά απόβλητα.

Πιο συγκεκριμένα, σε βιομηχανικές περιοχές του Ασπροπύργου και των Οινοφύτων, όπου υπάρχουν υδατικά συστήματα τα οποία επιβαρύνονται από υγρά απόβλητα βιομηχανικών εγκαταστάσεων ή/και από απολήψεις για την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό για την παραγωγική διαδικασία των βιομηχανιών, μπορούν να επωφεληθούν από την εφαρμογή μιας υδρο-κεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης που θα συμβάλει στην επίτευξη της καλής χημικής ή/και ποσοτικής κατάστασης τους. Με τον τρόπο αυτό, ο σχεδιασμός μιας υδρο-κεντρικής συμβίωσης μπορεί να αποτελέσει ένα από τα βασικά μέτρα για την αποκατάστασή τους αλλά και θα συμβάλει στην επίτευξη ασφαλών λύσεων στην απόρριψη των αποβλήτων, χωρίς πρόστιμα από την ΕΕ. Η διερεύνηση της ρύπανσης εξαιτίας των υγρών αποβλήτων έχει σημαντικό αντίκτυπο όχι μόνο στη διατήρηση των υδάτινων πόρων αλλά και στην προστασία της υγείας των ανθρώπων, η οποία είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

4.2. Εμπόδια

Το θεσμικό πλαίσιο της χώρας δεν διακρίνεται από ολοκληρωμένη νομοθετική προσέγγιση για την επίτευξη της Βιομηχανικής συμβίωσης. Απαιτούνται σημαντικές τροποποιήσεις του θεσμικού πλαισίου, και χαρακτηρίζεται ως κομβική η άμεση και συνεπής ανταπόκριση των αρμοδίων υπουργείων και των διοικητικών φορέων εν γένει, προκειμένου να εφαρμοστεί επιτυχώς η γενική ιδέα της βιομηχανικής συμβίωσης προς όφελος τόσο του περιβάλλοντος όσο και της εθνικής οικονομίας.

Ειδικότερα, σχετικά με τις υποχρεώσεις των βιομηχανιών, στο άρθρου 10 της κυα 36060/1155/Ε.103/2013 (σύμφωνα με την Οδηγία 2010/75/ΕΕ) ορίζεται ότι στη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), πρέπει οπωσδήποτε να προσδιορίζεται κάθε πηγή εκπομπών, οι ποσότητες τους και οι τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόληψή τους καθώς και τα μέτρα ανάκτησης και ανακύκλωσης των αποβλήτων που παράγει η εγκατάσταση. Εν τούτοις, ένα ζήτημα που παρουσιάζεται στην πράξη είναι ότι στις κατατεθείσες ΜΠΕ δεν καθορίζονται, πάντα, με σαφήνεια τα δυνητικά περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από την επεξεργασία των αποβλήτων και ως εκ τούτου δεν υπάρχει εγγύηση για την επαρκή προστασία των οικοσυστημάτων με τα προτεινόμενα μέτρα και τεχνικές.

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια που θέτει το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο για την ανάπτυξη σχέσεων Βιομηχανικής Συμβίωσης, γενικότερα, στα υπάρχοντα και μελλοντικά Βιομηχανικά Πάρκα είναι η κατηγοριοποίησή τους και κατ' επέκταση η χωροθέτησή τους, με κριτήριο τον βαθμό όχλησης που προκαλούν, με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένη η δυνατότητα συνύπαρξης δραστηριοτήτων διαφορετικού βαθμού όχλησης. Η παραπάνω διαίρεση, παρά το γεγονός ότι έχει προφανείς λόγους ύπαρξης, δε λαμβάνει υπ' όψιν τις απαιτούμενες σχέσεις και ροές ύλης, ενέργειας και νερού για την ανάπτυξη συνεργιών [ECOSIND, 2006]. Η νομοθεσία θα ήταν πρόσφορη εάν προβλεπόταν η δημιουργία θεματικών βιομηχανικών πάρκων που θα περιλαμβάνουν δραστηριότητες καθοριζόμενες με βάση την ανάλυση ροών και τη δημιουργία πιθανών συνεργιών, συμπεριλαμβανομένων τόσο των παρόντων δραστηριοτήτων μιας περιοχής όσο και των μελλοντικών.

Είναι κρίσιμο να αποκατασταθεί η ρευστότητα στην ιδιωτική οικονομία και να επιταχυνθούν οι παραγωγικές επενδύσεις. Στο πλαίσιο αυτό, η βιομηχανική πολιτική καλείται να αντιμετωπίσει τη δυσκολία πρόσβασης σε χρηματοδοτικά και επενδυτικά εργαλεία με όρους συγκρίσιμους με την υπόλοιπη Ε.Ε. Θα πρέπει να προωθηθεί η έννοια της υδρο-κεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης με επιδοτήσεις στο στάδιο της αξιοποίησης και επενδυτικά προγράμματα.

5. Μεθοδολογικό Πλαίσιο Ανάπτυξης Σεναρίων Υδρο—κεντρικής Βιομηχανικής Συμβίωσης

5.1. Μέθοδος/Ανάλυση Εισροών – Εκροών (Input-Output Analysis)

5.1.1. Εισαγωγή

Η βιομηχανική οικολογία θα πρέπει να αναπτύξει ριζικά νέες προσεγγίσεις για τη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των αποβλήτων και θα απαιτήσει επίσης ένα αναλυτικό πλαίσιο για την εξέταση των επιπτώσεων για το οικονομικό σύστημα στο σύνολό του κάθε δυνητικού πλέγματος βιομηχανικών αλλαγών. Ένα κατάλληλο πλαίσιο παρέχεται από τις διαρθρωτικές μεταρρυθμίσεις (structural economics), οι οποίες τοποθετούν την οικονομία μέσα στο φυσικό κόσμο. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε δυναμική ανάλυση και όχι στατικές έννοιες της ισορροπίας, και οι παραδοχές βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται επιλεκτικά και όχι ως ο γενικός μηχανισμός λύσης. Τα οικονομικά εισροών-εκροών, ένα σημαντικό επίσημο μοντέλο, μπορούν να εντοπίσουν τα αποθέματα και τις ροές ενέργειας και άλλων υλικών από την εξόρυξη μέσω της παραγωγής και της κατανάλωσης έως την ανακύκλωση ή την απόρριψη. Ο υπολογισμός εισροών-εκροών, συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων, απεικονίζει τη χωριστή αλλά ολοκληρωμένη ανάλυση των φυσικών αποθεμάτων και ροών, καθώς και των τιμών και του κόστους.

Ο Ayres R. (1989) δημιούργησε την έννοια του βιομηχανικού μεταβολισμού ως μια προσέγγιση συστημάτων για την τροποποίηση της παραγωγής, της χρήσης, και της διάθεσης των εμπορευμάτων για να μειώσει σημαντικά την παραγωγή των αποβλήτων με την εφαρμογή των διδαγμάτων από το φυσικό κόσμο. Αυτή είναι επίσης η βασική ιδέα σε αυτό που οι Frosch & Galloroulos (1990) αποκάλεσαν βιομηχανική οικολογία. Η βιομηχανική οικολογία συνδέεται στενά με την ανθρώπινη οικολογία, διότι σημαντικές μειώσεις των αποβλήτων θα απαιτήσουν αλλαγές στις ιδιωτικές και κοινωνικές συνήθειες των ανθρώπων και όχι μόνο στον σχεδιασμό και την παραγωγή του κύκλου ζωής της βιομηχανίας. Η βιομηχανική οικολογία, ωστόσο, παρέχει ένα χρήσιμο σημείο εκκίνησης.

Αν και είναι γενικά δύσκολο να κριθεί η μελλοντική επιτυχία μιας νέας έννοιας, η βιομηχανική οικολογία εμφανίζεται ασυνήθιστα ελπιδοφόρα. Η μείωση των αποβλήτων μπορεί ταυτόχρονα να εξοικονομήσει ενέργεια και άλλα υλικά ορυκτής και βιολογικής προέλευσης, να εξοικονομήσει χρήματα και να μειώσει τη ρύπανση.

Δεν είναι σαφές τι μπορεί να σημαίνει η «βέλτιστη» εξέλιξη ενός ολόκληρου οικοσυστήματος, και δεν υπάρχει μηχανισμός που να ασφαλίζει την εμφάνισή του. Στις ανθρώπινες υποθέσεις, οι

κοινωνικοί θεσμοί είναι κυρίαρχοι παράγοντες επιλογής. Προχωρούν επίσης με δοκιμή και σφάλμα και είναι σε θέση να ανταποκριθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο σε ορισμένα προβλήματα, ειδικά προβλήματα που είναι στενά καθορισμένα και έχουν χρονικούς ορίζοντες. Ειδικότερα, η οικονομία της αγοράς (market economy) είναι ένας αποτελεσματικός μηχανισμός για την επιλογή εναλλακτικών λύσεων που είναι άμεσα κερδοφόρες (δηλαδή εξοικονόμηση κόστους) για μεμονωμένους φορείς λήψης αποφάσεων. Η αγορά σίγουρα δεν είναι ο μόνος σχετικός θεσμός: ο Ayres (1991), για παράδειγμα, έχει υποστηρίξει τη σημασία του ρόλου της κυβέρνησης στη διασφάλιση της οικολογικά ορθής εξέλιξης μιας οικονομίας. Παρ' όλα αυτά, ένα αποτέλεσμα, που έρχεται σε αντίθεση με τη λογική της αγοράς μακροπρόθεσμα, δεν είναι πιθανό να είναι βιώσιμο.

Η πρόκληση για τη βιομηχανική οικολογία, λοιπόν, είναι διττή.

i) Η βιομηχανική οικολογία πρέπει να παράγει εφαρμόσιμες έννοιες και πραγματικές μεθόδους για τη μείωση των αποβλήτων και την ανακύκλωση εκείνων που παράγονται, σε ευρύ φάσμα καταστάσεων. Το αντικείμενο της βιομηχανικής οικολογίας ενδέχεται να περιλαμβάνει μελέτες και επιδείξεις σχετικά με τις τεχνικές αλλαγές στις μεταποιητικές δραστηριότητες (ιδίως εκείνες που αφορούν την επεξεργασία υλικών για την παραγωγή αγαθών) σε συνδυασμό με αυξημένη αύξηση ρόλο για δραστηριότητες συντήρησης και επισκευής στη χρήση αυτών των αγαθών και νέες δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών (ιδίως εκείνες που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη λειτουργία νέων συστημάτων). Ορισμένες από αυτές τις αλλαγές μπορεί να είναι επαρκώς κερδοφόρες από βραχυπρόθεσμη ιδιωτική άποψη, ώστε να υιοθετηθούν με ελάχιστη ή καθόλου πολιτική ή νομική συμμετοχή.

ii) Η βιομηχανική οικολογία πρέπει επίσης να περιλαμβάνει ένα συνεκτικό επιχειρησιακό πλαίσιο για την εξέταση πιθανών μακροπρόθεσμων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των εναλλακτικών δικτύων των βιομηχανικών αλλαγών και τον εντοπισμό των βραχυπρόθεσμων σημείων συμφόρησης που ενδέχεται να προκύψουν. Οι μελέτες αυτές θα παρέχουν το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται τόσο για το δημόσιο διάλογο και τη λήψη αποφάσεων όσο και για ιδιωτικούς υπολογισμούς σχετικά με τις απαιτήσεις και τις ευκαιρίες. Αυτές οι συζητήσεις, οι αποφάσεις και οι υπολογισμοί είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των αγορών και ως συμβολή στους διάφορους άλλους κοινωνικούς θεσμούς που έχουν μερίδιο στη βιομηχανική οικολογία.

5.1.2. Διαρθρωτικές Μεταρρυθμίσεις (Structural Economics)

Όπως και η βιομηχανική οικολογία, οι διαρθρωτικές μεταρρυθμίσεις αποτελούν ένα αναδυόμενο πλαίσιο που συνδυάζει παλιές και νέες ιδέες που βοηθούν στην κατανόηση και την αντιμετώπιση των τρεχόντων ζητημάτων, συμπεριλαμβανομένης της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Οι δομιστές οικονομολόγοι δίνουν μεγάλο βάρος στο θεσμικό πλαίσιο του οποίου η αλλαγή νομοθεσίας προς την Κυκλική Οικονομία, μπορεί να ανατρέψει μια υπάρχουσα ισορροπία, δημιουργώντας τις συνθήκες για μια νέα, με διαφορετικά κόστη για την κάθε οικονομική μονάδα, καθορίζοντας ποια ενδεχομένως να επιβιώσει στην νέα δομή και ποια όχι. Οι διαφορές μεταξύ της διαρθρωτικής οικονομίας και της «επικρατούσας» οικονομίας είναι κυρίως διαφορές στην έμφαση.

Σύμφωνα με την Dunchin (1991), η διαρθρωτική οικονομία ασχολείται με μια λεπτομερή, αναλυτική περιγραφή μιας ολόκληρης οικονομίας όσον αφορά τα συγκεκριμένα και παρατηρήσιμα συστατικά μέρη της και τις σχέσεις τους. Εξέχουσα θέση μεταξύ αυτών των συστατικών είναι η υλική υποδομή μιας κοινωνίας. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο φυσικά αντικείμενα όπως το έδαφος και εκείνα από τούβλα και κονίαμα, αλλά και πιο αφηρημένα στοιχεία ενός οικονομικού συστήματος όπως συγκεκριμένες τεχνολογίες και κοινωνικά ιδρύματα. Επειδή ορισμένες από αυτές τις συνιστώσες δεν είναι ουσιαστικά οικονομικά αντικείμενα (σε αντίθεση με τις τιμές ή τα επιτόκια, τα οποία είναι), το έργο του διαρθρωτικού οικονομολόγου συνήθως διασχίζει τα πειθαρχικά σύνορα.

Μια δομική προοπτική μπορεί να επισημοποιηθεί σε ένα μαθηματικό μοντέλο; Στην πραγματικότητα, το πλαίσιο μοντελοποίησης εισροών-εκροών που θα συζητηθεί παρακάτω αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Ωστόσο, οι οικονομολόγοι των διαρθρωτικών ταμείων αναγνωρίζουν ρητά ποιοτικά ζητήματα που συχνά είναι δύσκολο να επισημοποιηθούν αλλά είναι απαραίτητα για να ληφθούν υπόψη, στην αρχή, στη διατύπωση των σημαντικών σχετικών ζητημάτων και, αργότερα, στην αξιολόγηση των επίσημων. Οι οικονομολόγοι των διαρθρωτικών ταμείων μελετούν τον υλικό κόσμο και, λόγω αυτής της εμπειρικής δέσμευσης, ασχολούνται με πληροφορίες και δεδομένα· περιγράφονται και μετρώνται σε φυσικές μονάδες [π.χ. τόνοι (1 τόνος = 1000 kg)] καθώς και σε χρηματικές τιμές όταν οι τελευταίες έχουν νόημα. Ακόμη και μια επίσημη βάση δεδομένων, που πρέπει να αναλυθεί με ένα επίσημο μοντέλο, είναι χτισμένο σε μεγάλο βαθμό "με το χέρι" και δεν χειραγωγείται μόνο μηχανικά.

Η διαρθρωτική οικονομία ασχολείται με τις διαρθρωτικές αλλαγές και, ως εκ τούτου, με δυναμική και όχι μόνο, ή κυρίως, με στατική ανάλυση ή με κράτη "ισορροπίας". Λόγω της εμπειρικής βάσης, το ενδιαφέρον είναι με πραγματικό ιστορικό χρόνο και με το μέλλον όσο και με το παρελθόν. Το ενδιαφέρον είναι συνήθως μακροπρόθεσμα περισσότερο από το βραχυπρόθεσμο, και η εστίαση στις

τεχνολογικές και θεσμικές δομές παρέχει μια σταθερή βάση για την προβολή παραμέτρων αρκετές δεκαετίες στο μέλλον, σύμφωνα με εναλλακτικές παραδοχές σχετικά με διαρθρωτικές αλλαγές.

Πολλοί από τους οικονομικούς μηχανισμούς είναι οι ίδιοι όπως στην επικρατούσα οικονομία αλλά με μια θεμελιώδη διαφορά. Στα οικονομικά μοντέλα που επικρατούν, μια ποικιλία προβλημάτων βελτιστοποίησης επιλύονται ταυτόχρονα κάτω από ένα σύστημα περιορισμών που αναμένεται να δώσει μια μοναδική λύση. Τα επίσημα διαρθρωτικά οικονομικά μοντέλα, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να παράγουν ένα σύνολο πιθανών λύσεων και όχι μία βέλτιστη λύση. Επιπλέον, οι μηχανισμοί οικονομικής ανατροφοδότησης θεωρούνται γενικά από τους διαρθρωτικούς οικονομολόγους ότι είναι πιο σύνθετοι από ό,τι θα πρότεινε το έργο των νεοκλασικών οικονομολόγων. Ένα εξαιρετικά σημαντικό παράδειγμα είναι η υποκατάσταση λιγότερο δαπανηρών για ακριβότερες εισροές τόσο στην προσωπική κατανάλωση όσο και στην παραγωγή. Οι οικονομολόγοι των διαρθρωτικών ταμείων πιστεύουν ότι οι σημαντικότερες περιπτώσεις αλλαγής των δομών εισροών περιλαμβάνουν αλλαγή της διαδικασίας και αντικατάσταση των εισροών όχι μία προς μία, αλλά ένα σύνολο εισροών για ένα άλλο σύνολο. Επιπλέον, η προκύπτουσα δομή των εισροών πρέπει να είναι εύλογη από φυσική άποψη και όχι μόνο να είναι χαμηλότερου κόστους. Η διαρθρωτική οικονομία δεν είναι ένα πλήρες και κλειστό σύστημα, αλλά είναι ανοικτή σε μηχανισμούς αλλαγής που προέρχονται εκτός της οικονομίας. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι η τεχνολογική καινοτομία, η τυπική πηγή εναλλακτικών συνόλων εισροών.

Ο φορμαλισμός της διαρθρωτικής οικονομίας περιλαμβάνει το μοντέλο εισροών-εκροών και τη βάση δεδομένων. Η απλούστερη και, ακόμη και σήμερα, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή του μοντέλου είναι η ανοικτή στατική εκδοχή, η οποία αντιπροσωπεύει την αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραγωγικών μονάδων μιας οικονομίας. Αυτή η αλληλεξάρτηση απορρέει από το γεγονός ότι η παραγωγή OUTPUT κάθε μονάδας παρέχει INPUT για τις άλλες μονάδες (μπορεί και για την ίδια).

5.1.3. Ορισμός

Η Ανάλυση Εισροών-Εκροών (Input Output Analysis) είναι μεθοδολογία για τη συστηματική ποσοτικοποίηση και ανάλυση των αμοιβαίων διακλαδικών αλληλεξαρτήσεων στο πλαίσιο της γενικής οικονομικής ισορροπίας και της ανάλυσης των διαρθρωτικών μεταβολών από τις επιδράσεις των στοιχείων της τελικής ζήτησης. Για τη χρησιμοποίηση της ανάλυσης Εισροών-εκροών ακολουθούνται τρία στάδια. Η κατασκευή του πίνακα E-E που καταχωρούνται οι διακλαδικές συναλλαγές, η εκτίμηση των τεχνολογικών συντελεστών και ο υπολογισμός της αντίστροφής μήτρας του Leontief, των συντελεστών αλληλεξάρτησης.

Ο πίνακας E-E κατασκευάζεται από πρωτογενή στατιστικά στοιχεία και περιλαμβάνει όλα τα αγαθά και τις υπηρεσίες που παράγονται στην οικονομία, με σκοπό να περιγράψει τη ροή αγαθών και υπηρεσιών σε μια συγκεκριμένη οικονομική περιοχή (είτε είναι χώρα, είτε είναι περιφέρεια) για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι οικονομικές δραστηριότητες σε μια χώρα διαιρούνται σε παραγωγικούς τομείς και εν συνεχεία σε παραγωγικούς κλάδους, δηλαδή ο κάθε κλάδος είναι διαμορφωμένος έτσι ώστε να παράγει ένα συγκεκριμένο και ομοιογενές προϊόν.

Τα στοιχεία που συλλέγονται αφορούν τις ροές των προϊόντων από καθένα από τους κλάδους (ως παραγωγός) σε καθένα από τους άλλους κλάδους (ως αγοραστής). Κάθε κλάδος παραγωγής για να παράγει το προϊόν του χρησιμοποιεί ενδιάμεσα προϊόντα (ενδιάμεσες εισροές) που προμηθεύεται από άλλους κλάδους παραγωγής και συντελεστές παραγωγής (εργασία και κεφάλαιο) οι οποίοι καλούνται αρχικές εισροές. Επίσης ένα μέρος του παραγόμενου προϊόντος του κλάδου διοχετεύεται προς άλλους παραγωγικούς κλάδους (ενδιάμεσες εκροές) και ένα μέρος παίρνει τη μορφή τελικών προϊόντων (καταναλωτικά και επενδυτικά) που αποτελεί ζήτηση. Το άθροισμα των ενδιάμεσων και των αρχικών εισροών ενός κλάδου, εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες, μας δίνει το σύνολο των εισροών του κλάδου αυτού δηλαδή την ακαθάριστη αξία παραγωγής του. Ομοίως το άθροισμα των ενδιάμεσων εκροών και της τελικής ζήτησης ενός κλάδου αποτελούν τη συνολική ζήτηση για το προϊόν του κλάδου. Οπότε η ακαθάριστη αξία παραγωγής ενός κλάδου ισούται με τη συνολική ζήτηση του προϊόντος του κλάδου. Μια τέτοια ισότητα δεν ισχύει για τα στοιχεία της προστιθέμενης αξίας και της τελικής ζήτησης αλλά αρκεί να υπάρχει ισότητα στο συνολικό τους άθροισμα.

5.1.4. Παράδειγμα Υπολογισμού εισροών- εκροών

Ο Leontief W. (1986) παρέχει μια προηγμένη εισαγωγή σε αυτό το είδος του υπολογισμού. Υπάρχουν τρεις βασικές εξισώσεις και η χρήση τους απεικονίζεται στο ακόλουθο παράδειγμα:

$$[1] \quad (I - A)x = y.$$

$$[2] \quad (I - A')p = v.$$

$$[3] \quad p'y = V'X.$$

Οι εξισώσεις συσχετίζουν :

- το A, τον πίνακα των διαρθρωτικών συντελεστών εισροών-εκροών (που γενικά προέρχονται από επίσημο πίνακα ροής εισροών-εκροών) και

- τα τέσσερα διανύσματα που αντιπροσωπεύουν τις εκροές (x), τις τιμές (p), τις παραδόσεις στους τελικούς χρήστες (y) και το κόστος των συντελεστών (ή την προστιθέμενη αξία) ανά μονάδα εξόδου/εκροής (v).

- (A' είναι η αντιμετάθεση του (transpose of) A, και I είναι η μήτρα ταυτοποίησης (identity matrix)

Εξετάζεται ένα οικονομικό μοντέλων τεσσάρων τομέων που παράγει προϊόντα διατροφής (F), μηχανές και εργαλεία (M) και δύο κατηγορίες υγρών αποβλήτων που περιέχουν υψηλά (H) και χαμηλά επίπεδα (L), αντίστοιχα, διαλυμένων ή αιωρούμενων βιολογικών στερεών. Για κάθε γαλόνι (1 γαλόνι = 3,78 λίτρα) νερού υψηλής βιολογικής ζήτησης οξυγόνου (BOD) που υποβάλλεται σε επεξεργασία στον τομέα H, αποστέλλεται ένα κλάσμα του γαλονιού νερού χαμηλού BOD για επεξεργασία στον τομέα L και, για κάθε γαλόνι που υποβάλλεται σε επεξεργασία ανά τομέα L, ένα κλάσμα εξακολουθεί να απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Και οι τέσσερις τομείς απορρίπτουν κάποια ιλύς στο περιβάλλον.

Η οικονομία περιγράφεται από τον ακόλουθο πίνακα εισροών-εκροών:

$$A = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} F & M & H & L \\ \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.1 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix} & \begin{array}{l} F \\ M \\ H \\ L \end{array} \end{array} \end{array}$$

Έτσι, για παράδειγμα, ο τομέας παραγωγής τροφίμων (F) απαιτεί 0,4 τόνους εισροών τροφίμων και 0,2 μηχανών/εργαλείων για την παραγωγή ενός τόνου τροφίμων και στη διαδικασία παράγει 0,4 x 100 γαλόνια από υγρά απόβλητα υψηλά και χαμηλά σε BOD. (Αυτό διαπιστώνεται διαβάζοντας από

πάνω προς τα κάτω την πρώτη στήλη.) Εάν οι τελικές παραδόσεις και η προστιθέμενη αξία είναι οι εξής :

$$y = \begin{bmatrix} 10 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ και } v = \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \\ 50 \\ 20 \end{bmatrix}$$

μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική παραγωγή, τις τιμές μονάδων, και το συνολικό εισόδημα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 1-3:

$$x = \begin{bmatrix} 25.2 \\ 17.0 \\ 10.1 \\ 18.5 \end{bmatrix}, \quad p = \begin{bmatrix} 110 \\ 66 \\ 73 \\ 33 \end{bmatrix} \text{ και } p'y = v'x = 1294 \$ = 1.182,28 \text{ €}$$

Τέλος, εάν τα υπολείμματα ανά μονάδα παραγωγής (ανά 100 γαλόνια που υποβάλλονται σε επεξεργασία στην περίπτωση των τομέων H και L) δίνονται από το :

$$s = \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0 \\ 0.05 \\ 0.02 \end{bmatrix}$$

τότε $s'x = 2.1$ τόνοι ιλύος

Αυτό σημαίνει ότι εάν 10 τόνοι τροφίμων και 3 μηχανές παραδίδονται στους τελικούς χρήστες και όλα τα υγρά απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία, τότε η οικονομία θα πρέπει να παράγει 25 τόνους τροφίμων και 17 μηχανήματα, 10 x 100 γαλόνια υψηλού BOD και 18,5 x 100 γαλόνια χαμηλού BOD θα υποστούν επεξεργασία και θα πεταχτούν 2,1 τόνοι ιλύος. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος εργασίας και κεφαλαίου ανά μονάδα παραγωγής (v), οι τιμές μονάδας είναι \$ 110 = 100,50 € ανά τόνο των τροφίμων, \$ 66 = 60,30 € ανά μηχανή, και \$ 73 = 66,70 € και \$ 33 = 30,15 €, αντίστοιχα, για τη θεραπεία 100 γαλόνια νερό υψηλό και χαμηλό σε BOD. Το συνολικό εθνικό εισόδημα είναι \$1294= 1.182,28 €. Σημειώστε ότι δεν απορρίπτονται υγρά απόβλητα στο περιβάλλον σε αυτό το παράδειγμα. Ας υποθέσουμε τώρα ότι η κοινωνία είναι διατεθειμένη να ανεχθεί ότι 2 x 100 γαλόνια το καθένα από νερό υψηλό και χαμηλό σε BOD πρέπει να απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία, ενώ οι καταναλωτές εξακολουθούν να χρειάζονται 10 τόνους τροφίμων και τρεις μηχανές. Αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί επιτρέποντας στους τελικούς χρήστες να «αποδέχονται» το ακάθαρτο νερό, και

$$y = \begin{bmatrix} 10 \\ 3 \\ -2 \\ -2 \end{bmatrix},$$

λαμβάνοντας ως εξής: A, s και v, παραμένουν αμετάβλητα. Στην περίπτωση αυτή, περίπου το 20% του νερού υψηλό σε BOD και το 11% του νερού χαμηλό σε BOD δεν θα υποβληθούν σε επεξεργασία. Το διάλυμα εξόδου υπολογίζεται τώρα να είναι :

$$x = \begin{bmatrix} 24.5 \\ 15.7 \\ 7.9 \\ 14.6 \end{bmatrix}$$

Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται ελαφρώς λιγότερα τρόφιμα και λιγότερα μηχανήματα και υποβάλλονται σε σημαντικά λιγότερη επεξεργασία υγρών αποβλήτων, από ό,τι στο πρώτο σενάριο. Η ποσότητα της υπολειμματικής ιλύος μπορεί να υπολογιστεί ότι μειώνεται από 2,1 σε 1,9 τόνους. Λιγότερη δουλειά γίνεται, οι τιμές μειώνονται, και το εθνικό εισόδημα μειώνεται από \$ 1294 = 1.182,28 € (στον άλλο υπολογισμό) σε \$ 1092 = 997,72 €. Τα δύο σενάρια μπορούν τώρα να συγκριθούν:

Σενάριο 1: εισόδημα 1294 και 2.1 τόνοι της υπόλοιπης ιλύος.

Σενάριο 2: 1092 \$ εισόδημα, 200 γαλόνια απόρριψης υψηλής BOD υγρών αποβλήτων, 200 γαλόνια απόρριψης χαμηλής BOD υγρών αποβλήτων, και 1,9 τόνους υπολειμματικής ιλύος.

Κατά συνέπεια για μια πρόσθετη δαπάνη \$202 = 184,56 € (που καλύπτει τις δαπάνες παραγωγής ενός πρόσθετου 0.7 τόνου των τροφίμων, 1.4 μηχανών, και την επεξεργασία ενός πρόσθετου 2.3 X 100 γαλόνια του νερού υψηλού BOD και 3.9 X 100 γαλόνια του νερού χαμηλού BOD) και πρόσθετου 0.2 τόνου ιλύος, είναι δυνατόν να αποφευχθεί η απόρριψη 200 γαλονιών υγρών αποβλήτων υψηλού & χαμηλού BOD.

Σε αυτή τη σύγκριση η ποσότητα της κατανάλωσης παραμένει η ίδια σε 10 τόνους τροφίμων και τριών μηχανημάτων. Σε αυτό το παράδειγμα, οι τιμές είναι υψηλότερες όταν επεξεργάζεται περισσότερο νερό: σχεδόν 20% υψηλότερο για έναν τόνο των τροφίμων (\$ 110 σε σύγκριση με \$ 92), αλλά μόνο 6% υψηλότερο για την επεξεργασία ενός τόνου χαμηλού BOD. Οι πίνακες πλήρους ροής με τιμές μονάδας για τα δύο σενάρια δίνονται στους πίνακες 1 και 2.

Μερικές φορές, όπως και στο παράδειγμα αυτό, η αυξημένη επεξεργασία των αποβλήτων θα συνοδεύεται από διάθεση i) μικρότερων ποσοτήτων ακατέργαστων ρύπων, ii) μεγαλύτερες

ποσότητες συμπυκνωμένων υπολειμμάτων και iii) μεγαλύτερου κόστους. Φυσικά, θα υπάρξουν επίσης ευκαιρίες για τη μείωση της χρήσης του νερού και τη συσσώρευση στερεών σε αυτό ή για την ανάκτηση οικονομικά χρήσιμων προϊόντων από τη ροή των αποβλήτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η λιγότερη ρύπανση μπορεί να είναι συνεπής με χαμηλότερο και όχι με υψηλότερο κόστος.

Στο πλαίσιο αυτό, δεν επιχειρείται να βρεθεί η «βέλτιστη» ποσότητα νερού για την απόρριψη ή ακόμη και να καθοριστεί ποιο από τα δύο σενάρια είναι «καλύτερο», διότι αυτό δεν θεωρείται αποκλειστικά οικονομική απόφαση. Η μέθοδος επιτρέπει την εξέταση των φυσικών και οικονομικών επιπτώσεων των τεχνικά εφικτών σεναρίων και όχι τον έλεγχο όλων εκτός από έναν. Ειδικότερα, είναι δυνατόν να πειραματιστούν οι μεταβολές των δομών εισροών που θα μπορούσαν να μειώσουν τη χρήση νερού στην παραγωγή ή να ανακτήσουν προϊόντα οικονομικής αξίας. Η χρήση αυτού του πλαισίου απαιτεί την απόκτηση και τη χειραγώγηση περισσότερων πληροφοριών από τον αναλυτή και την αξιολόγηση ενός πιο σύνθετου συνόλου αποτελεσμάτων, που περιλαμβάνουν οικονομικούς και περιβαλλοντικούς συμβιβασμούς.

Πίνακας 5.1.4.1. : Σενάριο 1: Πίνακας ροής που αντιστοιχεί στην οικονομία που απαιτεί την επεξεργασία όλων των υγρών αποβλήτων.

Τομέας	Μονάδα	Αξία					Σύνολο
		F	M	H	L	γ	
F	Τόνοι	10.1	5.1	0	0	10	25.2
M	Μηχανές	5.0	5.1	2.0	1.9	3	17.0
H	100 γαλόνια	10.1	0	0	0	0	10.1
L	100 γαλόνια	10.1	1.7	3.0	3.7	0	18.5
ν'χ	€	230	155.31	459.99	337.86	-	1183.16
Sludge	Τόνοι	1.3	0.0	0.5	0.4	-	2.1
Price	€/μονάδα	100.19	60.33	66.91	30.44		

Δεδομένα από Dunchin, 1990

Πίνακας 5.1.4.2. : Σενάριο 2: Πίνακας ροής που αντιστοιχεί στην οικονομία που μπορεί να υποστεί την απόρριψη κάποιας ποσότητας υγρών αποβλήτων.

Τομέας	Μονάδα	Αξία					Σύνολο
		F	M	H	L	γ	
F	Τόνοι	9.8	5.1	0	0	10	24.5
M	Μηχανές	4.9	5.1	2.0	1.9	3	15.7
H	100 γαλόνια	9.8	0	0	0	-2	7.9
L	100 γαλόνια	9.8	1.6	2.3	2.9	-2	14.6
ν'χ	€	224.08	143.23	359.32	272.44	-	999.05
Sludge	Τόνοι	1.2	0.0	0.4	0.3	-	1.9
Price	€/μονάδα	84.05	52.77	63.93	28.72		

Δεδομένα από Dunchin, 1990

Αυτές οι τιμές μονάδας προκύπτουν από τη μείωση της τρίτης και τέταρτης σειράς του πίνακα A κατά 20% και 11%, αντίστοιχα, πριν από τον υπολογισμό. Στο αντίστοιχο φυσικό μοντέλο [όπου $\gamma' = (10 \ 3 \ 0 \ 0)$], το διάλυμα

είναι πανομοιότυπο με εκείνο που εμφανίζεται στον πίνακα, εκτός από το ότι το νερό που απορρίπτεται πιστώνεται απευθείας σε κάθε τομέα και όχι στους τελικούς χρήστες.

5.1.5. Κατηγορίες μοντέλων ανάλυσης εισροών- εκροών (IO)

Σύμφωνα με τους Towa et al. (2019), η επιστημονική βιβλιογραφία διακρίνει τρεις κύριους τύπους μοντέλων IO: συμβατικά (νομισματικά) IO (Monetary input output-IO), φυσικά IO (physical - PIO) και υβριδικά μοντέλα IO (hybrid - HIO). Ο πρώτος τύπος αναλύει διατομεακές ροές σε νομισματικές μονάδες (π.χ. ευρώ), ο δεύτερος σε φυσικές μονάδες (π.χ., τόνοι) και ο τελευταίος σε πλαίσιο μικτής μονάδας, για παράδειγμα ανάμειξη φυσικών και νομισματικών μονάδων. Κανένα από αυτά τα μοντέλα δεν έχει αναπτυχθεί με κύριο στόχο την εκτίμηση των ζητημάτων και των πολιτικών για τα απόβλητα. Όμως, δεδομένου ότι τα μοντέλα PIO και HIO περιλαμβάνουν δεδομένα αποβλήτων, χρησιμοποιούνται επίσης για την αξιολόγηση των ζητημάτων και των πολιτικών για τα απόβλητα. Σε αντίθεση με τα μοντέλα PIO και HIO, το μοντέλο MIO που εισήχθη από τον Leontief (1936) δεν έχει σχεδιαστεί για να λαμβάνει υπόψη τις ροές αποβλήτων ή να αξιολογεί τις πολιτικές αποβλήτων, καθώς δεν περιλαμβάνονται δεδομένα για τα απόβλητα.

Με την αυξανόμενη προσοχή στα περιβαλλοντικά ζητήματα, το περιβαλλοντικώς εκτεταμένο μοντέλο IO (environmentally extended input-output-EEIO) αναπτύχθηκε από το συμβατικό μοντέλο IO που συνοδεύεται από περιβαλλοντικές επεκτάσεις, συγκεκριμένα: απόβλητα, εκπομπές, πόροι κλπ. (Duchin, 1990 Leontief, 1970). Επομένως, ένα μοντέλο EEIO χρησιμεύει ως εργαλείο για την αξιολόγηση των αποβλήτων εάν η παραγωγή αποβλήτων αποτελεί μέρος των επεκτάσεων. Ονομάζουμε ένα τέτοιο μοντέλο ως μοντέλο αποβλήτων IO (waste extended - WEIO). Περαιτέρω, το πλαίσιο του μοντέλου EEIO (ή WEIO) έχει προσαρμοστεί οδηγώντας σε την ανάπτυξη ενός νέου κλάδου του μοντέλου EEIO, του μοντέλου αποβλήτων IO (waste - WIO). Το μοντέλο αποβλήτων IO (WIO) που εισήχθη από τους Nakamura και Kondo, 2002 αναπτύχθηκε για να συνδέσει τις νομισματικές ροές προϊόντων και υπηρεσιών μεταξύ τομέων με φυσικές ροές αποβλήτων που παράγονται και επεξεργάζονται. Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα: WEIO, WIO, PIO και HIO, εφαρμόστηκε σε περίπτωση μελετών, συμβάλλοντας στη διερεύνηση ζητημάτων και πολιτικών αποβλήτων από την άποψη της οικονομίας.

i) Το συμβατικό μοντέλο εισόδου-εξόδου με επέκταση αποβλήτων (WEIO).

Ένα περιβαλλοντικά διευρυμένο μοντέλο εισόδου-εξόδου ορίζεται γενικά ως μοντέλο IO όπου προστίθενται περιβαλλοντικές πληροφορίες στον πίνακα εισροών εκροών. Ανάλογα με τον τύπο

περιβαλλοντικών πληροφοριών (εκπομπές, πόροι, απόβλητα κ.λπ.) η ορολογία για το μοντέλο ΕΕΙΟ μπορεί να διαφέρει. Το πιο γνωστό και εφαρμοσμένο μοντέλο είναι το μοντέλο ΕΕΙΟ με εκπομπές ως επέκταση που αναπτύχθηκε αρχικά από τον Leontief (1970).

Οι ροές αποβλήτων εξετάζονται ως περιβαλλοντική επέκταση και καθορίζεται το μοντέλο εισόδου-εξόδου (WEIO) για την επέκταση των αποβλήτων ως μοντέλο που αποτελείται από ένα συμβατικό πίνακα εισροών-εκροών σε συνδυασμό με πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή αποβλήτων. Σε ένα μοντέλο WEIO, η μόνη σύνδεση μεταξύ του προϊόντος και των ροών αποβλήτων καθορίζεται προσθέτοντας την παραγωγή αποβλήτων ανά τομείς και από την τελική ζήτηση στις νομισματικές ροές προϊόντων σε τομείς και την τελική ζήτηση. Το μοντέλο WEIO δεν μπορεί να ακολουθήσει κάθε ροή αποβλήτων από τη γενιά του στην αντίστοιχη μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων. Επικεντρώνεται περισσότερο στην παραγωγή αποβλήτων και την κατανομή σε διάφορους τομείς και ομάδες τελικής κατανάλωσης.

ii) Το μοντέλο εισόδου-εξόδου αποβλήτων - The waste input-output (WIO) model - (WIO)

Η πρώτη δημοσίευση σχετικά με την εισαγωγή εισροών-αποβλήτων (WIO) αναφέρεται στον Nakamura (1999). Αργότερα, οι Nakamura και Kondo (2002) επισημοποίησαν και θεωρητικοποίησαν το μοντέλο με στόχο να παράσχουν ένα ειδικό πλαίσιο IOA για την ανάλυση της διαχείρισης αποβλήτων. Σε αυτό το έγγραφο, ορίζουμε το μοντέλο WIO ως μοντέλο που επεκτείνει τους πίνακες MIO με τη συνολική καθαρή παραγωγή αποβλήτων, δηλ. Τα συνολικά απορρίμματα εκτός από την ανακύκλωσή του. Δείχνει τους διάφορους τύπους αποβλήτων που παράγονται από παραγωγική επεξεργασία και επεξεργασία αποβλήτων (ως θετική εισροή) και επίσης, δείχνει τη χρήση των αποβλήτων σε παραγωγικούς τομείς, δηλαδή τα ανακυκλωμένα απόβλητα (ως αρνητική είσοδος). Επιπλέον, σε αντίθεση με ένα μοντέλο WEIO, ένα μοντέλο WIO μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση κάθε ροής αποβλήτων από τη γενιά του έως τη δική του αντίστοιχης επεξεργασίας αποβλήτων. Η επεξεργασία καθορίζεται με τον μέσο όρο του λεγόμενου πίνακα κατανομής αποβλήτων S (Nakamura και Kondo, 2002α). Το S έχει τη λειτουργία της σύνδεσης ενός τύπου αποβλήτων (π.χ. αποβλήτων ξύλου) σε έναν τομέα επεξεργασίας αποβλήτων (π.χ. αποτέφρωση), προσδιορίζοντας μία αναλογία επεξεργασίας π.χ. το μερίδιο των αποβλήτων ξύλου που αποτεφρώνονται. Ωστόσο, αυτή η αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ γενιάς και η επεξεργασία είναι ένα βήμα πιο πέρα από τη βασική αναπαράσταση ενός πίνακα WIO.

Στον ορισμό του μοντέλου WIO, ξεχωρίζουμε το αρχικό μοντέλο WIO όπως ορίστηκε πιο πάνω από τις σχετικές εκδόσεις. Το ένα είναι το μοντέλο WIO-MFA (Nakamura et al., 2007), όπου μια ανάλυση ροής υλικού (MFA) συνδυάζεται με το μοντέλο WIO. Με ένα τέτοιο μοντέλο βασισμένο στο WIO, οι

συγγραφείς σκόπευαν να εκτιμήσουν το υλικό περιεχόμενο του δηλαδή τη μάζα των υλικών που σχηματίζουν προϊόντα και την ανίχνευση του τελικού προορισμού των υλικών και των ειδικών στοιχείων τους μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού. Το μοντέλο παροχής αποβλήτων (WSU) (Lenzen and Reynolds, 2014) είναι μια άλλη έκδοση ενός μοντέλου που βασίζεται στο WIO. Σε ένα τυπικό σύστημα WIO, όπως σχεδιάστηκε από τους Nakamura και Kondo (2002a), οι ροές αποβλήτων αντιπροσωπεύονται μόνο μία φορά, ως χαρακτηριστικά των τομέων επεξεργασίας των αποβλήτων. Μια λογική επέκταση του WIO ήταν να επιτρέψει ταυτόχρονα την παρουσίαση σε δύο πίνακες δύο παραστάσεων των δεδομένων αποβλήτων - απόβλητα ανά τύπο και απόβλητα με τη μέθοδο επεξεργασίας.

iii) Το φυσικό μοντέλο - The physical input-output (PIO) model

Η εισαγωγή της αρχής του ισοζυγίου υλικών στο λογιστικό σύστημα ροής των υλικών (Kneese et al., 1970) οδήγησε σε ένα βασικό πλαίσιο για τη μοντελοποίηση φυσικών ροών (ροές προϊόντων και αποβλήτων). Αυτή η βάση εργασίας ήταν η βάση για ένα συμβατό λογιστικό πλαίσιο για τις φυσικές πτυχές της οικονομίας. Το SEEA (Σύστημα Περιβαλλοντικής και Οικονομικής Λογιστικής (Ηνωμένα Έθνη, 1993, 2014)) προσφέρει ένα λογιστικό πλαίσιο των φυσικών πτυχών της οικονομίας με τη μορφή πινάκων προμήθειας και χρήσης (SUTs: supply and use tables). Οι φυσικοί πίνακες εισόδου / εξόδου (PIOT) αρχικά έχουν κατασκευαστεί από αυτά τα φυσικά SUT. Όλες οι ροές στο MIOΤ που μπορούν να μετρηθούν σε μονάδες μάζας καταγράφονται. Οι τομείς που παρέχουν υπηρεσίες ως προϊόν (που έχουν χρηματική αξία) δεν λογίζονται. Ορίζουμε ένα φυσικό μοντέλο εισροών-εκροών ως μοντέλο που μετρά όλες τις ροές σε φυσικές μονάδες: τις ροές προϊόντων, καθώς και τις πολλαπλές ροές που συνδέουν την οικονομία και το περιβάλλον, δηλαδή τους φυσικούς πόρους, τις εκπομπές και τις ροές αποβλήτων. Ένα τέτοιο μοντέλο περιλαμβάνει τα απόβλητα που παράγονται από τους τομείς και την τελική ζήτηση και τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται από τους τομείς επεξεργασίας αποβλήτων. Οι φυσικές μονάδες μπορούν να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μονάδων: μάζα, ενέργεια, όγκο κ.λπ., αλλά σε αυτή τη μελέτη, με φυσικές μονάδες, αναφέρουμε μονάδες μάζας, δεδομένου ότι εστιάζουμε στις ροές αποβλήτων (π.χ. αποτέλεσε τη βάση για ένα συμβατό λογιστικό πλαίσιο για τις φυσικές πτυχές της οικονομίας. Το SEEA (Σύστημα Περιβαλλοντικής και Οικονομικής Λογιστικής (Ηνωμένα Έθνη, 1993, 2014)) προσφέρει ένα λογιστικό πλαίσιο των φυσικών πτυχών της οικονομίας με τη μορφή SUTs. Οι φυσικοί πίνακες εισόδου / εξόδου (PIOT) αρχικά έχουν κατασκευαστεί από αυτά τα φυσικά SUT. Ένα PIOT μπορεί να θεωρηθεί ως το φυσικό ισοδύναμο ενός MIOΤ στο SNA (Σύστημα Εθνικών Λογαριασμών). Όλες οι ροές στο MIOΤ που μπορούν να μετρηθούν σε μονάδες μάζας καταγράφονται. Οι τομείς που παρέχουν υπηρεσίες ως προϊόν (που έχουν χρηματική αξία) δεν λογίζονται. Σε αυτή τη μελέτη, ορίζουμε ένα φυσικό μοντέλο εισροών-εκροών

ως μοντέλο που μετρά όλες τις ροές σε φυσικές μονάδες: τις ροές προϊόντων, καθώς και τις πολλαπλές ροές που συνδέουν την οικονομία και το περιβάλλον, δηλαδή τους φυσικούς πόρους, τις εκπομπές και τις ροές αποβλήτων. Ένα τέτοιο μοντέλο περιλαμβάνει τα απόβλητα που παράγονται από τους τομείς και την τελική ζήτηση και τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται από τους τομείς επεξεργασίας αποβλήτων. Οι φυσικές μονάδες μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα μονάδων: μάζα, ενέργεια, όγκο κ.λπ., αλλά σε αυτή τη μελέτη, με φυσικές μονάδες, αναφερόμαστε σε μονάδες μάζας, δεδομένου ότι εστιάζουμε στις ροές αποβλήτων. (πχ τόνοι, kg).

iv) Το υβριδικό μοντέλο - The hybrid input-output (HIO) model

Η ανάλυση των αποβλήτων στην κατανάλωση (WIOA) συνίσταται σε ένα υβριδικό πρότυπο που αποτελείται από οικονομικές και φυσικές μονάδες στις οποίες εκπροσωπούνται ρητά η αλληλεπίδραση βιομηχανιών και τομέων επεξεργασίας αποβλήτων. Ένα «υβριδικό μοντέλο» μπορεί επίσης να αποτελεί πλαίσιο μεικτών μονάδων όπου τα δεδομένα σε IO πίνακες / προμηθειας & χρήσης πίνακες εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες: τα υλικά σε μονάδα μάζας, τις ροές ενέργειας σε joules και τις υπηρεσίες σε νομισματικές μονάδες, ανεξάρτητα από τους περιβαλλοντικούς λογαριασμούς.

Μετά από αυτό, ορίζεται μια υβριδική εισροή-έξοδο ως μοντέλο όπου οι πίνακες IOTs / SUTs, καταγράφοντας κάθε είσοδο και έξοδο τομέων στην πλέον κατάλληλη μονάδα της (όπως έχει δοθεί προηγουμένως), μπορούν να επισυναφθούν με περιβαλλοντικούς λογαριασμούς που καλύπτουν τα απόβλητα, τις εκπομπές. Σε ένα τέτοιο μοντέλο, οι ροές αποβλήτων λογίζονται ως απόβλητα που παράγονται από τους τομείς και την τελική ζήτηση και ως απόβλητα που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία αποβλήτων.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας αναπαράστασης των μοντέλων WEIO (A), WIO (B), PIO (C) και HIO (D), όπου με πράσινο χρώμα αναφέρονται οι μεικτές μονάδες, με πορτοκαλί οι φυσικές, με μπλε οι νομισματικές. Οι γκρι δεν υπολογίζονται.

A - WEIO	Τομέας 1 .. Τομέας n	Τελική Ζήτηση	Σύνολο
Τομέας 1	$Z_S + Z_W$	Y	X
:			
Τομέας n			
Προστιθέμενη αξία	v		
Πόροι	$R_S + R_W$		r
Παροχή αποβλήτων	$Wsup_S + Wsup_W$	$Wsup_Y$	$Wsup$
Προσθήκες αποθεμάτων	$\Delta S_S + \Delta S_W$	ΔS_Y	ΔS
Χρήση Αποβλήτων	Wu_W		W_u
Εκπομπές	B_S	B_Y	b
Σύνολο	X'		

B - WIO	Τομέας 1 .. Τομέας n	Τελική Ζήτηση	Σύνολο
Τομέας 1	$Z_S + Z_W$	Y	X
:			
Τομέας n			
Προστιθέμενη αξία	v		
Πόροι	$R_S + R_W$		r
Καθαρή παραγωγή αποβλήτων	$Wnet_S + Wnet_W$	$Wnet_Y$	Wet
Προσθήκες αποθεμάτων	$\Delta S_S + \Delta S_W$	ΔS_Y	ΔS
Εκπομπές	$B_S + B_W$	B_Y	b
Σύνολο	X'		

C – PIO	Τομέας 1 .. Τομέας n	Τελική Ζήτηση	Σύνολο
Τομέας 1	$Z_S + Z_W$	Y	X
:			
Τομέας n			
Προστιθέμενη αξία	v		
Πόροι	$R_S + R_W$		r
Παροχή αποβλήτων	$Wsup_S + Wsup_W$	$Wsup_Y$	$Wsup$
Προσθήκες αποθεμάτων	$\Delta S_S + \Delta S_W$	ΔS_Y	ΔS
Χρήση Αποβλήτων	Wu_W		W_u
Εκπομπές	$B_S + B_W$	B_Y	b
Σύνολο	X'		

D – HIO	Τομέας 1 .. Τομέας n	Τελική Ζήτηση	Σύνολο
Τομέας 1	$Z_S + Z_W$	Y	X
:			
Τομέας n			
Προστιθέμενη αξία	v		
Πόροι	$R_S + R_W$		r
Παροχή αποβλήτων	$Wsup_S + Wsup_W$	$Wsup_Y$	$Wsup$
Προσθήκες αποθεμάτων	$\Delta S_S + \Delta S_W$	ΔS_Y	ΔS

Χρήση Αποβλήτων
Εκπομπές
Σύνολο



Πίνακας 5.1.5. : Αναπαράσταση των μοντέλων WEIO (A), WIO (B), PIO (C) και HIO (D).

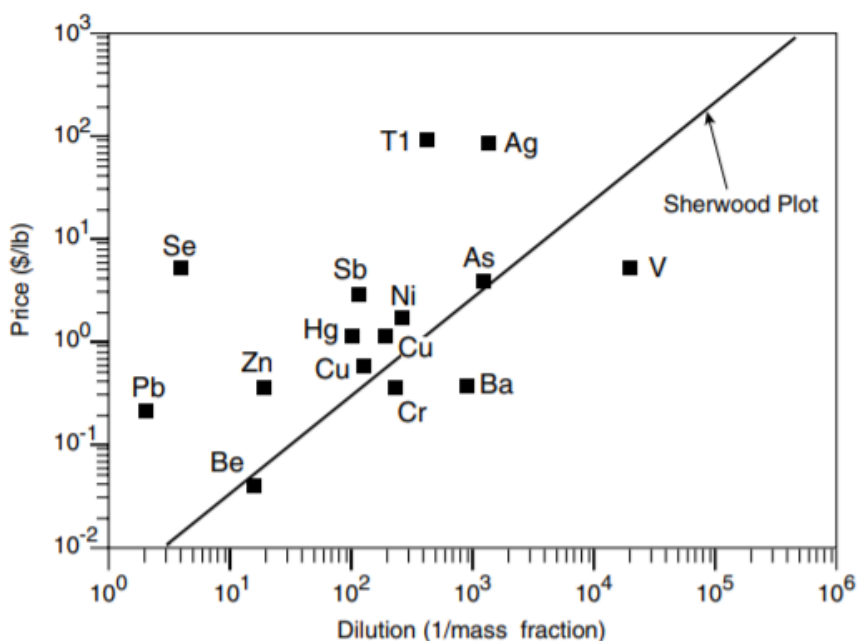
5.2. Διάγραμμα Sherwood

Το "Sherwood Plot" πήρε το όνομά του από τον Thomas K. Sherwood, έναν χημικό μηχανικό που δημοσίευσε ένα γράφημα το 1959 που έδειξε μια εμπειρική σχέση μεταξύ της τιμής ενός υλικού και της αραιώσης του (1 / συγκέντρωση) σε μια υδατική μήτρα.

Η σχέση έχει επιβεβαιωθεί για μια μεγάλη ποικιλία υλικών σε αραιά διαλύματα, συμπεριλαμβανομένων μετάλλων, βιολογικών υλικών και ρύπων. Λόγω του μεγάλου εύρους τιμών και συγκεντρώσεων, το γράφημα παρουσιάζεται πάντα λογαριθμικά, αλλά η σχέση είναι ουσιαστικά γραμμική μεταξύ κόστους ανάκτησης (\$/kg) και μείωσης της συγκέντρωσης του προϊόντος.

Οι μεταγενέστερες εκδόσεις άλλων περιλαμβάνουν επιπλέον ουσίες που διαχωρίζονται από αραιά μείγματα, όπως πολύτιμες οργανικές ενώσεις. Πρόσφατα, οι Dahmus και Gutowski ανέπτυξαν ένα τέτοιο σχέδιο για να βοηθήσουν στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων ανακύκλωσης υλικών. Σε όλες αυτές τις αναλύσεις, είναι σαφές ότι το κόστος διαχωρισμού μιας δεδομένης ουσίας από μία υδατική μήτρα, κλιμακώνεται αντίστροφα με την αρχική συγκέντρωση αυτής της ουσίας.

Το διάγραμμα Sherwood μπορεί να προέλθει από ένα απλό οικονομικό μοντέλο για έσοδα και κόστη. Η μεγιστοποίηση του κέρδους απαιτεί τα έσοδα από την πώληση του χημικού στοιχείου να υπερβαίνουν το κόστος ανάκτησης και επεξεργασίας. Σύμφωνα με το διάγραμμα η επικερδής ανάκτηση μπορεί να επιτευχθεί με χαμηλά επίπεδα διάλυσης άρα μεγάλες τιμές συγκέντρωσης.



Εικόνα 5.2.1. Διάγραμμα Sherwood που δείχνει τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης χημικού στοιχείου και το κόστος ανάκτησής του. (Harper & Graedel, 2004)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, η οικονομική αξία του πόρου είναι ανάλογη του επιπέδου διάλυσής του στο ρύπο. Το επίπεδο διάλυσης του ρύπου συνεπάγεται με τη συγκέντρωση του. Οι ρύποι με εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό συγκέντρωσης, μπορούν να ανακτηθούν με υψηλό κόστος, κατά συνέπεια γι' αυτούς προτιμάται η τακτική της εξόρυξης. Αντίθετα, οι πόροι με υψηλή συγκέντρωση στο ρύπο, μπορούν να ανακτηθούν σε πιο χαμηλή τιμή, κατά συνέπεια ένα μέρος –ή και το σύνολο- της ζητούμενης ποσότητας, μπορεί να καλυφθεί από ανάκτηση. Η θετική κλίση του διαγράμματος εκφράζει τη θετική σχέση μεταξύ της ποσοστιαίας διάλυσης του χρήσιμου υλικού στο ρύπο και του κόστους ανάκτησής του.

Το Sherwood Plot (SP) απεικονίζει τη σχέση μεταξύ του κόστους ανάκτησης ενός υλικού (είτε στη στοιχειακή του μορφή είτε σε μια επιθυμητή χημική ένωση) από μια υδατική μήτρα και της συγκέντρωσης. Εδώ επεκτείνουμε τη χρησιμοποίησή του για την περίπτωση της υδροκεντρικής βιομηχανικής συμβίωσης (Water Smart Industrial Symbiosis) αποκαλύπτοντας τη σημασία των ανακτηθέντων υλικών ως ενδιάμεσων συντελεστών παραγωγής στο πλαίσιο εισροών-εκροών. Συνδέεται η βασική σχέση κόστους ανάκτησης-συγκέντρωσης για μεμονωμένες βιομηχανικές διεργασίες, για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών σύνδεσης (συναλλαγών) κατά τρόπο που να διασφαλίζει ότι οι απαιτούμενες επενδύσεις είναι ελκυστικές για επενδύσεις κυκλικής οικονομίας.

Η ανά μονάδα ρύπου διάλυση του χημικού στοιχείου αποτελεί μια εξελισσόμενη σχέση η οποία επιδέχεται βελτιώσεις μέσω Έρευνας & Ανάπτυξης. Η βελτίωση της οικονομικής σχέσης ανάκτησης είναι δυνατή με δύο τρόπους: α) είτε με αλλαγή της δομής των βιομηχανικών ρύπων, ώστε η «μήτρα» να διευκολύνει περισσότερο την ανάκτηση ή β) μέσω της καθαυτής Έρευνας & Ανάπτυξης μεθόδων μεγαλύτερης ανάκτησης από τους βιομηχανικούς ρύπους (Καρακατσάνης, 2007).

5.3. Ανάπτυξη Λειτουργικού Πλαισίου Εισόδου – Εξόδου με τη Χρήση Python

Σύμφωνα με τη λογική των παραπάνω μεθόδων, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί την ανάπτυξη ενός συστήματος που θα είναι ικανό να διαχειρίζεται δεδομένα προερχόμενα από τις ενδιαφερόμενες βιομηχανίες, να τα επεξεργάζεται και να τα αποθηκεύει με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι εύκολα διαχειρίσιμα και ταυτόχρονα να προσφέρει αποτελεσματική παρουσίαση αυτών, με στόχο την καλύτερη ενημέρωση του τελικού αγοραστή/καταναλωτή, έχοντας ως απώτερο σκοπό την εξοικονόμηση, τη μείωση παραγωγής αποβλήτων, τη βελτίωση σχέσεων με άλλες βιομηχανίες/επιχειρήσεις και την ανάπτυξη «πράσινης» εικόνας της βιομηχανίας/επιχείρησης.

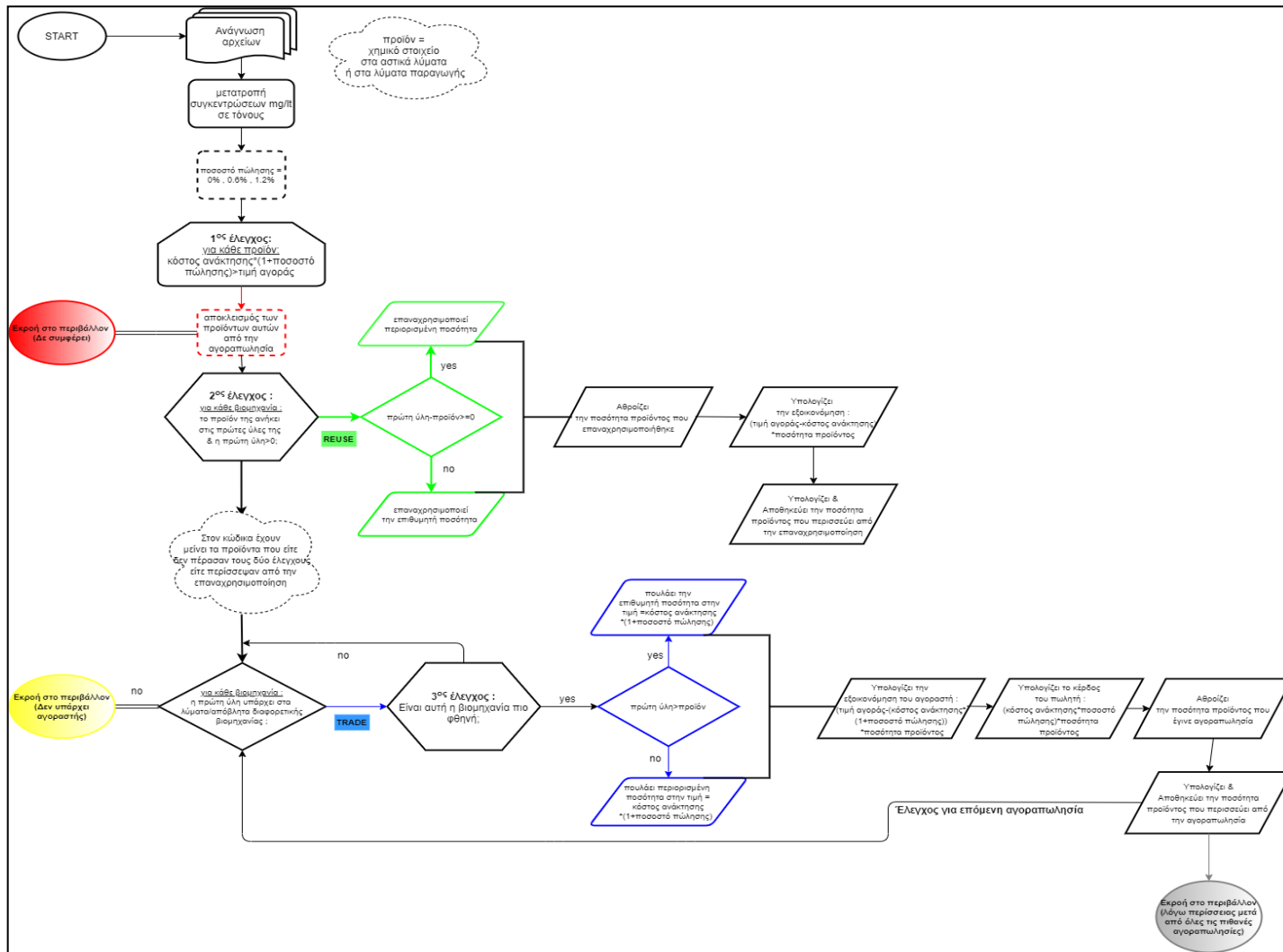
Συνεπώς, δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος, σε γλώσσα προγραμματισμού Python, με σκοπό την περιγραφή και την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους διαδικασιών παραγωγής και των συναφών ροών υλικών. Εξετάζει πιθανές συμβιωτικές δράσεις μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων μιας βιομηχανικής περιοχής, δημιουργεί συμβιωτικά σενάρια και τα αξιολογεί.

Στόχος της προσέγγισης μέσω Python να δημιουργηθεί ένα εργαλείο (πρόγραμμα) που θα δέχεται σαν είσοδο (input) συγκεκριμένες πληροφορίες από κάθε βιομηχανική μονάδα, όπως ανάγκες σε πρώτες ύλες και ποσότητες αποβλήτων, και θα βγάζει σαν αποτέλεσμα (output) τις πιθανές διαδρομές σύνδεσης (Pathways) από συναλλαγές προϊόντων μεταξύ βιομηχανικών μονάδων ή επαναχρησιμοποίηση χημικών στοιχείων καθώς και τα οικονομικά οφέλη αυτών. Πιο αναλυτικά, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5.3.1. : Δεδομένα Εισόδου - Εξόδου.

Input	Output
Πρώτες ύλες	Αγοραπωλησίες (trades)
Χρήση νερού	Επαναχρησιμοποίηση (reuse)
Ποσότητα αστικών λυμάτων	Εκροές & Έξοδα πριν τη Βιομηχανική Συμβίωση
Ποσότητα υγρών αποβλήτων	Εκροές & Έξοδα μετά τη Βιομηχανική Συμβίωση
Περιεκτικότητα Χημικών Στοιχείων	Εξοικονόμηση
Κόστος Ανάκτησης Χημικών Στοιχείων	Κέρδη μόνο από τις αγοραπωλησίες
Τιμή αγοράς Χημικών Στοιχείων	Συνολικό Κέρδος

5.3.1. Συνοπτική Περιγραφή Αλγορίθμου



Εικόνα 5.3.1 : Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου

Τα βήματα υλοποίησης του αλγορίθμου, όπως φαίνονται και στο διάγραμμα ροής έχουν ως εξής:

1. Δημιουργία συνάρτησης για την ανάγνωση των αρχείων εισόδου που θα δίνονται από τις ενδιαφερόμενες βιομηχανίες. Τα αρχεία εισόδου περιέχουν τις πληροφορίες που αναφέρονται στον πίνακα 4.3.1. Με την κατάλληλη χρήση δομών δεδομένων (πίνακες, υποπίνακες και λεξικά) επεξεργάζεται τα αρχεία και αποθηκεύει τις πληροφορίες που χρειάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι διαχειρίσιμες.
2. Δημιουργία δεύτερης συνάρτησης με σκοπό τη μετατροπή των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων κάθε βιομηχανίας σε τόνους.
3. Τίθεται ένα ποσοστό πώλησης ώστε η βιομηχανία που θα θέλει να πραγματοποιήσει συναλλαγή με μία άλλη να μπορεί να διαμορφώσει το κέρδος της και αντίστοιχα η βιομηχανία-αγοραστής να μπορεί να αξιολογήσει τη συναλλαγή αυτή ως μία συμφέρουσα επένδυση ή όχι. Με κριτήριο το ποσοστό πώλησης θα αναπτυχθούν τρία εναλλακτικά σενάρια βιομηχανικής συμβίωσης, θέτοντας τις τιμές 0%, 0.6% και 1.2%.
4. Δημιουργία τρίτης συνάρτησης για να θέσει σε εφαρμογή τον πρωταρχικό έλεγχο που αξιολογεί για ποια προϊόντα δε συμφέρει να προχωρήσει σε αγοραπωλησία. Ως προϊόν αναφέρεται το χημικό στοιχείο στα αστικά λύματα ή στα βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Έτσι λοιπόν, για κάθε προϊόν κάθε βιομηχανίας, γίνεται ο εξής έλεγχος και αν ισχύει απορρίπτει αυτά τα προϊόντα για αγοραπωλησία :

$$\frac{\text{«Κόστος Ανάκτησης * (1+ Ποσοστό Πώλησης)»}}{\text{Τιμή πώλησης}} > \text{Τιμή Αγοράς»}$$

5. Δημιουργία τέταρτης συνάρτησης για τον έλεγχο της επαναχρησιμοποίησης. Ελέγχεται αν κάποιο προϊόν μιας βιομηχανίας μπορεί να αξιοποιηθεί σαν πρώτη ύλη της ίδιας της βιομηχανίας. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις :

- i. Η ποσότητα πρώτης ύλης να είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα προϊόντος και συνεπώς, να επαναχρησιμοποιηθεί όλη η ποσότητα προϊόντος.
- ii. Η ποσότητα πρώτης ύλης να είναι μικρότερη από την ποσότητα προϊόντος, να επαναχρησιμοποιηθεί όση ποσότητα απαιτείται και η μικρότερη, πλέον, ποσότητα προϊόντος που παραμένει θα αξιοποιηθεί στον παρακάτω έλεγχο της αγοραπωλησίας.

6. Κάθε φορά αθροίζει την ποσότητα που επαναχρησιμοποιήθηκε για κάθε προϊόν, υπολογίζει την ποσότητα προϊόντος που υπολείπεται προς επαναχρησιμοποίηση ή αγοραπωλησία ή εκροή στο περιβάλλον και υπολογίζει, επίσης, την εξοικονόμηση της βιομηχανίας ως εξής:

$$\text{«(Τιμή Αγοράς – Τιμή Πώλησης) * Ποσότητα Προϊόντος»}$$

7. Στη συνέχεια, παραμένοντας στην ίδια συνάρτηση, με τις ποσότητες πρώτης ύλης και προϊόντων που έχουν διαμορφωθεί μετά τον έλεγχο της επαναχρησιμοποίησης πραγματοποιείται ο έλεγχος της αγοραπωλησίας. Για κάθε βιομηχανία, λοιπόν, ελέγχεται αν η πρώτη ύλη που απαιτείται υπάρχει στα προϊόντα διαφορετικής βιομηχανίας.
 - i. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει απορρίπτεται στο περιβάλλον.
 - ii. Εάν υπάρχει ελέγχει πρώτα εάν αυτή η βιομηχανία είναι η πιο «φθηνή». Σε αυτό το σημείο εκτελείται ένας έλεγχος για κάθε βιομηχανία αν είναι η πιο φθηνή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.
8. Όταν βρει την πιο οικονομική προσφορά, υπάρχουν δύο περιπτώσεις :
 - i. Η ποσότητα πρώτης ύλης να είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα προϊόντος, να αγορασθεί όλη η ποσότητα προϊόντος στην τιμή πώλησης.
 - ii. Η ποσότητα πρώτης ύλης να είναι μικρότερη από την ποσότητα προϊόντος, να αγορασθεί όση ποσότητα που απαιτείται και η μικρότερη, πλέον, ποσότητα προϊόντος που παραμένει θα αξιοποιηθεί στην αμέσως επόμενη πιο οικονομική προσφορά.
9. Όπως και στον έλεγχο της επαναχρησιμοποίησης, έτσι και εδώ, κάθε φορά αθροίζει την ποσότητα προϊόντος που αγοράσθηκε, υπολογίζει την εξοικονόμηση του «αγοραστή», την ποσότητα προϊόντος που υπολείπεται προς αγοραπωλησία ή εκροή στο περιβάλλον αλλά και το οικονομικό όφελος του «πωλητή» : $\text{τιμή πώλησης} * \text{ποσότητα προϊόντος}$.
10. Αφού έχουν τελειώσει όλοι οι έλεγχοι, η ποσότητα προϊόντος που υπολείπεται στα υγρά απόβλητα των βιομηχανιών δηλώνονται ως «περίσσεια» και απορρίπτονται στο περιβάλλον.
11. Όλοι οι υπολογισμοί διαμορφώνουν τα δεδομένα εξόδου όπως αναφέρονται στον πίνακα 4.3.1 και απεικονίζονται με τη μορφή γραφημάτων (nodes & ραβδογράμματα).

Συμπερασματικά, υπάρχουν τρεις βασικοί έλεγχοι στον κώδικα :

- a. Συμφέρουσα ανάκτηση
- b. Επαναχρησιμοποίηση
- c. Αγοραπωλησία

Και τρεις περιπτώσεις εκροής προϊόντων στο περιβάλλον :

- a. Όταν δε συμφέρει να γίνει η ανάκτηση
- b. Όταν δεν υπάρχει «αγοραστής»
- c. Όταν υπάρχει περίσσεια προϊόντος είτε μετά από επαναχρησιμοποίηση είτε μετά από αγοραπωλησία.

6. Μελέτη Περίπτωσης

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες ενότητες εφαρμόζεται σε μία μελέτη περίπτωσης, σε μία πλασματική βιομηχανική περιοχή. Οι μονάδες που έχουν επιλεγεί για τη δημιουργία του παραδείγματος υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο και οι δυναμικότητές τους είναι αντίστοιχες με τις δυναμικότητες υπαρκτών μονάδων.

Αρχικά, η διαδικασία της συλλογής πληροφοριών ξεκίνησε με την προσπάθεια εύρεσης πραγματικών δεδομένων από το Ηλεκτρονικό Μητρώο Αποβλήτων αλλά η πρόσβαση κατέστη ανέφικτη λόγω του βαθμού ευαισθησίας των δεδομένων.

Στη συνέχεια, έγινε προσπάθεια τηλεφωνικής επικοινωνίας με βιομηχανικές μονάδες η οποία δεν επέφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα και έτσι, η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από τον ιστότοπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας όπου αναρτώνται οι Αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΑΕΠΟ) καθώς και από εστιασμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Χρειάστηκε να γίνει επιλογή συγκεκριμένων βιομηχανιών αλλά και διαλογή των δεδομένων τους, με τέτοιο τρόπο που να εξυπηρετούν τους σκοπούς της εργασίας, τα οποία ταξινομήθηκαν σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.).

6.1. Ανάλυση και Κατηγοριοποίηση των Εισροών & Εκροών

Οι βιομηχανίες που επιλέχθηκαν να αποτελούν το σύστημα της μελέτης περίπτωσης είναι οι εξής :

1. Παραγωγής & επεξεργασίας κραμάτων χαλκού
2. Παραγωγής ελαστικών προϊόντων
3. Βυρσοδεψείο
4. Κλωστοϋφαντουργίας
5. Παραγωγής Χαρτοπολτού

Και οι κατηγορίες των υγρών αποβλήτων, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κώδικα Αποβλήτων, είναι οι εξής :

- 07: Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες
 - 07 01 01: υδατικά υγρά πλυσίματος και μητρικά υγρά από τη χρήση βασικών οργανικών χημικών ουσιών
 - 07 02 01: υδατικά υγρά πλυσίματος και μητρικά υγρά από τη χρήση πλαστικών, συνθετικού καουτσούκ και τεχνητών ινών
 - 07 03 01: υδατικά υγρά πλυσίματος και μητρικά υγρά από τη χρήση οργανικών βαφών και πιγμέντων
 - 07 06 01: υδατικά υγρά πλυσίματος και μητρικά υγρά από τη χρήση λιπών, λιπαντικών, σαπουνιών, απορρυπαντικών, απολυμαντικών
- 11: Απόβλητα από τη χημική επιφανειακή επεξεργασία και την επικάλυψη μετάλλων και άλλων υλικών
 - 11 01 11: υδαρή υγρά ξεπλύματος που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες από τη διαδικασία ηλεκτροστατικής βαφής και διέλασης
- 12: Απόβλητα από τη μορφοποίηση και τη φυσική και μηχανική επιφανειακή επεξεργασία μετάλλων και πλαστικών
 - 12 03 01: υδατικά υγρά πλυσίματος από διεργασίες απολίπανσης με νερό και ατμό

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα χαρακτηριστικά κάθε βιομηχανίας, όπως οι ανάγκες σε πρώτες ύλες, η κατανάλωση νερού, εκροές κ.ά., ανάλογα με την ετήσια παραγωγή, έχουν ως εξής στον παρακάτω πίνακα (στα αστικά λύματα η συγκέντρωση του φωσφόρου κυμαίνεται μεταξύ 4-14 mg/l. Για τους σκοπούς της εργασίας, θέσαμε σταθερή τη συγκέντρωση στα 14 mg/l για κάθε βιομηχανική μονάδα).

Πίνακας 6.1.1. : Κατηγοριοποίηση Εισροών – Εκροών.

Βιομηχανίες	Πρώτες ύλες (tn)	Χρήση νερού (tn)	Αστικά λύματα (tn)	Βιομηχανικά Υγρά Απόβλητα (tn)	Συγκέντρωση Χημικών Στοιχείων (mg/l)
Παραγωγής & επεξεργασίας κραμάτων χαλκού	Χαλκός - 2800 Νικέλιο - 260 Ψευδάργυρος - 800 Άζωτο - 1800 Φώσφορος - 200	9.425	6.475	7.300	Νικέλιο – 5,5 Χαλκός - 6 Φώσφορος - 14
Παραγωγής ελαστικών προϊόντων	Θείο - 5 Καολίνη - 350 Ψευδάργυρος - 300 Αιθάλη - 150	3.500	4.500	50.475	Ψευδάργυρος - 2 Φώσφορος - 14
Κλωστούφα-ντουργιάς	Ίνες - 2000 Φώσφορος - 300	15.00.000	9.475	80.000.000	Νικέλιο – 0,35 Χαλκός – 0,3 Ψευδάργυρος - 5 Χρώμιο - 5 Φώσφορος - 14
Παραγωγής Χαρτοπολτού	Ξυλεία : 600000 Βοηθητικές ύλες Βασικές χημικές ουσίες	3.005.475	9.760	10.500.000	Νικέλιο - 20 Χαλκός - 15 Ψευδάργυρος - 144 Θείο - 50 Φώσφορος - 14
Βυροδεψείο	Ακατέργαστο Δέρμα- 480 Φώσφορος - 250 Θείο - 100 Βοηθητικές ύλες Βασικές χημικές ουσίες	100.000	6.000	2.600.000	Θείο - 163 Φώσφορος - 14 Χρώμιο - 25

Όσον αφορά το κόστος ανάκτησης των χημικών στοιχείων από υδατικές μήτρες, αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η συγκέντρωσή τους (όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 4.2), η ποσότητα των υγρών αποβλήτων προς επεξεργασία, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί κ.ά. Συνεπώς, στη μελέτη περίπτωσης δεν είναι εφικτό να υπολογιστεί το κόστος ανάκτησης για κάθε χημικό στοιχείο, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους πιθανούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί δεδομένο εισόδου στον αλγόριθμο που θα παρέχεται από την βιομηχανία που επιθυμεί να πουλήσει.

Ωστόσο, από τη βιβλιογραφία θεωρείται ότι το κόστος ανάκτησης του φωσφόρου κυμαίνεται από 0,46 \$/kg έως 8,65 \$/kg και έγινε η υπόθεση ότι το συγκεκριμένο εύρος ισχύει για όλα τα χημικά στοιχεία. Για τις ανάγκες του κώδικα, αυτή η πληροφορία συνδυάστηκε με την προσέγγιση του διαγράμματος Sherwood, με σκοπό να δημιουργηθούν φθίνουσες γραμμικές σχέσεις που θα τεκμηριώνουν την επιλογή τιμών. Πιο αναλυτικά, για κάθε χημικό στοιχείο το κόστος ανάκτησης θα κυμαίνεται σταθερά στο εύρος 0,46 \$/kg - 8,65 \$/kg και η σχέση συγκέντρωσης - τιμής θα είναι φθίνουσα. Για τη δημιουργία γραμμικών σχέσεων για το εκάστοτε χημικό στοιχείο, το μεγαλύτερο κόστος αντιστοιχήθηκε στη μικρότερη συγκέντρωση, ενώ το μικρότερο κόστος στη μεγαλύτερη και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.1.2 : Δημιουργία γραμμικών σχέσεων Κόστους ανάκτησης - Συγκέντρωσης Χημικού Στοιχείου.

Χημικό Στοιχείο	Ζεύγη Τιμών		Γραμμική σχέση
	X (mg/l)	Y (\$/kg)	
Φωσφόρος (P)	4	8,65	$y = -0,82*x + 11,92$
	14	0,46	
Νικέλιο (Ni)	0,35	8,65	$y = -0,07*x + 8,67$
	20	0,46	
Ψευδάργυρος (Zn)	2	8,65	$y = -0,06*x + 8,76$
	144	0,46	
Χαλκός (Cu)	0,3	8,65	$y = -0,56*x + 8,82$
	15	0,46	
Θείο (S)	50	8,65	$y = -0,07*x + 12,27$
	163	0,46	
Χρώμιο (Cr)	5	8,65	$y = -0,41*x + 10,69$
	25	0,46	

Σύμφωνα με τις παραπάνω γραμμικές σχέσεις, τα κόστη ανάκτησης ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων, διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6.1.3 : Κόστη ανάκτησης χημικών στοιχείων.

Βιομηχανίες	Συγκέντρωση Χημικών Στοιχείων (mg/l)	Κόστος Ανάκτησης \$/Kg
Παραγωγής & επεξεργασίας κραμάτων χαλκού	Νικέλιο – 5,5	8,30
	Χαλκός - 6	4,62
	Φώσφορος - 14	0,46
Παραγωγής ελαστικών προϊόντων	Ψευδάργυρος - 2	8,65
	Φώσφορος - 14	0,46

Κλωστοϋφαντουργίας	Νικέλιο – 0,35	8,64
	Ψευδάργυρος - 5	8,48
	Χαλκός - 0.3	8,65
	Χρώμιο - 5	8,65
	Φώσφορος - 14	0,46
Παραγωγής Χαρτοπολλτού	Νικέλιο - 20	7,31
	Χαλκός - 15	0,46
	Ψευδάργυρος - 144	0,55
	Θείο - 50	8,68
	Φώσφορος - 14	0,46
Βυρσοδειψείο	Χρώμιο - 25	0,46
	Φώσφορος - 14	0,46
	Νικέλιο – 0,35	8,64
	Θείο - 163	0,54

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η τιμή αγοράς (\$/kg) των εν λόγω χημικών στοιχείων διαμορφώνεται όπως στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές αυτές μεταβάλλονται σύμφωνα με τις επικρατούσες οικονομικές συνθήκες. Για κάποια χημικά στοιχεία η μεταβολή μπορεί να είναι απότομη (πχ. νικέλιο) και για κάποια άλλα σταδιακή (πχ. χαλκός).

Πίνακας 6.1.4 : Τιμή αγοράς χημικών στοιχείων.

Χημικό Στοιχείο	Τιμή αγοράς (\$/kg)
Φωσφόρος (P)	5
Νικέλιο (Ni)	15
Ψευδάργυρος (Zn)	4
Χαλκός (Cu)	6
Θείο (S)	2
Χρώμιο (Cr)	9,4

6.2. Αναζήτηση Σεναρίων Βιομηχανικής Συμβίωσης

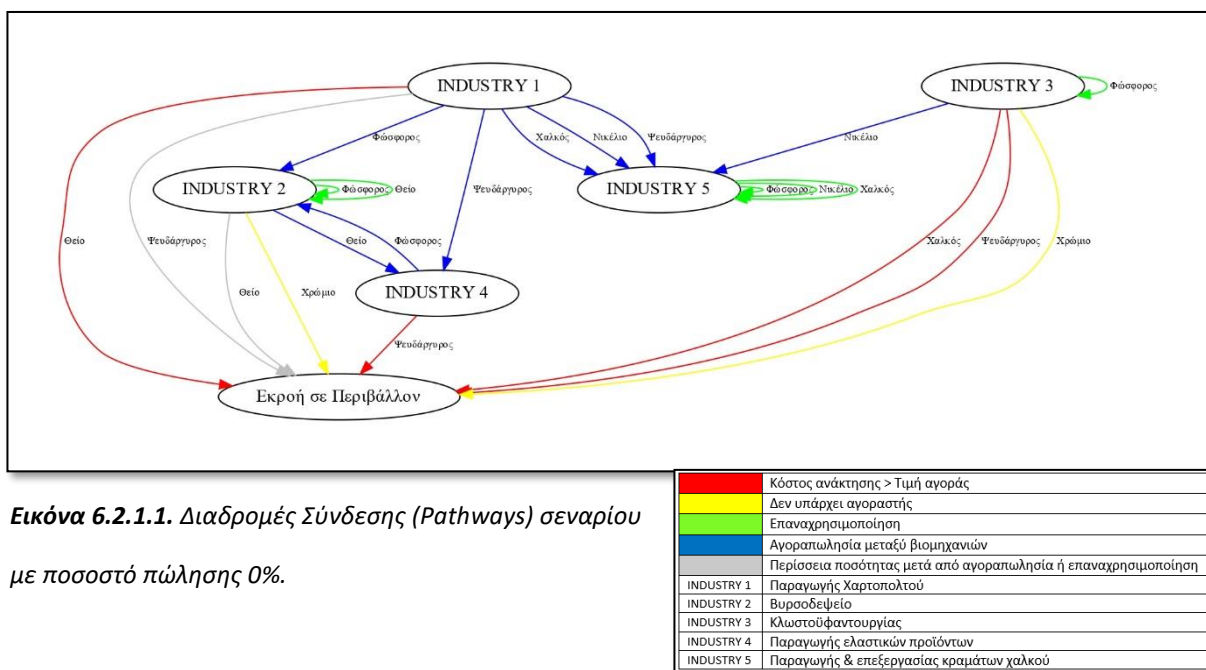
Στον κώδικα εισέρχονται τα δεδομένα που αναφέρονται στους πίνακες 5.1.1, 5.1.3 & 5.1.4 σε μορφή αρχείων .txt. Τα αποτελέσματα αναλύονται παρακάτω.

6.2.1. Σενάριο 1^ο – Ποσοστό πώλησης 0%

Στο πρώτο σενάριο με ποσοστό πώλησης 0 %, ο κώδικας μας επιστρέφει τα εξής αποτελέσματα στη γραμμή εντολών :

```
C:\Users\User\Desktop\thesis IS\0>python isidora.py
INDUSTRY 2 can reuse 84.0kg Φώσφορος
INDUSTRY 2 can reuse 100000.0kg Θείο
INDUSTRY 3 can reuse 132.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 90.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 40.15kg Νικέλιο
INDUSTRY 5 can reuse 43.8kg Χαλκός
INDUSTRY 1 can sell 136.64kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 0.46$ per kg
INDUSTRY 4 can sell 63.0kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 0.46$ per kg
INDUSTRY 2 can sell 5000.0kg Θείο to INDUSTRY 4 at 0.39$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 300000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 4 at 0.39$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 157500.0kg Χαλκός to INDUSTRY 5 at 0.39$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 210000.0kg Νικέλιο to INDUSTRY 5 at 0.42$ per kg
INDUSTRY 3 can sell 28000.0kg Νικέλιο to INDUSTRY 5 at 7.3$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 800000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 5 at 0.39$ per Kg
```

Και εξάγει τα παρακάτω γραφήματα :

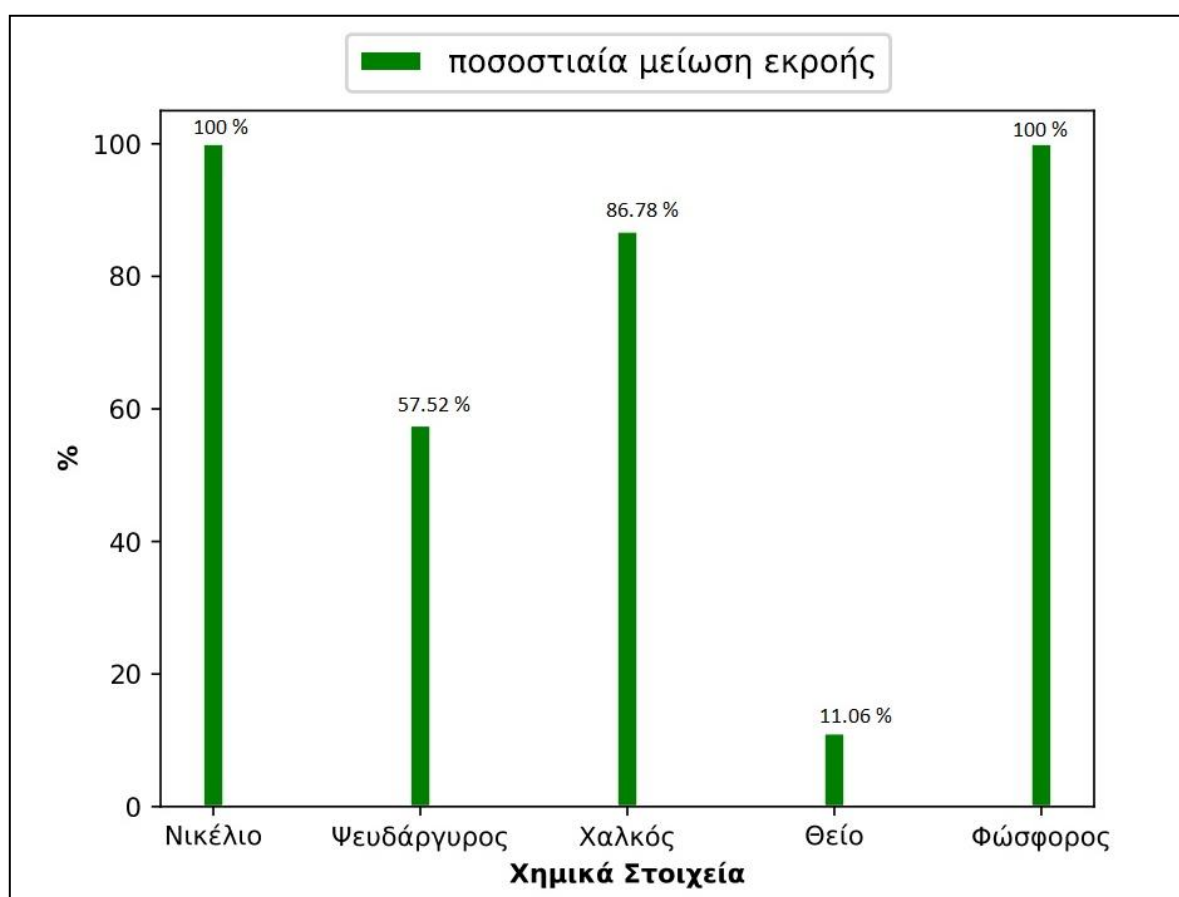


Εικόνα 6.2.1.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.

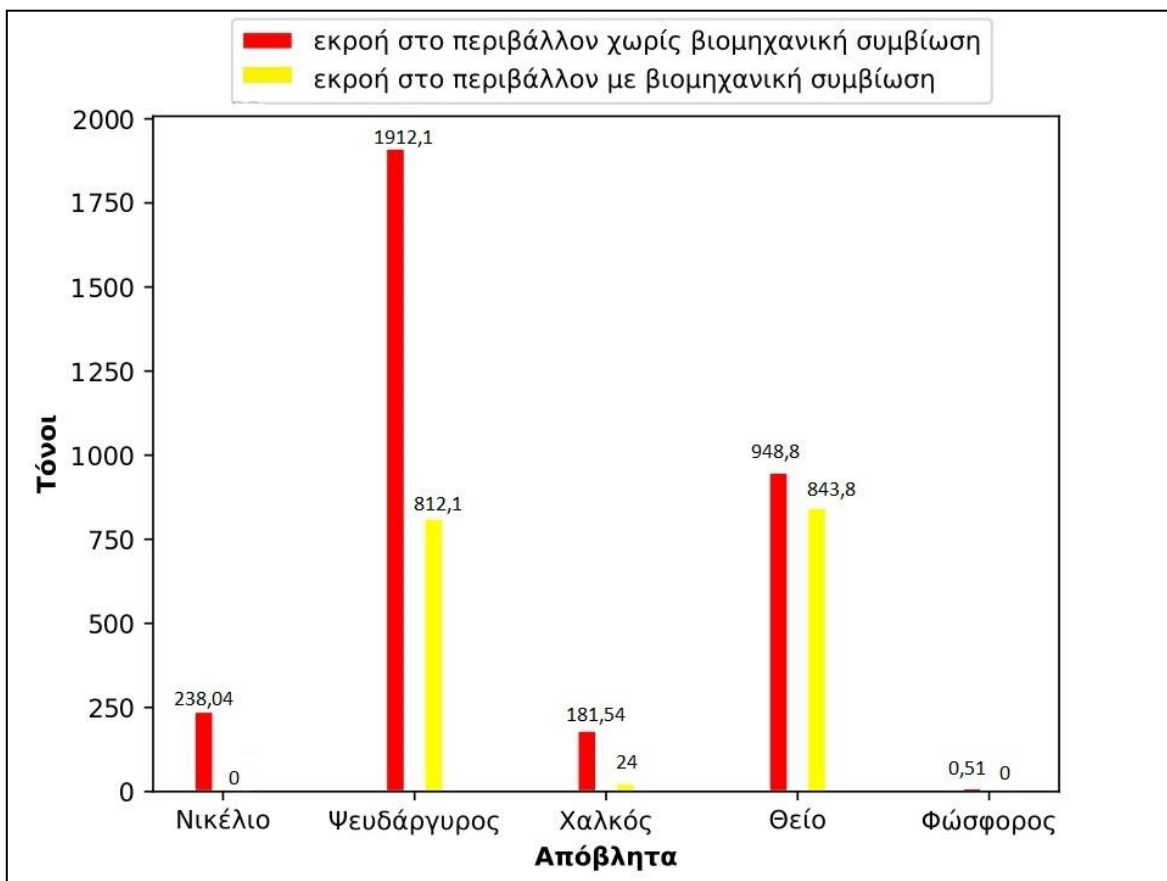
Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται τα αποτελέσματα που επιστρέφει ο κώδικας στη γραμμή εντολών. Αναλυτικά, η 1^η βιομηχανία καταφέρνει να πουλήσει ορισμένες ποσότητες χημικών στοιχείων, η 2^η βιομηχανία επαναχρησιμοποιεί, πουλάει και αγοράζει, η 3^η βιομηχανία

επαναχρησιμοποιεί και πουλάει, η 4^η βιομηχανία πουλάει και αγοράζει και η 5^η βιομηχανία επαναχρησιμοποιεί και αγοράζει. Υπάρχουν τέσσερις (4) εκροές χημικών στοιχείων (θείο, ψευδάργυρος, χαλκός) στο περιβάλλον καθώς το κόστος ανάκτησης ήταν μεγαλύτερο από την τιμή αγοράς, δύο (2) λόγω περίσσειας (ψευδάργυρος, θείο) και δύο (2) λόγω αδυναμίας εύρεσης αγοραστή (χρώμιο).

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μείωση εκροής για κάθε χημικό στοιχείο για το σύνολο των βιομηχανιών. Παρατηρείται ότι γίνεται ολική αξιοποίηση του νικελίου και του φωσφόρου, ακολουθεί σε υψηλό ποσοστό και ο χαλκός στο 86.78%, ο ψευδάργυρος στο 57.52% ενώ η αξιοποίηση του θείου είναι σε χαμηλά επίπεδα, 11.06%. Η μείωση της εκροής εξαρτάται από τις επιτεύξιμες συναλλαγές και τη ζήτηση των συγκεκριμένων χημικών στοιχείων από τις βιομηχανίες, συνεπώς συμπεραίνουμε ότι στο σύνολο των βιομηχανιών η ζήτηση του νικελίου και του φωσφόρου αλλά και του χαλκού ήταν υψηλή, για τον ψευδάργυρο μέτρια ενώ για το θείο πολύ χαμηλή.

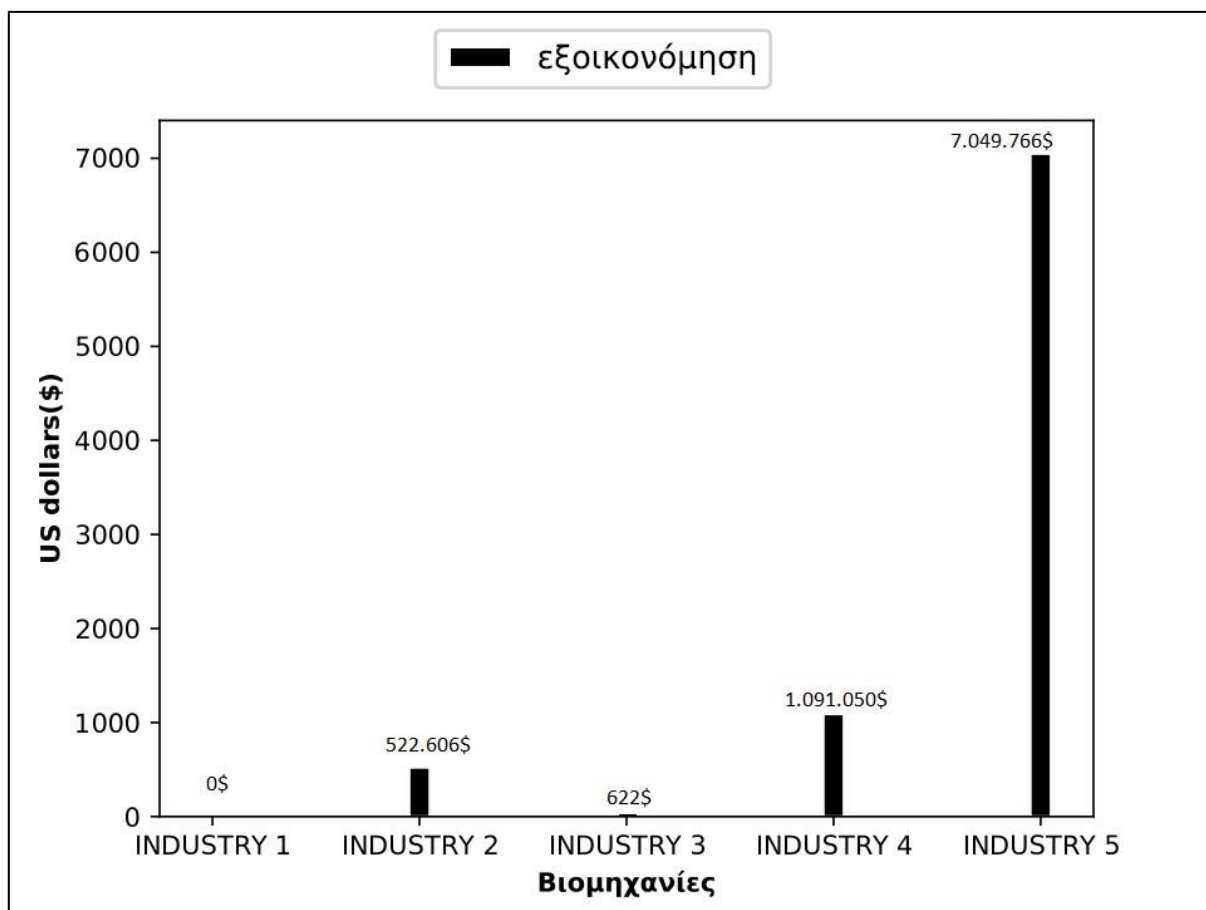


Εικόνα 6.2.1.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.



Εικόνα 6.2.1.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.

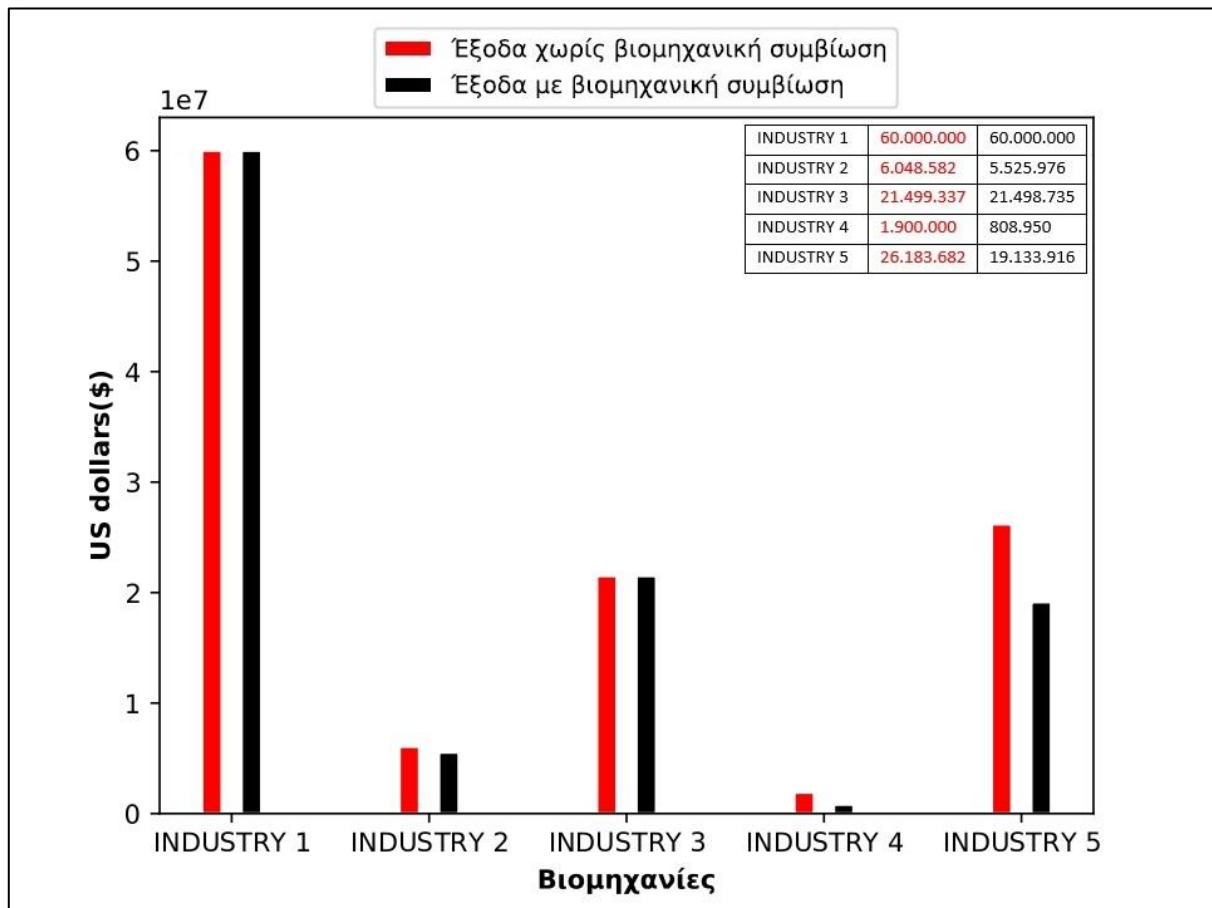
Η εκροή στο περιβάλλον μετά τη βιομηχανική συμβίωση αφορά τις ποσότητες χημικών στοιχείων που υπολείπονται στα υγρά απόβλητα παραγωγής ή στα αστικά λύματα, μετά την πιθανή επαναχρησιμοποίηση ή αγοραπωλησία. Στο συγκεκριμένο ραβδόγραμμα, όπως και στο προηγούμενο, παρατηρείται η πλήρης εκμετάλλευση του νικελίου και του φωσφόρου και συνεπώς, η μηδενική εκροή τους στο περιβάλλον. Στον ψευδάργυρο παρατηρείται μία διαφορά 1100τ, στο χαλκό 157,54τ και στο θείο 105τ. Η διαφορά των εκροών πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων σε συνδυασμό με την επικρατούσα ζήτηση χημικών στοιχείων από τις βιομηχανίες. Όσο η ζήτηση ενός χημικού στοιχείου θα πλησιάζει την παραγόμενη ποσότητα, τόσο αυτή η διαφορά θα μεγαλώνει.



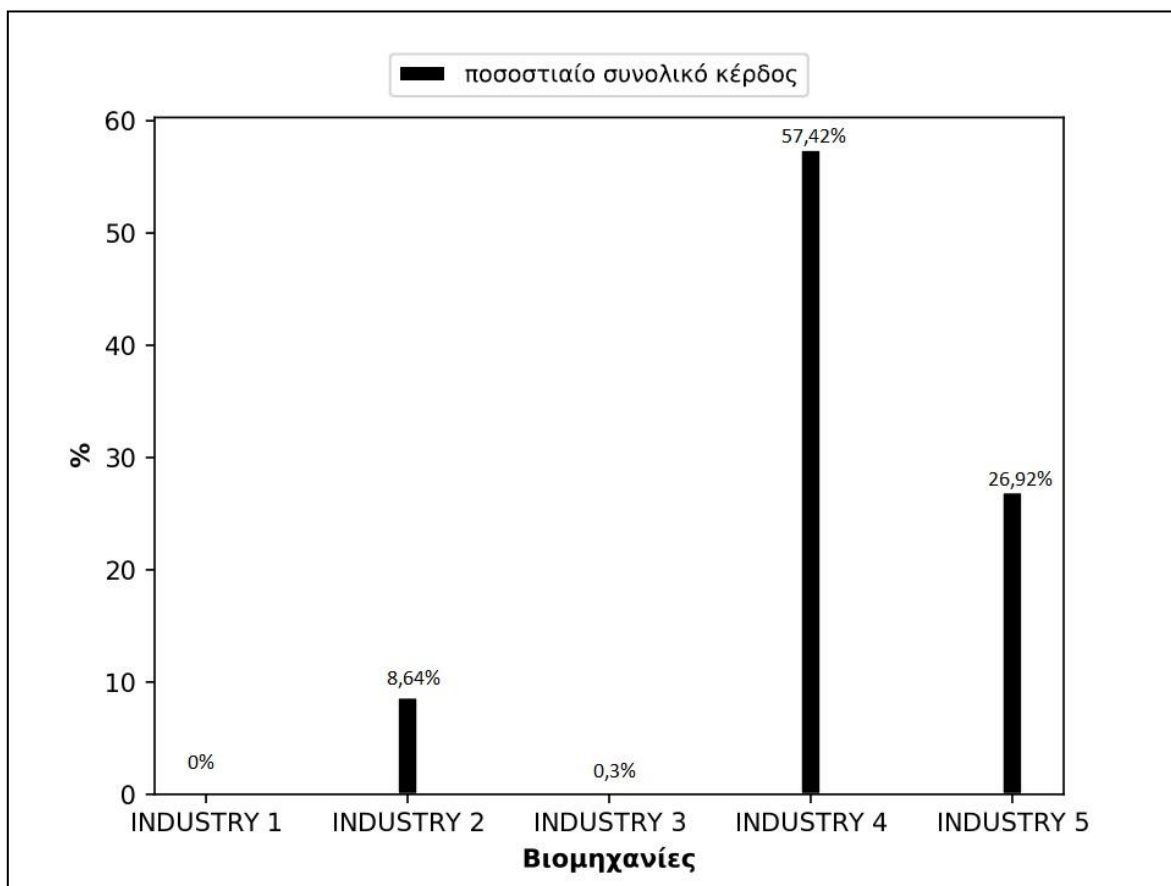
Εικόνα 6.2.1.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0%.

Στο συγκεκριμένο ραβδόγραμμα, απεικονίζεται τι εξοικονομεί η κάθε βιομηχανία από την επαναχρησιμοποίηση ή/και την αγοραπωλησία. Προφανώς, η 1^η βιομηχανία δεν εξοικονομεί καθώς ούτε επαναχρησιμοποιεί αλλά ούτε μπορεί να αγοράσει από κάποια άλλη βιομηχανία. Η 5^η βιομηχανία επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση καθώς είναι η μόνη που επιτυγχάνει μηδενική εκροή στο περιβάλλον, εφόσον επαναχρησιμοποιεί και αγοράζει τις πρώτες ύλες που χρειάζεται από τις υπόλοιπες βιομηχανίες σε χαμηλότερη τιμή από την τιμή αγοράς.

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζονται οι διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση. Επικρατεί μείωση στα έξοδα των βιομηχανιών που επαναχρησιμοποιούν στοιχεία που χρειάζονται ως πρώτη ύλη ή/και αγοράζουν από άλλες βιομηχανίες. Για το λόγο αυτό, η 1^η βιομηχανία η οποία μόνο πουλάει δεν έχει κάποια μείωση στα έξοδά της ενώ η 5^η βιομηχανία έχει τη μεγαλύτερη μείωση καθώς όπως είδαμε και στο προηγούμενο ραβδόγραμμα επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση (7.049.766\$), καθώς προμηθεύεται από τις πρώτες ύλες που απαιτούνται από την επαναχρησιμοποίηση και από την αγορά τους από άλλες βιομηχανίες.



Εικόνα 6.2.1.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση.



Εικόνα 6.2.1.6.: Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος.

Το τελευταίο διάγραμμα αφορά το ποσοστιαίο συνολικό κέρδος το οποίο προκύπτει διαιρώντας το άθροισμα του ποσού εξοικονόμησης και του ποσού κέρδους*, με τα αρχικά έξοδα. Παρόλο, που η 5^η βιομηχανία καταφέρνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση, τα αρχικά της έξοδα είναι πολύ υψηλά και βρίσκεται σε χαμηλότερο ποσοστό από την 4^η, η οποία καταφέρνει χαμηλότερη εξοικονόμηση αλλά τα αρχικά της έξοδα είναι πολύ πιο χαμηλά και συνεπώς βρίσκεται σε υψηλότερο ποσοστό.

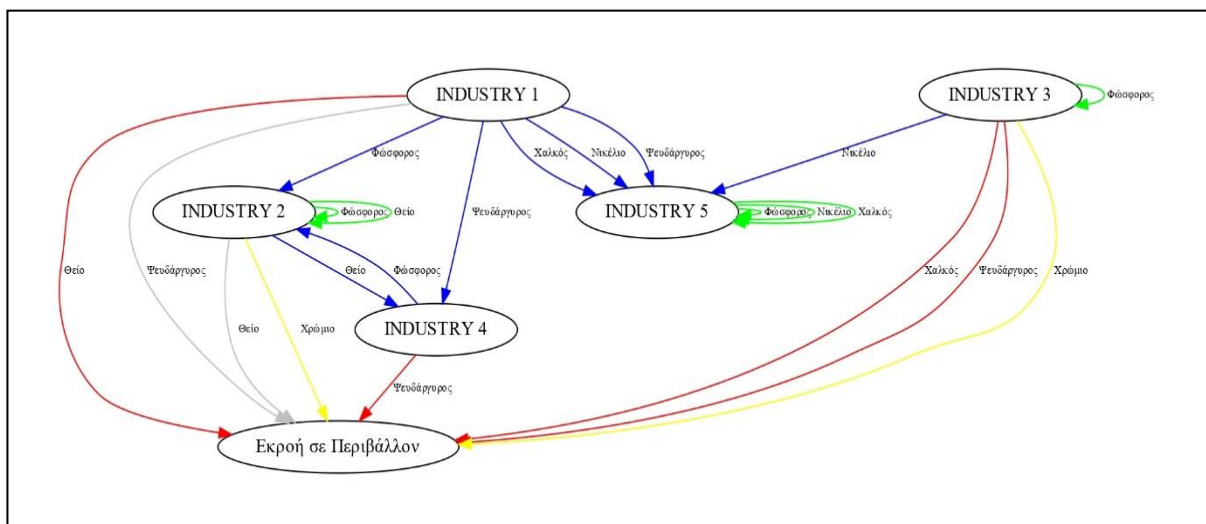
(*Για το συγκεκριμένο σενάριο θα ισούται με μηδέν καθώς το ποσοστό πώλησης είναι μηδενικό άρα και το ποσοστό κέρδους για τον «πωλητή».)

6.2.2. Σενάριο 2^ο – Ποσοστό πώλησης 0,6%

Στο πρώτο σενάριο με ποσοστό πώλησης 0,6 %, ο κώδικας μας επιστρέφει τα εξής αποτελέσματα στη γραμμή εντολών :

```
C:\Users\User\Desktop\thesis IS\0.60>python isidora.py
INDUSTRY 2 can reuse 84.0kg Φώσφορος
INDUSTRY 2 can reuse 100000.0kg Θείο
INDUSTRY 3 can reuse 132.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 90.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 40.15kg Νικέλιο
INDUSTRY 5 can reuse 43.8kg Χαλκός
INDUSTRY 1 can sell 136.64kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 0.74$ per kg
INDUSTRY 4 can sell 63.0kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 0.74$ per kg
INDUSTRY 2 can sell 5000.0kg Θείο to INDUSTRY 4 at 0.62$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 300000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 4 at 0.62$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 157500.0kg Χαλκός to INDUSTRY 5 at 0.62$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 210000.0kg Νικέλιο to INDUSTRY 5 at 0.67$ per kg
INDUSTRY 3 can sell 28000.0kg Νικέλιο to INDUSTRY 5 at 11.68$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 800000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 5 at 0.62$ per Kg
C:\Users\User\Desktop\thesis IS\0.60>
```

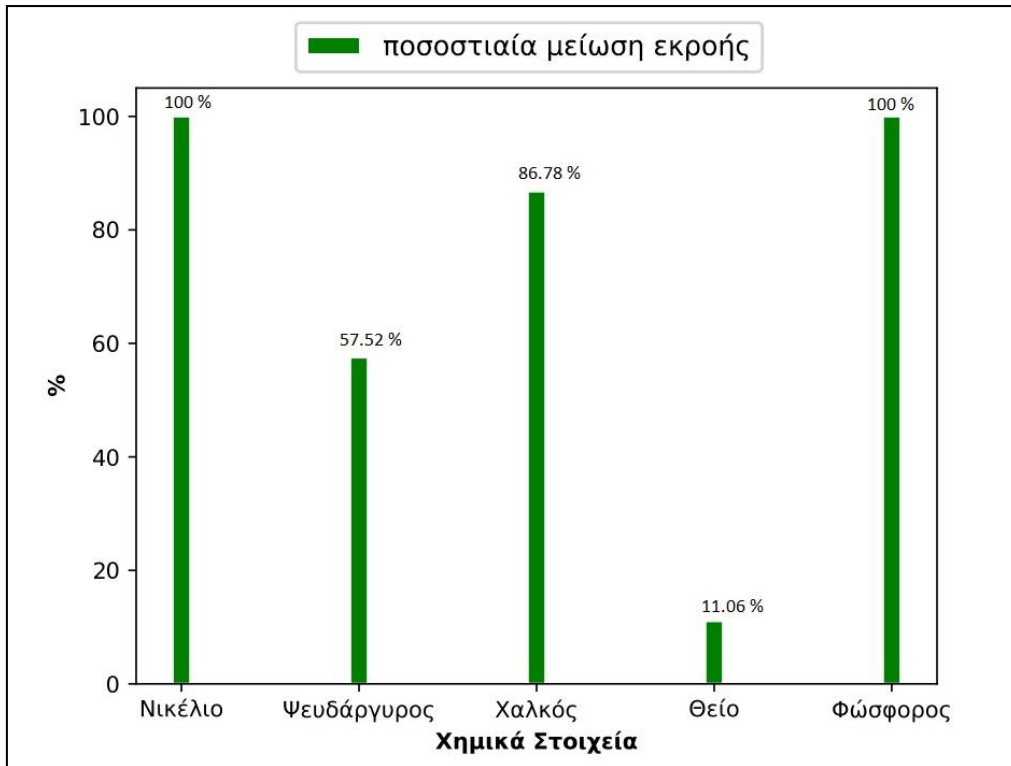
Και εξάγει τα παρακάτω γραφήματα :



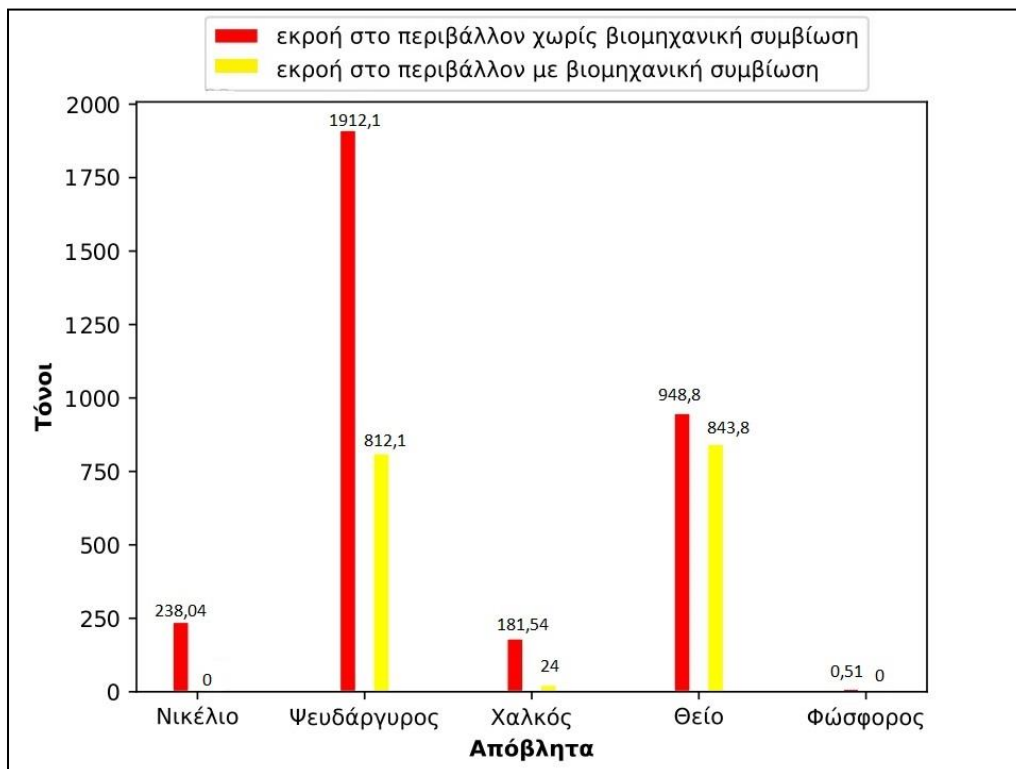
Εικόνα 6.2.2.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.

	Κόστος ανάκτησης > Τιμή αγοράς
	Δεν υπάρχει αγοραστής
	Επαναχρησιμοποίηση
	Αγοραπωλησία μεταξύ βιομηχανιών
	Περίσσεια ποσότητας μετά από αγοραπωλησία ή επαναχρησιμοποίηση
INDUSTRY 1	Παραγωγής Χαρτοπολτού
INDUSTRY 2	Βυρσοδεψείο
INDUSTRY 3	Κλωστοϋφαντουργίας
INDUSTRY 4	Παραγωγής ελαστικών προϊόντων
INDUSTRY 5	Παραγωγής & επεξεργασίας κραμάτων χαλκού

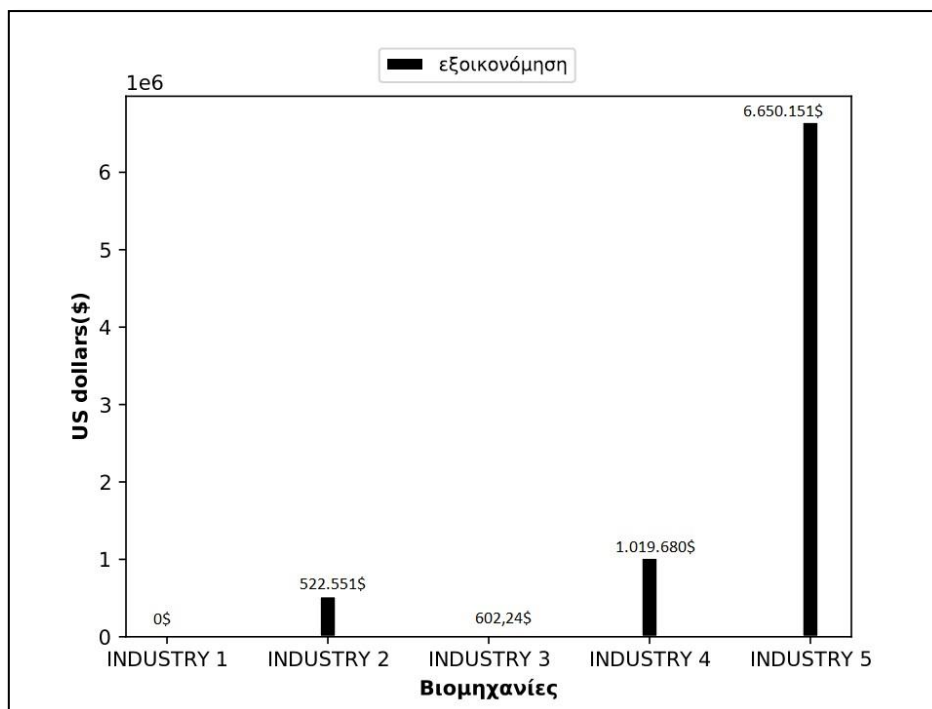
Στο συγκεκριμένο σενάριο οι διαδρομές σύνδεσης παραμένουν οι ίδιες όπως στο προηγούμενο. Συνεπώς, αυτό το ποσοστό πώλησης δε θα επιφέρει αλλαγές στις εκροές των προϊόντων, όπως φαίνεται στις εικόνες 5.2.2.2 & 5.2.2.3, παρά μόνο στα κέρδη των βιομηχανιών-πωλητών και στην εξοικονόμηση των βιομηχανιών-αγοραστών.



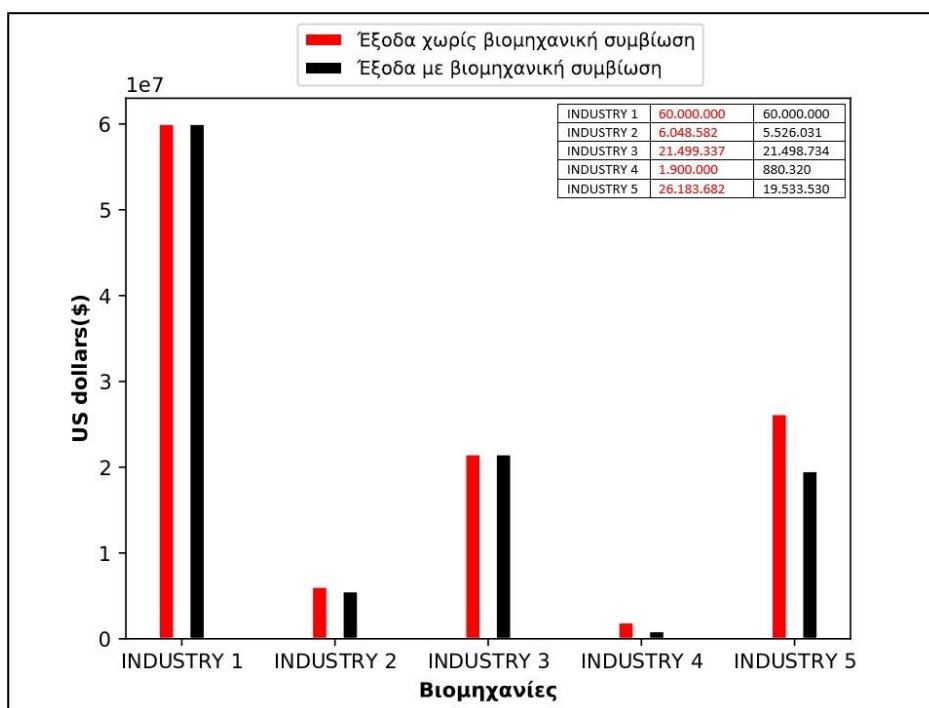
Εικόνα 6.2.2.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.



Εικόνα 6.2.2.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.

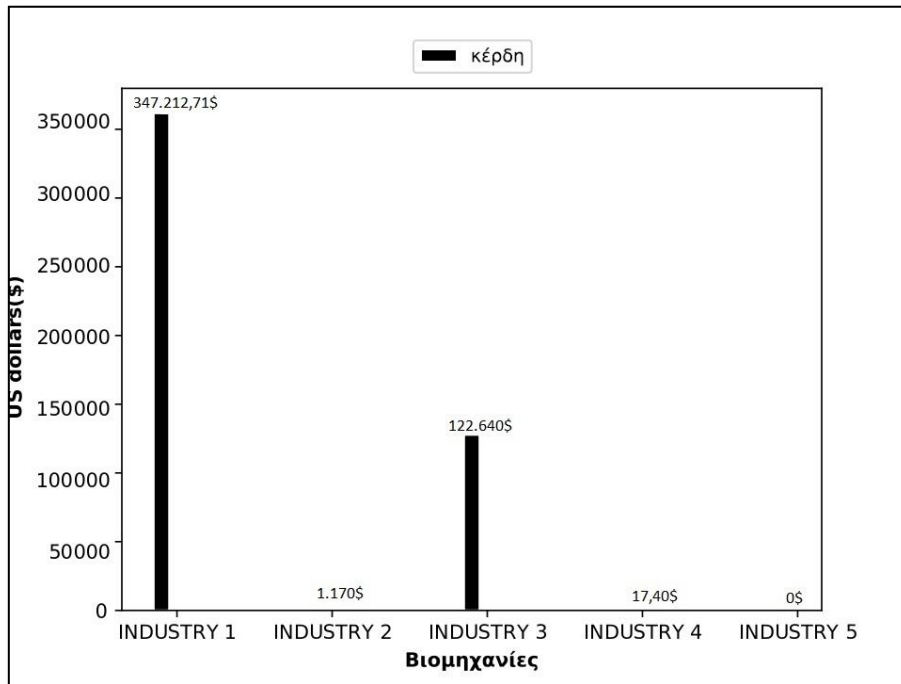


Εικόνα 6.2.2.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας σεναρίου, με ποσοστό πώλησης 0,6 %.



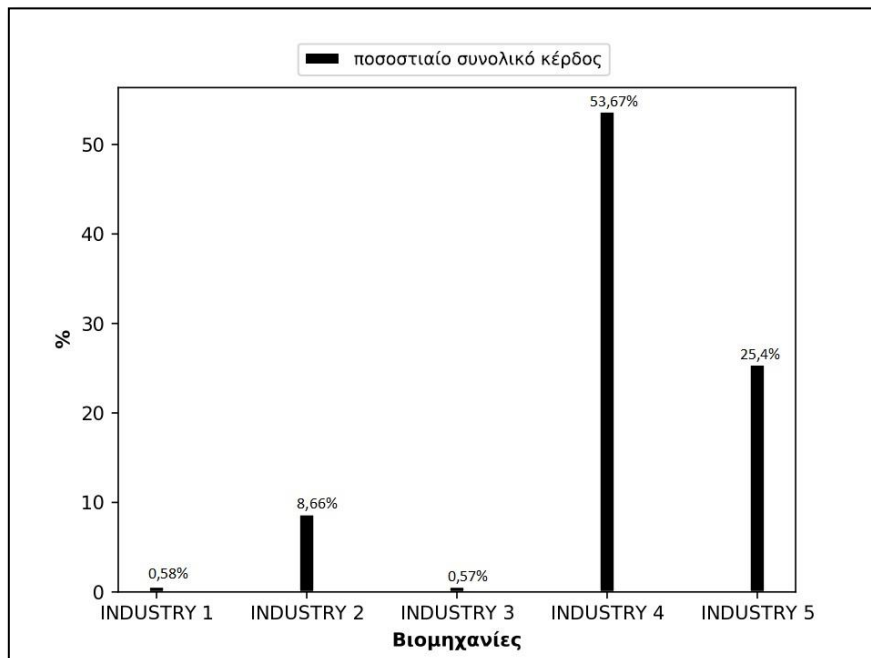
Εικόνα 6.2.2.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.

Στις εικόνες 6.2.2.4 & 6.2.2.5, όπως και στο προηγούμενο σενάριο, η 1^η βιομηχανία δεν εξοικονομεί καθώς ούτε επαναχρησιμοποιεί αλλά ούτε μπορεί να αγοράσει από κάποια άλλη βιομηχανία. Η 5^η βιομηχανία επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση καθώς είναι η μόνη που επιτυγχάνει μηδενική εκροή στο περιβάλλον.



Εικόνα 6.2.2.6 : Κέρδη κάθε βιομηχανίας-πωλητή, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.

Η πρώτη και η τρίτη βιομηχανία διαθέτουν τις μεγαλύτερες ποσότητες προς πώληση, για αυτό έχουν τα περισσότερα κέρδη. Η δεύτερη και η τέταρτη πωλούν 5 τόνους προϊόντος και μόλις 64 κιλά αντίστοιχα, για αυτό και εμφανίζουν ελάχιστα κέρδη.



Εικόνα 6.2.2.7 : Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 0,6 %.

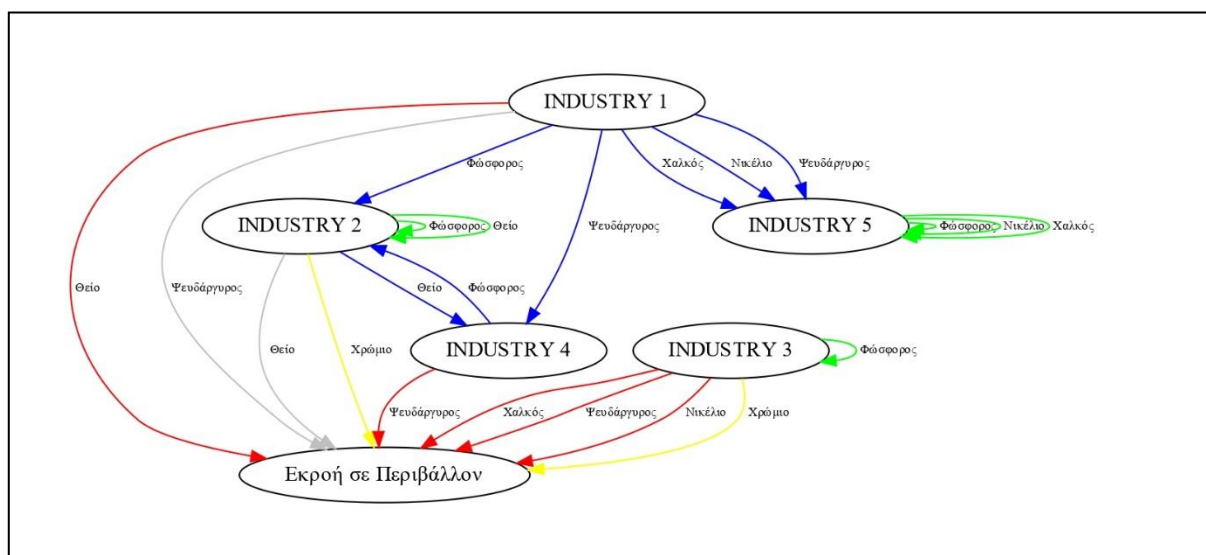
Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται μια αντίστροφη εικόνα καθώς λαμβάνονται υπόψη η εξοικονόμηση και τα αρχικά έξοδα, τα οποία για τις βιομηχανίες 1 & 3 είναι υψηλά, έχουν κάποιο κέρδος από αγοραπωλησία αλλά πραγματοποιούν ελάχιστη έως μηδενική εξοικονόμηση.

6.2.3. Σενάριο 3^ο – Ποσοστό πώλησης 1,2%

Στο πρώτο σενάριο με ποσοστό πώλησης 1,2 %, ο κώδικας μας επιστρέφει τα εξής αποτελέσματα στη γραμμή εντολών :

```
C:\Users\User\Desktop\thesis IS\1.2>python isidora.py
INDUSTRY 2 can reuse 84.0kg Φώσφορος
INDUSTRY 2 can reuse 100000.0kg Θείο
INDUSTRY 3 can reuse 132.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 90.65kg Φώσφορος
INDUSTRY 5 can reuse 40.15kg Νικέλιο
INDUSTRY 5 can reuse 43.8kg Χαλκός
INDUSTRY 1 can sell 136.64kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 1.01$ per kg
INDUSTRY 4 can sell 63.0kg Φώσφορος to INDUSTRY 2 at 1.01$ per kg
INDUSTRY 2 can sell 5000.0kg Θείο to INDUSTRY 4 at 0.86$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 300000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 4 at 0.86$ per Kg
INDUSTRY 1 can sell 157500.0kg Χαλκός to INDUSTRY 5 at 0.86$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 210000.0kg Νικέλιο to INDUSTRY 5 at 0.92$ per kg
INDUSTRY 1 can sell 800000.0kg Ψευδάργυρος to INDUSTRY 5 at 0.86$ per Kg
C:\Users\User\Desktop\thesis IS\1.2>
```

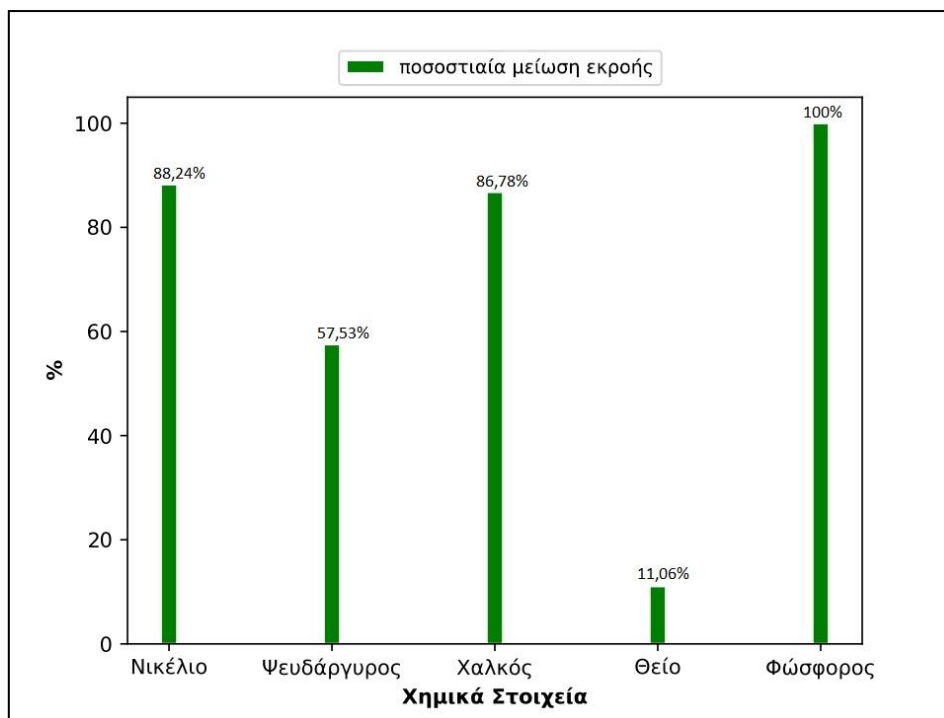
Και εξάγει τα παρακάτω γραφήματα :



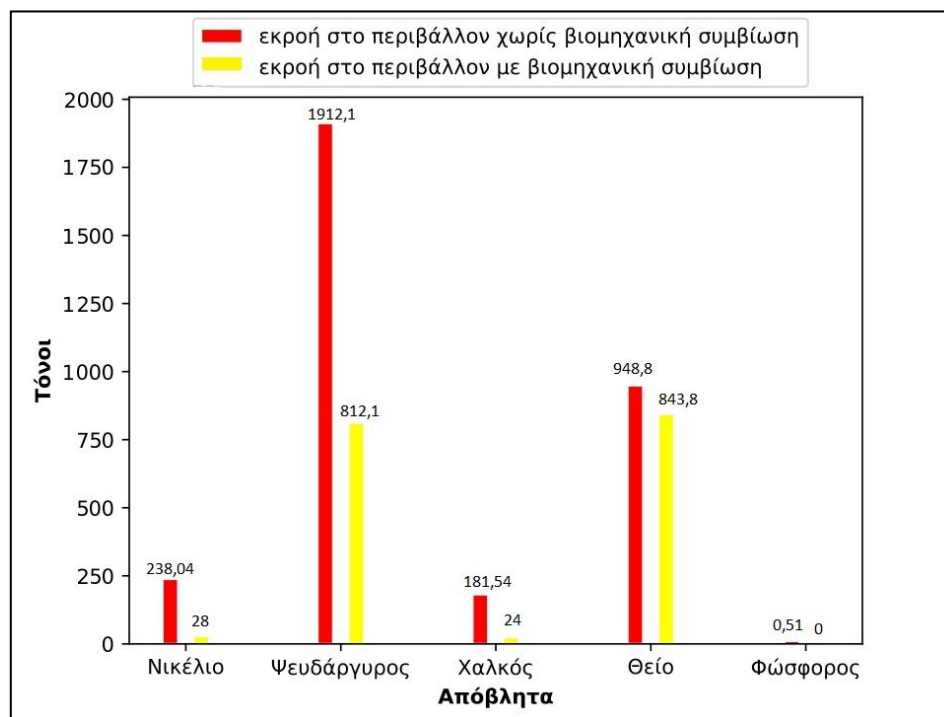
Εικόνα 6.2.2.1. Διαδρομές Σύνδεσης (Pathways) σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.

	Κόστος ανάκτησης > Τιμή αγοράς
	Δεν υπάρχει αγοραστής
	Επαναχρησιμοποίηση
	Αγοραπωλησία μεταξύ βιομηχανιών
	Περίσσεια ποσότητας μετά από αγοραπωλησία ή επαναχρησιμοποίηση
INDUSTRY 1	Παραγωγής Χαρτοπολτού
INDUSTRY 2	Βυρσοδεψείο
INDUSTRY 3	Κλωστοϋφαντουργίας
INDUSTRY 4	Παραγωγής ελαστικών προϊόντων
INDUSTRY 5	Παραγωγής & επεξεργασίας κραμάτων χαλκού

Στο συγκεκριμένο σενάριο, οι διαδρομές σύνδεσης παραμένουν σχεδόν οι ίδιες όπως στα προηγούμενα, με μόνη εξαίρεση μία επιπλέον εκροή στο περιβάλλον, αυτή του νικελίου, λόγω μη συμφέρουσας ανάκτησης. Συνεπώς, αυτό το ποσοστό πώλησης θα επιφέρει μικρές αλλαγές στο σύνολο των εκροών και πιο σημαντικές στα κέρδη των βιομηχανιών-πωλητών και στην εξοικονόμηση των βιομηχανιών-αγοραστών.

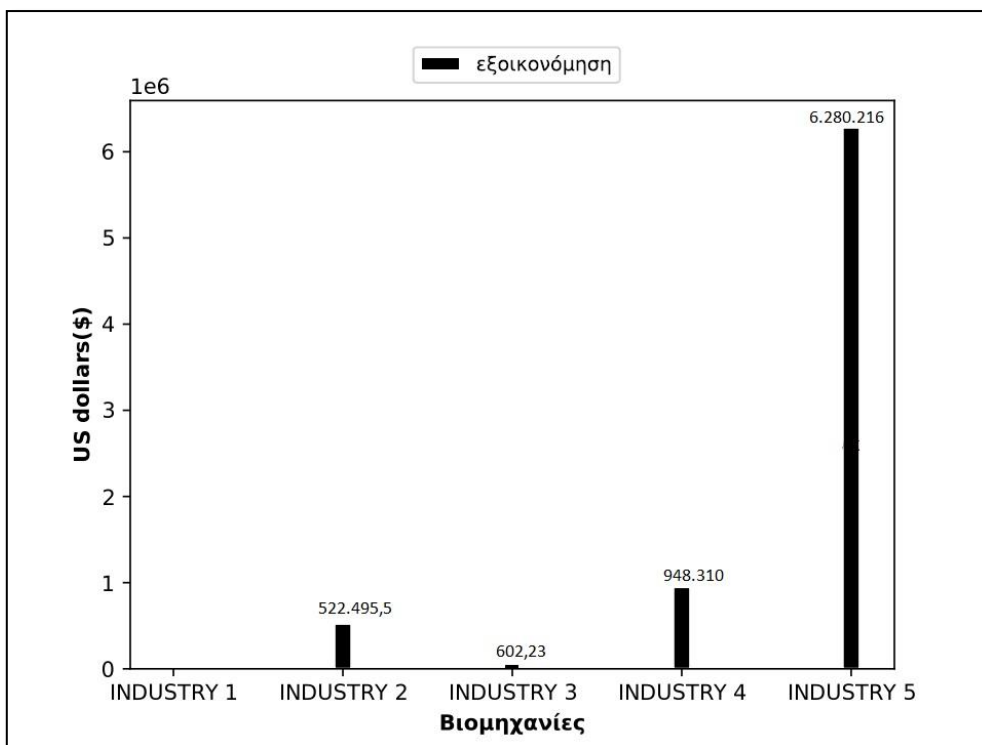


Εικόνα 6.2.3.2 : Ποσοστιαία μείωση εκροής χημικών στοιχείων, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2%.

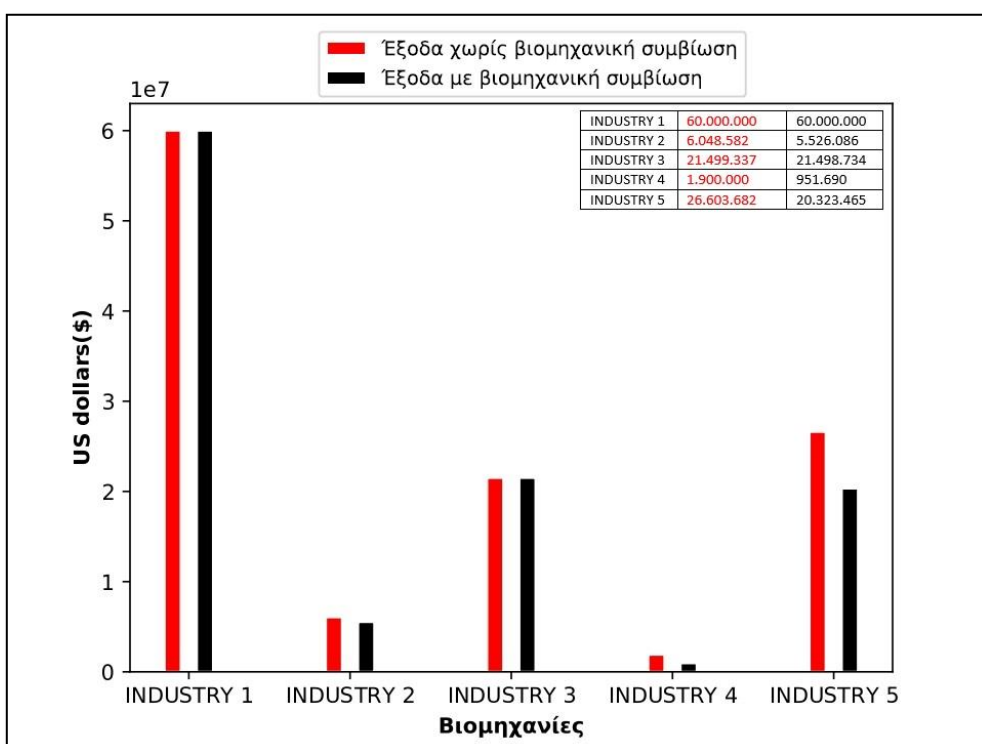


Εικόνα 6.2.3.3 : Διαφορές στην εκροή στο περιβάλλον πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.

Όπως προαναφέρθηκε, δεν πραγματοποιείται πλέον πλήρης εκμετάλλευση του νικελίου και έτσι, γίνεται εκροή στο περιβάλλον 28 τόνων.

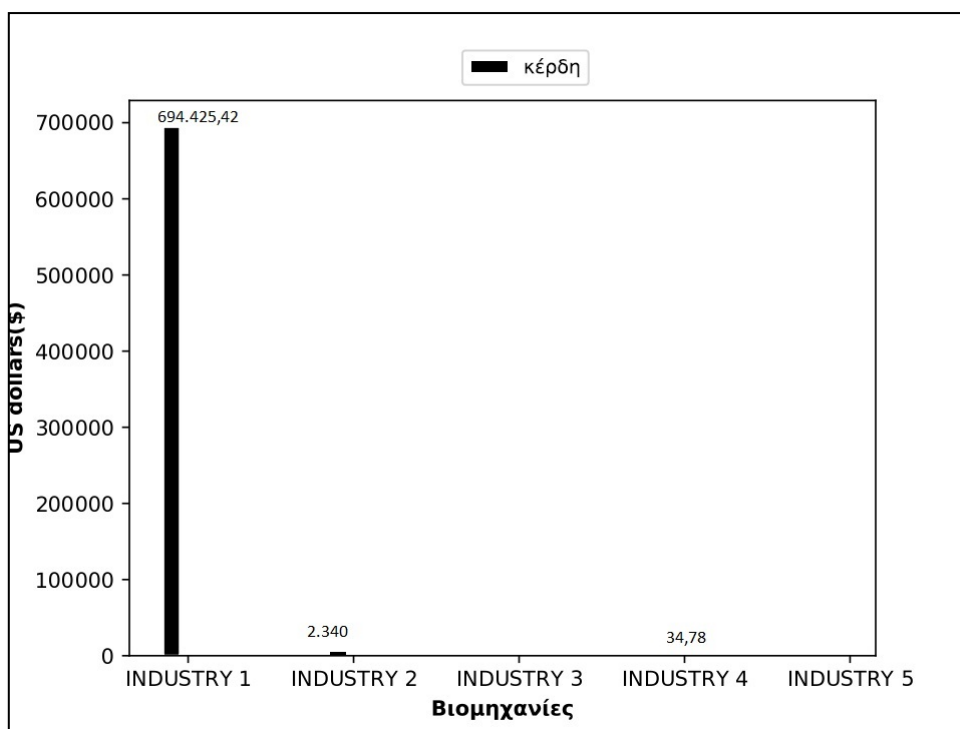


Εικόνα 6.2.2.4 : Εξοικονόμηση κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.

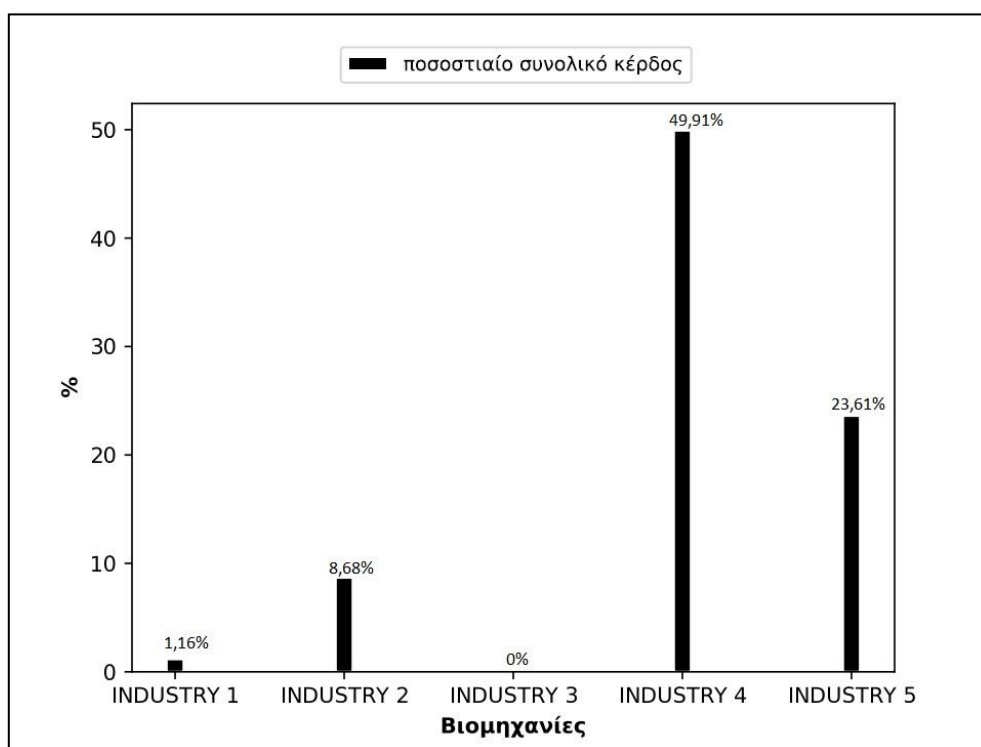


Εικόνα 6.2.3.5 : Διαφορές στα έξοδα κάθε βιομηχανίας πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.

Παρατηρείται μείωση στην εξοικονόμηση των βιομηχανιών που πραγματοποιούν αγοραπωλησίες λόγω της αυξημένης τιμής πώλησης.



Εικόνα 6.2.3.6 : Κέρδη κάθε βιομηχανίας, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.



Εικόνα 6.2.3.7 : Ποσοστιαίο συνολικό κέρδος, σεναρίου με ποσοστό πώλησης 1,2 %.

Τα κέρδη για τις βιομηχανίες-πωλητές είναι υψηλότερα καθώς αυξήθηκε η τιμή πώλησης, εκτός από την 3^η βιομηχανία που πλέον δεν τη συμφέρει να πραγματοποιήσει ανάκτηση νικελίου και δεν προχωρά σε αγοραπωλησία.

6.3. Αξιολόγηση συμβιωτικών σεναρίων

Σύμφωνα με τα συνολικά αποτελέσματα του πίνακα 6.3.1., συμπεραίνουμε ότι η διαφορά των εκροών πριν & μετά τη βιομηχανική συμβίωση και η ποσοστιαία μείωση της εκροής των χημικών στοιχείων είναι αλληλένδετα μεγέθη και εξαρτώνται από τις επιτεύξιμες συναλλαγές και από την παραγόμενη ποσότητα υγρών αποβλήτων σε συνδυασμό με την επικρατούσα ζήτηση χημικών στοιχείων από τις βιομηχανίες. Συνεπώς, στη μελέτη περίπτωσης, και όσον αφορά τις συμφέρουσες ανακτήσεις, η παραγωγή του νικελίου και του φωσφόρου ήταν υψηλή χωρίς να ξεπερνάει όμως τη ζήτηση ώστε να υπάρχουν εκροές στο περιβάλλον λόγω περίσσειας. Στην περίπτωση του ψευδαργύρου και του θείου η ζήτηση ήταν μικρότερη σε σχέση με την παραγωγή σε σχέση με του χαλκού που ήταν μεγαλύτερη. Στα δύο πρώτα σενάρια με ποσοστά πώλησης 0% & 0,6%, οι ποσότητες των εκροών παραμένουν οι ίδιες ενώ στο τρίτο σενάριο, με ποσοστό πώλησης 1,2% έχουν αυξηθεί κατά 28 τόνους λόγω μη συμφέρουσας ανάκτησης του νικελίου. Σε περίπτωση που υπήρχαν περισσότερες βιομηχανίες θα υπήρχαν και περισσότερες πιθανότητες για αγοραπωλησία προκειμένου να αποφευχθούν οι εκροές λόγω περίσσειας ή αδυναμίας εύρεσης αγοραστή.

Η εξοικονόμηση ισοδυναμεί με τη διαφορά των εξόδων πριν και μετά τη βιομηχανική συμβίωση και εξαρτάται από την επαναχρησιμοποίηση ή/και την αγορά προϊόντων και όχι από την πώληση. Και στα τρία σενάρια, η 5^η βιομηχανία επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση καθώς είναι η μόνη που επιτυγχάνει μηδενική εκροή στο περιβάλλον, εφόσον επαναχρησιμοποιεί και αγοράζει τις πρώτες ύλες που χρειάζεται από τις υπόλοιπες βιομηχανίες σε χαμηλότερη τιμή από την τιμή αγοράς, ενώ η 1^η βιομηχανία δεν εξοικονομεί καθόλου καθώς ούτε επαναχρησιμοποιεί αλλά ούτε αγοράζει. Στα δύο πρώτα σενάρια με ποσοστά πώλησης 0% & 0,6%, η εξοικονόμηση παρουσιάζει μικρή μείωση, ενώ στο σενάριο με ποσοστό πώλησης 1,2% η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη λόγω της αύξησης της τιμής πώλησης.

Όσον αφορά τα κέρδη, συμπεραίνουμε ότι αυξάνοντας το ποσοστό πώλησης ευνοούνται οι βιομηχανίες-πωλητές μέχρι το σημείο που η συναλλαγή δε θα είναι πλέον συμφέρουσα για τον αγοραστή, όπως στην περίπτωση της 3^{ης} βιομηχανίας στο τρίτο σενάριο όπου μηδενίστηκαν τα κέρδη της. Ωστόσο, συμπεραίνουμε από την περίπτωση ποσοστιαίου συνολικού κέρδους, ότι ειδικά στην περίπτωση υψηλών αρχικών εξόδων, πρέπει οι βιομηχανίες να πραγματοποιήσουν επαναχρησιμοποίηση, αγορά αλλά και πώληση προϊόντων ώστε να έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιτύχουν το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος.

Πίνακας 6.3.1 : Αποτελέσματα συμβιωτικών σεναρίων με ποσοστό πώλησης 0%-0,6%-1,2%.

	Βιομηχανίες	Εξοικονόμηση (\$)	Έξοδα πριν τη Β.Σ. (\$)	Έξοδα μετά τη Β.Σ. (\$)	Ποσοστιαίο Συνολικό Κέρδος (%)	Κέρδη (\$)	Ποσοστιαία Μείωση Εκροής (%)	Εκροή πριν τη Β.Σ. (tn)	Εκροή μετά τη Β.Σ. (tn)
ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΩΛΗΣΗΣ = 0 %	INDUSTRY 1	0	60.000.000	60.000.000	0	-	Ni - 100 Zn - 57,53 Cu - 86,78 P - 100 S - 11,06	Ni - 238 Zn - 1.912 Cu - 181,5 P - 0,51 S - 949	Ni - 0 Zn - 812 Cu - 24 P - 0 S - 844
	INDUSTRY 2	522.606	6.048.582	5.525.976	8,64				
	INDUSTRY 3	602,24	21.499.337	21.498.734	0,003				
	INDUSTRY 4	1.091.050	1.900.000	808.950	57,42				
	INDUSTRY 5	7.049.766	26.183.682	19.133.915	26,92				
ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΩΛΗΣΗΣ =0,6%	INDUSTRY 1	0	60.000.000	60.000.000	0,58	347.213	Ni - 100 Zn - 57,53 Cu - 86,78 P - 100 S - 11,06	Ni - 238 Zn - 1.912 Cu - 181,5 P - 0,51 S - 949	Ni - 0 Zn - 812 Cu - 24 P - 0 S - 844
	INDUSTRY 2	522.550,63	6.048.582	5.526.031	8,66	1.170			
	INDUSTRY 3	602,23	21.499.337	21.498.734	0,57	122.640			
	INDUSTRY 4	1.019.680	1.900.000	880.320	53,67	17,39			
	INDUSTRY 5	6.650.151	26.183.682	19.533.530	25,4	0			
ΣΕΝΑΡΙΟ ΜΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΩΛΗΣΗΣ =1,2%	INDUSTRY 1	0	60.000.000	60.000.000	1,16	694.425	Ni - 88.24 Zn - 57,53 Cu - 86,78 P - 100 S - 11,06	Ni - 238 Zn - 1.912 Cu - 181,5 P - 0,51 S - 949	Ni - 28 Zn - 812 Cu - 24 P - 0 S - 844
	INDUSTRY 2	522.495,52	6.048.582	5.526.086	8,68	2.340			
	INDUSTRY 3	602,23	21.499.337	21.498.734	0,003	0			
	INDUSTRY 4	948.310	1.900.000	951.690	49,91	34,78			
	INDUSTRY 5	6.280.216	26.603.682	20.323.465	23,61	0			

7. Συμπεράσματα/Περαιτέρω Μελέτη

7.1. Συμπεράσματα

Στην προσπάθεια ανάπτυξης μιας προσέγγισης βασισμένη στην εξαγωγή και εκμετάλλευση υλικών που περιέχονται σε βιομηχανικές ροές υγρών αποβλήτων, δημιουργήθηκε ένα εργαλείο που στοχεύει στη βελτιστοποίηση και τον έλεγχο των σχετικών διαδικασιών, την αξιολόγηση του κόστους και των οφελών τους και τη βοήθεια των ενδιαφερομένων μερών για τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και την εξερεύνηση εναλλακτικών συμβιωτικών σεναρίων που συνδέονται με αναδυόμενες επιχειρηματικές ευκαιρίες.

Υποστηρίζει την ανταγωνιστικότητα και βιωσιμότητα των επιχειρήσεων, εφόσον εξασφαλίζει φθηνές πρώτες ύλες, αντιμετωπίζει την επερχόμενη αύξηση των τιμών των περιορισμένων πρώτων υλών και βοηθάει την εξοικονόμηση κόστους στις Βιομηχανίες. Το νερό και τα υγρά απόβλητα διαδραματίζουν βασικό ρόλο τόσο ως επαναχρησιμοποιήσιμος πόρος, αλλά και ως φορέας ενέργειας και υλικών προς εξαγωγή, επεξεργασία, αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση μέσα σε ένα δυναμικό οικονομικό και επιχειρηματικό προσανατολισμένο βιομηχανικό οικοσύστημα. Η εστίαση του βιομηχανικού κλάδου στη βιώσιμη ανάπτυξη και στην κυκλική οικονομία δημιουργεί σεβασμό στο περιβάλλον, υπεύθυνη επιχειρηματικότητα και συνεκτική κοινωνία. Δημιουργεί ταυτόχρονα νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες, αλλά και απρόσκοπτη πρόσβαση της βιομηχανίας σε φθηνές πρώτες ύλες και υποκατάσταση εισαγωγών.

Από την αξιολόγηση των συμβιωτικών σεναρίων, παρατηρήθηκε ότι σε αντίθεση με την έννοια της πρόληψης της ρύπανσης και των μηδενικών αποβλήτων, η συμβίωση μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα όταν οι βιομηχανικές μονάδες παράγουν μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων. Η κατάσταση αυτή φαίνεται να είναι αντίθετη με την έννοια της οικολογικής απόδοσης και της «πράσινης» εικόνας. Επίσης, το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος μπορεί να επέλθει όταν περισσότερες βιομηχανίες καταφέρνουν ταυτόχρονα να επαναχρησιμοποιούν αλλά και να πραγματοποιούν αγοραπωλησία. Σε περίπτωση που υπήρχαν περισσότερες βιομηχανίες θα υπήρχαν και περισσότερες πιθανότητες για αγοραπωλησία προκειμένου να αποφευχθούν οι εκροές λόγω περίσσειας ή αδυναμίας εύρεσης αγοραστή.

Ανακεφαλαιώνοντας, η υδροκεντρική βιομηχανική συμβίωση ασχολείται με τη συνεργασία μεταξύ των βιομηχανικών μονάδων στη διαχείριση των πόρων, ιδίως των υποπροϊόντων, έτσι ώστε τα υγρά απόβλητα μιας επιχείρησης (outputs) να αποτελούν, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, την είσοδο πρώτων υλών στην άλλη (inputs). Αυτό το μοντέλο "κλειστού βρόχου" βρίσκεται, όπως έχει

προαναφερθεί, στο επίκεντρο της έννοιας της κυκλικής οικονομίας. Επιπλέον, και οι δύο έννοιες έχουν απαιτήσεις και επιπτώσεις που ξεπερνούν την παρακολούθηση και το συντονισμό των ροών των υλικών. Αυτές οι πρόσθετες απαιτήσεις περιλαμβάνουν την καλλιέργεια νέων επιχειρηματικών μοντέλων και την πολιτική στήριξη, καθώς και τη δέσμευση τοπικών κοινοτήτων. Έτσι και οι δύο έννοιες αντιμετωπίζουν την πρόκληση και γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των τεχνικών και κοινωνικοπολιτικών πτυχών της βιομηχανικής ανάπτυξης και προσαρμόζονται στην κλίμακα της εγκατάστασης.

7.2. Περαιτέρω έρευνα

Η διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε και εστίασε κυρίως στην ανάκτηση μετάλλων από υγρά απόβλητα, παρέχει τη δυνατότητα για περαιτέρω έρευνα και ανάλυση. Ενδεικτικά, οι βασικοί άξονες που αφορούν στην εξέλιξη της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι:

- Δημιουργία λίστας με Βέλτιστες Συμβιωτικές Επεμβάσεις, στοχεύοντας στην αύξηση των συμβιωτικών δράσεων και του «κλεισίματος των ανοιχτών ροών», όπως μονάδα αναερόβιας χώνευσης, ολοκληρωμένο δίκτυο ανακύκλωσης αποβλήτων, κεντρική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κοκ. Αυτές οι μονάδες είναι υποστηρικτική υποδομή η οποία θα παρέχεται από τη βιομηχανική περιοχή με σκοπό την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Η δημιουργία σεναρίων και η εξέταση πραγματοποίησης κάποιας βέλτιστης συμβιωτικής επέμβασης, εξαρτάται από τις υφιστάμενες βιομηχανικές μονάδες και τα ρεύματα εισροών και εκροών.
- Ανάπτυξη εφαρμογών μεγάλης κλίμακας έτσι ώστε το εργαλείο να εξετάζεται όχι μόνο σε βιομηχανικές περιοχές αλλά και σε παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον οικονομικούς παράγοντες, όπως το κόστος μεταφοράς.
- Αναβάθμιση του εργαλείου με στόχο την επαναχρησιμοποίηση του νερού αποσκοπώντας στην αποκατάσταση των υδατικών συστημάτων, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.1.
- Αναβάθμιση του εργαλείου με επιπλέον κριτήρια ανταλλαγής υλικών και κόστους επεξεργασίας, με στόχο την ικανοποίηση των αναγκών στην απαιτούμενη ποιότητα των πρώτων υλών.
- Πιθανή κοινή διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων με απόβλητα διαφορετικής προέλευσης.
- Δημιουργία ηλεκτρονικής πλατφόρμας, στην οποία θα καταγράφονται οι δυνατότητες αξιοποίησης των υποπροϊόντων ανά κατηγορία, υποβοηθώντας κατ' αυτό τον τρόπο τον ορθολογικό σχεδιασμό των επιχειρηματικών δικτύων ανταλλαγής ύλης. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι προαπαιτούμενη η συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων (επιχειρηματιών και διοίκησης), ώστε να δημιουργηθεί ένας κοινός κώδικας επικοινωνίας.

8. Βιβλιογραφία

- *Synthesis of industrial park water reuse networks considering treatment systems and merged connectivity options* Sabla Y. Alnouria,b, Patrick Linkea,c, Mahmoud M. El-Halwagi, 2016
- *Accounting for central and distributed zero liquid discharge options in interplant water network design* Sabla Y. Alnouri a, Patrick Linke a, *, Mahmoud M. El-Halwagi, 2017
- *D. Van Beers, 2009, Application of the cleaner production framework to the development of regional synergies in heavy industrial areas: a case study of Kwinana (Western Australia)*
- *Frosch, R. A. and Gallopoulos, N. E. (1989) Strategies for manufacturing. Scientific American,*
- *Jelinski, L. W., T. E. Graedel, R. A. Laudise, D. W. McCall, and K. N. Patel. 1992.*
- *Industrial Ecology: Concept and Approaches. . Proc. Natl. Acad. Sci. 89.*
- *Lifset, R. and T. Graedel. 2002. Industrial Ecology: Goals and Definitions. In*
- *Handbook of Industrial Ecology, edited by R. Ayres and L. Ayres.*
- *Roberts, B. H. 2004. Application of Industrial Ecology Principles and Planning Guidelines for the Development of Eco-Industrial Parks: an Australian Case Study. Journal of Cleaner Production 12: 997 - 1010.*
- *Cheltenham, UK: Edward Elgar Publications.*
- *Industrial Symbiosis in Helsingborg, (2013): Filip Celandar, Ricard Enquist, Klara Friman, Pernilla Karlsson, Emilia Lundqvist, Anna Persson, Elin Rudolfsson, Alexandra Sterne, Linnéa Svanström, Marie Öhnerud*
- *Accounting for central and distributed zero liquid discharge options in interplant water network design- Sabla Y. Alnouri a, Patrick Linke a, *, Mahmoud M. El-Halwagi*
- *Duchin, F. (1991) Industrial input-output analysis: Implications for industrial ecology*
- *Duchin, F. (1990) Struct. Change Econ. Dyn. 1*
- *«Input-output models and waste management analysis: A critical review», Edgar Towa*, Vanessa Zeller, Wouter M.J. Achten, 2019*
- *Kurup, B., Altman, W. and Van Berkel, R. (2005) Triple bottom line accounting applied for industrial symbiosis. Australian Life Cycle Assessment Society Conference. Sydney, Australia.*
- *Lombardi, D.R., Laybourn, P., (2012). Redefining industrial symbiosis. J. Ind. Ecol. 16.*
- *Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. Annual Review of Energy and the Environment*
- *Chertow, M. R. (2007). “Uncovering” Industrial Symbiosis. Journal of Industrial Ecology,*
- *Ayres, R. U. (1989). Industrial metabolism. In Technology and the environment, edited by J. H. Ausubel and H. E. Sladovich. Washington, DC: National Academy Press.*

- Διεθνείς εμπορευματικές συναλλαγές, *Statistics Explained, Statistical article, (2016)*
- Λοϊζίδου Μ. (2014). «Η βιομηχανική συμβίωση ως μοχλός βιώσιμης ανάπτυξης»
- Μουρτσιάδης ,(2012), «Διερεύνηση δυνατοτήτων βιομηχανικής συμβίωσης σε υφιστάμενες Βιομηχανικές Περιοχές - η περίπτωση της ΒΙ.ΠΕ. Ιωαννίνων»
- Ζαχαριάδου Α., «Κυκλική Οικονομία , Είναι η λύση για βιώσιμη τοπική ανάπτυξη;» (2018)
- Φλόρι Κ., «Βιομηχανική συμβίωση: Ένα μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης και αξιολόγησης δράσεων» (2015)
- Καρακατσάνης Γ., «Ανάπτυξη υποδειγμάτων τεχνολογικής χρηματοδοτικής βάσει οίκο-εξεργειακής ανάλυσης» (2007)
- Βήκας Ι. «Η Συμβολή Της Πράσινης Επιχειρηματικότητας Στη Βελτίωση Της Ανταγωνιστικότητας Των Βιομηχανικών Περιοχών Της Χώρας», (2014)
- Ροντογιάννη Ε., «Ανάκτηση Αζώτου Και Φωσφόρου Σε Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων» (2012)
- Αναγνώστου Θ. «Επιχειρηματικό Σχέδιο Πλατφόρμας Βιομηχανικής Συμβίωσης e-Symbio» (2017)
- Αθανίδης Ν. «Η Κυκλική Οικονομία των προϊόντων και η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων τους» (2017)
- European Commission, *Press release, environment and circular economy(2014), circular economy strategy (2014), Δέσμη μέτρων για την κυκλική οικονομία(2015).*
- Εθνική Στρατηγική Για Την Κυκλική Οικονομία, Δεκέμβριος 2018
- Διεθνείς εμπορευματικές συναλλαγές, *Statistics Explained, Statistical article, (2016) eurostat, ec.europa.eu.*
- *Industrial ecology and industrial ecosystems, Ernest A. Lowe and Laurence K. Evans*
- Albino, V., C. Garavelli, R. Dangelico, (2016). *Industrial Symbiosis and Input-output Analysis.*
- Α. Βλυσίδα, Σ. Μαη, Ε. Μπαραμπούτη (2015.) *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, Εκδόσεις: Ι.Σιδέρης*
- <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy>
- <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/ce-sc5-04-2019>
- <http://ekraa.ypeka.gr/-ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ-Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ>
- <http://www.symbiosis.dk/en/>