



ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ



**ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ
ΙΩΑΝΝΑ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ	6
2.1 Ορισμός Κυκλικής οικονομίας	6
2.2 Βασικές αρχές και Διαδικασίες της Κυκλικής οικονομίας	7
2.3 Σύγκριση Κυκλικής οικονομίας με ανακύκλωση και την αειφόρο ανάπτυξη	8
2.4 Σύγκριση Κυκλικής οικονομίας με Πράσινη οικονομία και Βιο-Οικονομία	9
2.5 Επιρροές της Κυκλικής οικονομίας	13
2.6 Ιστορία της έννοιας της Κυκλικής οικονομίας	14
2.7 Στόχοι της Κυκλική οικονομίας	15
2.8 Από γραμμικό μοντέλο σε κυκλικό μοντέλο	15
3. ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ ΚΥΚΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	19
3.1 Απόβλιττα μηχανουργείου	20
3.2 Ιεράρχηση επιλογών για διαχείριση αποβλήτων	21
3.3 Μέταλλα μηχανουργικών διαδικασιών	22
3.4 Οφέλη ανακύκλωση μετάλλων	24
3.5 Κατηγορίες αποβλήτων μετάλλων μηχανουργικών διαδικασιών	25
3.6 Διαχείριση ανάλογα με το είδος του μεταλλικού αποβλήτου	25
3.7 Μεθοδολογία για προϊόντα κατά την κατασκευή τους στο μηχανουργείο	26
3.8 Οδηγίες για τα προϊόντα	29
3.9 Πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων	29
3.10 Μεθοδολογίες ανακύκλωσης μετάλλων	30
3.11 Μέταλλα, κράματα μετάλλων και διαλογή	30
3.12 Μέθοδος τήξης μετάλλου	32
3.13 Μέθοδος συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο	34
3.14 Μέθοδος πυροσυσσωμάτωσης	41
3.15 Προσθετική κατασκευή	42
3.15.1 Εφαρμογές της προσθετικής παραγωγής στην βιομηχανία που αντικαθιστούν τις συμβατικές μεθόδους	47
3.15.2 Όρια συμμετοχής της προσθετικής παραγωγής στην βιομηχανία	48
3.15.3 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης γραμμικών συστημάτων και προσθετικών μεθόδων παραγωγής με Κυκλική οικονομία	49
3.16 Ατελής ανακύκλωση μετάλλων	49
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ	50
4.1 Μοντέλο μέτρησης Κυκλικής οικονομίας	52
5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ	56
5.1 Βιομηχανικό Πάρκο Δανίας	56
5.2 Μελέτη της Κυκλική οικονομία στην Κίνα	59
5.2.1 Κινεζικές αρχές, οργάνωση και επιτήρηση εφαρμογής της Κυκλικής οικονομίας	60
5.2.2 Νομοθεσία και μέτρα στην ανακατασκευαστική βιομηχανία	62
5.2.3 Βιομηχανικά πάρκα στην Κίνα	66
5.2.4 Χαρακτηριστικά του βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης	68
5.2.5 Μορφή βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης	71
6. Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	75
6.1 Ορθή οικονομική διαχείριση	76
6.2 Κυκλική οικονομία στη βιομηχανία	76
6.3 Υγρά απόβλητα	77
6.4 Απαλλαγή από τοξικές ουσίες	77

6.5 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	78
6.6 Δημιουργία εύρυθμης ενωσιακής αγοράς για δευτερογενείς πρώτες ύλες	78
6.7 Αντιμετώπιση των εξαγωγών αποβλήτων από την Ευρωπαϊκή Ένωση	79
6.8 Εκτέλεση και εφαρμογή του σχεδίου	80
6.8.1 Μελλοντικά προηγμένη παραγωγή σε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων	80
6.8.2 Βιώσιμη κατανάλωση	82
6.8.3 Συνεργασία ανακύκλωση / επαναχρησιμοποίηση	82
7. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ	84
8.ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΥΝΟΨΗ	90
9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στο τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Μικροκοπής & Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) κατά το έτος 2021.

Αρχικά θα ήθελα να πω ένα βαθύ ευχαριστώ σε όλους μου τους καθηγητές που πέντε χρόνια τώρα μοιράστηκαν την τεχνογνωσία τους, και την εμπειρία τους. Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Αριστομένη Αντωνιάδη που δέχτηκε να γίνω μέλος του εργαστηρίου, που με καθοδηγούσε κατά την διάρκεια της φοίτησής μου αλλά και της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, παρά τις τεχνικές δυσκολίες που εμφανιστήκαν λόγω της νόσου του κορονοϊού. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Αναστασία Κατσαμάκη που μου έδωσε την ευκαιρία να εκπονήσω αυτήν την διπλωματική, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε να μου επισημάνει σημαντικά στοιχεία και επεξηγήσεις πάνω στο θέμα, αλλά και για την βοήθεια που ποτέ δεν δίστασε να μου προσφέρει.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω πολύ την οικογένεια μου και ιδιαίτερα την μητέρα μου Σοφία Νικολαΐδου, την αδελφή μου Ελένη Κοντογιάννη, οι οποίες υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για εμένα και στις οποίες οφείλω την διαδρομή των σπουδών μου.

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αναμόρφωση των γραμμικών διαδικασιών σε μηχανουργικές κατεργασίες σύμφωνα με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας. Στόχος είναι να διερευνηθούν οι κατεργασίες, οι μέθοδοι και τα μοντέλα προς αντικατάσταση των παραδοσιακών μέσων παραγωγής, δηλαδή των γραμμικών διεργασιών, με πιο σύγχρονες μεθόδους φιλικότερες προς το περιβάλλον. Οι παραδοσιακές μηχανουργικές κατεργασίες χρησιμοποιούν μέταλλα και άλλα υλικά τα οποία έχουν προέλθει από εξόρυξη, κατεργάζονται με διάφορες μεθόδους και στο τελικό στάδιο παραγωγής τους τα απόβλητα διοχετεύονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η Κυκλική οικονομία έχει σαν στόχο να κλείσει τον κύκλο παραγωγής τροποποιώντας τις διεργασίες σε ένα μηχανουργείο ώστε να υλοποιούνται σε ένα επαναλαμβανόμενο κυκλικό μοτίβο. Δηλαδή τα απόβλητα θα ανακυκλώνονται και θα επαναχρησιμοποιούνται ανατροφοδοτώντας την παραγωγική διαδικασία περιορίζοντας τη σπάταλη των πρωτογενών υλικών.

Η Κυκλική οικονομία είναι ένα καινοτόμο επιχειρησιακό μοντέλο το οποίο επαναπροσδιορίζει τις συνήθειες των συστημάτων παραγωγής και επανασχεδιάζει τις βιομηχανικές διεργασίες ώστε να επαναχρησιμοποιούνται οι πρώτες ύλες στο βέλτιστο δυνατό επίπεδο και να ελαττώνονται οι εκπομπές βλαβερών ουσιών. Μέσω της Κυκλικής οικονομίας δύναται να επιτευχθεί οικονομική ανάπτυξη μιας παραγωγικής μονάδας χωρίς να απαιτείται αύξηση της κατανάλωσης των πόρων υιοθετώντας πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον. Ενσωματώνει έννοιες όπως η βιομηχανική οικολογία, ο βιομηχανικός μεταβολισμός και η βιομηχανική συμβίωση πολλών μονάδων παραγωγής. Επιχειρησιακά μοντέλα, όπως αυτό της Κυκλικής οικονομίας, επιδιώκουν την οικονομική ανάπτυξη επιχειρήσεων κάνοντάς τις περισσότερο επικερδείς χωρίς όμως να επιβαρύνεται το περιβάλλον. Συνεπώς, η υλοποίηση του μοντέλου της Κυκλικής οικονομίας προσκομίζει οφέλη εξίσου σημαντικά για τις επιχειρήσεις, το περιβάλλον και την κοινωνία.

Η διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε αρχικά εξετάζει βιβλιογραφικά το νέο μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας, τους στόχους, τις αρχές, την ιστορική εξέλιξη μέσα στις τελευταίες δεκαετίες και τη διαφοροποίησή του από άλλα βιομηχανικά μοντέλα που προϋπήρχαν και αφορούσαν το περιβάλλον. Έπειτα παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες οι οποίες αφορούν τον επανασχεδιασμό τόσο των προϊόντων όσο και των μηχανουργικών κατεργασιών που πραγματοποιούνται για την παραγωγή τους με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αφενός μεν ευκολότερη η ανακύκλωση των αποβλήτων και αφετέρου να είναι εύκολο να υλοποιηθεί στην πράξη η παραγωγή των επανασχεδιασμένων προϊόντων με τα διαθέσιμα τεχνικά μέσα. Επιπλέον, παρουσιάζεται η ιεράρχηση των αποβλήτων με βάση την κατανάλωση πόρων, τη δαπανώμενη ενέργεια και τη βιωσιμότητα κατά την παραγωγική διαδικασία. Η ιεραρχία καθορίζεται από τις προτιμώμενες προτεραιότητες για αντικατάσταση βάσει της βιωσιμότητας. Στη συνέχεια, παρατίθεται και μελετάται μια μαθηματική μοντελοποίηση για να είναι εφικτός ο μαθηματικός υπολογισμός του ποσοστού της κυκλικότητας ενός συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να είναι συγκρίσιμη η εφαρμογή των αρχών της κυκλικότητας μέσα στο χρόνο. Έπειτα, εξετάζεται η πρώτη περίπτωση βιομηχανιών που εφάρμοσαν έναν οικολογικό σχεδιασμό βασισμένο στις αρχές της βιομηχανικής οικολογίας στο βιομηχανικό πάρκο της Δανίας στο Kalundborg που αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης καθώς η προσέγγιση αυτή ήταν ιδιαίτερα καινοτόμα για την εποχή της. Το βιομηχανικό πάρκο της Δανίας έθεσε τα θεμέλια για να εφαρμοστούν οι αρχές της Κυκλικής οικονομίας στην Κίνα, η οποία είναι η πρώτη χώρα που την εφάρμοσε οργανωμένα. Το ριζοσπαστικό παράδειγμα της Κίνας μπήκε στο μικροσκόπιο ώστε να διερευνηθούν ποια σημεία λειτουργούν σε ικανοποιητικό βαθμό και ποια σε μικρότερο βαθμό για να προωθηθούν και σε άλλες βιομηχανίες άλλων χωρών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί επίσης έντονα το μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία με στόχο να ελαχιστοποιήσει τις εισαγωγές μετάλλων από άλλες χώρες στο ελάχιστο. Μελετήθηκε ο σχεδιασμός που προωθείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τονίζονται οι προκλήσεις που υπάρχουν και πιθανές λύσεις στα προβλήματα που έχουν ανακύψει. Τέλος, γίνεται μια ανασκόπηση σε όλα τα μοντέλα, συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους και εξάγονται συμπεράσματα.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΕΩΝ

1.2 Ορισμός Κυκλικής οικονομίας

Η παγκόσμια κατανάλωση υλικών όπως βιομάζα, ορυκτά καύσιμα και μέταλλα αναμένεται να διπλασιαστεί τα επόμενα σαράντα χρόνια, ενώ η ετήσια παραγωγή αποβλήτων προβλέπεται να αυξηθεί κατά 70% έως το 2050. Έτσι, έχει ανακύψει η ανάγκη για να αναπτυχθούν μοντέλα με οικολογικό σχεδιασμό στοχεύοντας στην ανακούφιση του περιβάλλοντος από τη βιομηχανική δραστηριότητα. Η Κυκλική οικονομία είναι μια νέα τάση όπου πολλοί επιστήμονες έχουν ξεκινήσει να πραγματεύονται και έχουν δοθεί επίσημα πολλοί ορισμοί για αυτήν. Σε μία νέα τάση τείνει να συγχέεται η σημασία της, και αρκετοί πιστεύουν ότι αυτό οφείλεται και στις πολλές διαστάσεις που περιλαμβάνει η έννοια της Κυκλικής οικονομίας. Ενώ έχουν γραφτεί πολλά άρθρα ανασκόπησης δεν έχει δημοσιευτεί μέχρι στιγμής κάποιος επίσημος ορισμός ή κάποια ολοκληρωμένη ανάλυση σχετικά με τις τρέχουσες αντιλήψεις της Κυκλικής οικονομίας [1].

Σύμφωνα με την πλειοψηφία των ερευνητών στην επιστημονική κοινότητα ο πιο διαδεδομένος ορισμός της Κυκλικής οικονομίας έχει καταγραφεί από το ίδρυμα “Ellen Mac Arthur” [2]:

Η Κυκλική οικονομία βασίζεται σε αρχές όπως ο κατάλληλος σχεδιασμός των αποβλήτων και της ρύπανσης στη βιομηχανική παραγωγή ώστε να είναι ανακυκλώσιμα, η επαναχρησιμοποίηση των υλικών από τα παραγόμενα προϊόντα και η αναγέννηση των φυσικών συστημάτων. Αντικαθιστά την έννοια του «τέλους της ζωής» με την αποθήκευση, μετατοπίζεται προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαλείφει τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών που επηρεάζουν την επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων και στοχεύει στη δημιουργία ανακυκλώσιμων αποβλήτων μέσω του ανώτερου σχεδιασμού υλικών, προϊόντων, συστημάτων και επιχειρηματικών μοντέλων [3].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ορίσει την Κυκλική οικονομία ως μια επιχειρησιακή στρατηγική η οποία επαναπροσδιορίζει τις πρακτικές των συστημάτων παραγωγής, επανασχεδιάζει τις βιομηχανικές διεργασίες για να επαναχρησιμοποιούνται οι πρώτες ύλες, να ελαττώνονται οι βλαβερές ουσίες και να περιορίζονται οι εκπομπές βλαβερών καυσαερίων. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε αειφόρο οικονομική ανάπτυξη δίχως την αύξηση της κατανάλωσης φυσικών πόρων [4].

Η Κυκλική οικονομία ορίζεται γενικότερα ως ένα οικονομικό σύστημα που αντικαθιστά την έννοια «τέλος του κύκλου ζωής» με τη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση, και την ανακύκλωση υλικών στην παραγωγή, στη διανομή και στις διαδικασίες κατανάλωσης διαμορφώνοντας μια κλειστή αλυσίδα. Λειτουργεί σε τρία επίπεδα, ανάλογα με το πλήθος των υποδομών που διαθέτει κάθε βιομηχανία για να διαχειρίζεται τα απόβλητα και την έκταση που καταλαμβάνουν οι εγκαταστάσεις της για αυτή την ενέργεια ως εξής:

- Μικρό-επίπεδο (προϊόντα, εταιρείες, καταναλωτές).
- Μέσο-επίπεδο (οικολογικά βιομηχανικά πάρκα).
- Μακροοικονομικό-επίπεδο (πόλη, περιοχή, έθνος και πέραν αυτού).

Η Κυκλική οικονομία έχοντας σαν στόχο την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης και τη δημιουργία περιβαλλοντικής ποιότητας, οικονομικής ευημερίας και κοινωνικής ισότητας ταυτοχρόνως προς όφελος των σημερινών και των μελλοντικών γενεών, ενεργοποιεί νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τα οποία αποτελούν πόλο έλξης για τις επιχειρήσεις, τα εργοστάσια και τις βιομηχανίες. Με αυτά τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα δεν αντιμετωπίζεται η Κυκλική οικονομία σαν μια ακόμα προσπάθεια διάσωσης του πλανήτη με καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της παραγωγής αλλά σαν μια καινοτόμα επιχειρησιακή μορφή η οποία, όπως θα αποδειχθεί

και στη συνέχεια, είναι οικονομικά αποδοτικότερη από την παραδοσιακή μορφή. Παράλληλα επαναχρησιμοποιούνται οι πρώτες ύλες εφόσον με τον καιρό στερεύουν οι φυσικές πηγές εξόρυξης πρώτων υλών και αναζητούνται νέες εναλλακτικές για τον περιορισμό της πλήρωσης των χώρων υγειονομικής ταφής. Τα βασικά χαρακτηριστικά της γραμμικής και της κυκλικής οικονομίας φαίνονται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Σύγκριση ανάμεσα σε γραμμική και Κυκλική οικονομία.

2.2 Βασικές αρχές και Διαδικασίες της Κυκλικής οικονομίας

Στόχος της Κυκλικής οικονομίας είναι η οικονομική και επιχειρησιακή ανάπτυξη χωρίς την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί η εξάντληση των φυσικών πόρων. Στον πίνακα 2.1 απεικονίζονται οι βασικές αρχές ενός συστήματος που έχει υιοθετήσει την Κυκλική οικονομία.

Βασικές αρχές	Ενέργειες
Μείωση	<ul style="list-style-type: none"> Επανασχεδίαση διαδικασιών. Επανεξέταση παραγωγής προϊόντων. Ελαχιστοποίηση χρήσης περιττών πόρων.
Επαναχρησιμοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> Αναγέννηση αποβλήτων και επαναχρησιμοποίησή τους.
Ανακύκλωση	<ul style="list-style-type: none"> Ανακατασκευή και ανακύκλωση προϊόντων με στόχο την ανάπτυξη ενός κλειστού βρόχου στον κύκλο ζωής τους. Διατήρηση των υλικών και επαναφορά τους στην παραγωγική διαδικασία ώστε να συμβάλουν στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο.
Ανάκτηση	<ul style="list-style-type: none"> Προϊόντων , ανάκτηση ενέργειας.

Πίνακας 2.1: Βασικές αρχές ενός συστήματος που έχει υιοθετήσει την Κυκλική οικονομία.

Ανάλογα με το μέγεθος κάθε συστήματος που μελετάται ποικίλει η διαδικασία αναμόρφωσης των παραδοσιακών γραμμικών μεθόδων με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2.

Σύστημα	Προοπτικές
<i>Μίκρο-σύστημα</i>	Διερεύνηση γύρω από τις αλλαγές που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε επίπεδο προϊόντος, εταιρειών και προτιμήσεων των καταναλωτών.
<i>Μέσο-σύστημα</i>	Διερεύνηση των προοπτικών για εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας σε περιφερειακό επίπεδο και βιομηχανικά πάρκα.
<i>Μάκρο-σύστημα</i>	Διερεύνηση της δυνατότητας υλοποίησης της Κυκλικής οικονομίας σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Πίνακας 2.2: Προοπτικές συστημάτων Κυκλικής οικονομίας [4].

2.3 Σύγκριση Κυκλικής οικονομίας με την ανακύκλωση και την αειφόρο ανάπτυξη

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο παρελθόν έχουν γίνει πολλές προσπάθειες προκειμένου να μειωθεί η μόλυνση που εμφανίζεται εντονότερα στις βιομηχανίες και σε πιο ήπια μορφή στις πόλεις και στις οικίες. Έτσι, οι έννοιες της ανακύκλωσης και της βιωσιμότητας είναι γνώριμες στον περισσότερο κόσμο. Επιβάλλεται να τονιστεί ότι η Κυκλική οικονομία διαφέρει σημαντικά από την ανακύκλωση και τη βιωσιμότητα διότι εσφαλμένα σε αρκετές περιπτώσεις ορισμένοι τις εξομοιώνουν [5].

Η ανακύκλωση ορίζεται ως η πολυεπεξεργασία των υλικών στο τέλος της διάρκειας ζωής του προϊόντος και η επιστροφή τους στην αλυσίδα εφοδιασμού [6]. Πιο συγκεκριμένα, συγχέεται η Κυκλική οικονομία με την ανακύκλωση και ανάγεται στα στάδια ελαττώνω, επαναχρησιμοποιώ και ανακυκλώνω που είναι εσφαλμένη απλοποίηση διότι η Κυκλική οικονομία δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό έπειτα από την ιεράρχηση των αποβλήτων. Η ανακύκλωση αποτελεί υποσύνολο της Κυκλικής οικονομίας. Η Κυκλική οικονομία είναι ένα μεγάλο σύνολο ενεργειών και αποτελείται από πολλά επιμέρους υποσύνολα όπως αυτό της ανακύκλωσης [7].

Η σύνδεση της Κυκλικής οικονομίας με την αειφόρο ανάπτυξη είναι αδύναμη. Η Κυκλική οικονομία πρεσβεύει τη χρυσή τομή ανάμεσα στην οικονομική ευημερία και στους περιβαλλοντικούς στόχους στον κλάδο της βιομηχανίας και όχι μόνο. Η σημαντική καινοτομία της Κυκλικής οικονομίας εντοπίζεται στην υπόσχεση ότι μπορεί να υλοποιήσει την ιδέα ότι μπορεί να φτάσει πέρα από τις τρέχουσες προσπάθειες της αειφόρου ανάπτυξης και περιβαλλοντικής ευφορίας όπως η οικολογική αποδοτικότητα, οι ανανεώσιμες πηγές κ.λπ. Ειδικότερα, η Κυκλική οικονομία εστιάζει στους πόρους, στις πρώτες ύλες και στην καταναλισκόμενη ενέργεια. Όταν αναλύεται ένα νέο σχέδιο αειφόρου ανάπτυξης για το κατά πόσο είναι δυνατή, ή αδύνατη, η υλοποίησή του, όλα τα πλάνα έχουν πεπερασμένες δυνατότητες αναλογιζόμενοι την οικονομική ανάπτυξη. Συγκρίνοντας τις ποικίλες στρατηγικές και σενάρια για τη βιώσιμη ανάπτυξη, πρέπει να διευκρινιστεί αν θα επιτευχθούν ταυτόχρονα και οι δυο αυτοί στόχοι της βιωσιμότητας και αειφορίας υπό το πρίσμα της οικονομικής δυνατότητας για την υλοποίησή τους. Για να ληφθούν συμπεράσματα, πρέπει να συζητηθούν τα δεδομένα υπό το φως της σύμπραξης τους.

Η Κυκλική οικονομία προτείνει ένα πιο ολοκληρωμένο επιχειρησιακό πλάνο, αφού εξετάζει την περιβαλλοντολογική ανακούφιση, την ανάπτυξη της επιχείρησης και την οικολογία υπό το πρίσμα της οικονομικής υλοποίησης του σχεδίου, σε αντίθεση με την αειφόρο ανάπτυξη η οποία απλά παροτρύνει την υιοθέτηση πιο οικολογικών συνηθειών. Μετά από αυτά τα δεδομένα ο καθένας θα μπορούσε εύκολα να κατανοήσει ότι μεγαλύτερα ποσοστά επιτυχίας από τα πλάνα των δυο παραπάνω πρακτικών έχει η Κυκλική οικονομία, πόσο μάλλον ένας καταρτισμένος επιχειρηματίας.

2.4 Σύγκριση Κυκλικής οικονομίας με την Πράσινη οικονομία και την Βίο-Οικονομία

Η Πράσινη οικονομία έχει πολλά κοινά γνωρίσματα με την Κυκλική οικονομία. Η ανάπτυξη των δύο ιδεών συμπίπτει χρονολογικά και ξεκινάει στο τέλος της δεκαετίας του '80 [8]. Όπως η Κυκλική οικονομία έτσι και η πράσινη οικονομία, έχουν σαν κοινή αρχή ότι οι οικονομικοί παράγοντες δεν θα πρέπει να έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η Πράσινη οικονομία στοχεύει στη διατήρηση του περιβάλλοντος σε καλή κατάσταση και παράλληλα στην ανακούφιση της οικονομίας που πλήττεται [9]. Η εφαρμογή της Πράσινης οικονομίας θα καλυτερεύσει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων και την κοινωνική ισότητα κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου το πρόβλημα της κοινωνικής ανισότητας είναι ιδιαίτερα έντονο. Παράλληλα θα μειώσει τους περιβαλλοντολογικούς κινδύνους και τα οικολογικά εγκλήματα. Με πιο απλά λόγια, η έκφραση της Πράσινης οικονομίας στοχεύει στη μείωση των εκπομπών του άνθρακα, στη χρήση αποδοτικότερων και οικονομικότερων πόρων ενώ παράλληλα οδεύει σε μια κοινωνία χωρίς αποκλεισμούς, για παράδειγμα των τρίτων χωρών. Το κάθε οικοσύστημα έχει διαφορετικό πλούτο, ορατό ή μη [10], το οποίο παρέχει θεμελιώδη οφέλη για την κοινωνία και την οικονομία. Η Κυκλική οικονομία τονίζει τη διαχείριση της ροής υλικού και την αναμόρφωση των παραδοσιακά γραμμικών διαδικασιών με κλειστούς κύκλους υλικού εντός της μονάδας που μελετάται. Στην Πράσινη οικονομία δε γίνεται αναφορά σε κάτι τέτοιο. Αν ωστόσο έπρεπε να τεθεί μια σχέση συγγένειας μεταξύ των δύο εννοιών, η Πράσινη οικονομία είναι το σύνολο που περιλαμβάνει μέσα και την Κυκλική οικονομία [11].

Η Βίο-οικονομία ορίζει μια βιοφυσική προοπτική για την οικονομία. Στηρίζεται στην αρχή ότι οι βιομηχανικές εισροές (π.χ. υλικό, χημικά, ενέργεια) πρέπει να προέρχονται από ανανεώσιμους βιολογικούς πόρους [12]. Έτσι, η έρευνα πρέπει να στραφεί στην καινοτομία που θα επιτρέψει τη διαδικασία μετασχηματισμού αυτών των πόρων [13]. Σε αυτό η δασοκομία και η γεωργία μπορούν να διαδραματίσουν θεμελιώδη ρόλο στην παροχή βιολογικών υποκατάστατων για τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [14]. Επομένως, η Βίο-οικονομία εξετάζει εξειδικευμένα ένα σύνολο από δραστηριότητες και είναι αρκετά μακριά από τις έννοιες της Κυκλικής οικονομίας, που ωστόσο οι αρχές της είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την ανακούφιση του περιβάλλοντος.

Στον ακόλουθο πίνακα 2.3 περιγράφονται οι οικονομικές διαστάσεις της βιωσιμότητας. Παρουσιάζονται σαφείς λύσεις για να επιτευχθούν οικονομικότερες δραστηριότητες σε μια επιχείρηση.

Διάσταση Βιωσιμότητας	Ορισμός
<i>Επιχειρησιακή</i>	Η οικονομική ανάπτυξη προηγείται. Η περιβαλλοντολογική βιωσιμότητα δίνεται από τη χρυσή τομή ανάμεσα στο φυσικό πλούτο και στο κεφάλαιο που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος.
<i>Σχετική αποσύνδεση</i>	Τα φυσικά και τα ανθρωπογενή κεφάλαια δεν μπορούν να

	θεωρηθούν εναλλάξιμα. Αρνητικές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν, και παράλληλα να αυξηθεί η αποδοτικότητα σεβόμενοι το περιβάλλον και προωθώντας την οικονομική ανάπτυξη.
<i>Πράσινη ανάπτυξη</i>	Οικονομική ανάπτυξη και περιβαλλοντολογική ανάπτυξη μπορούν να συνδυαστούν και να έχουν θετικά αποτελέσματα και για τις δύο. Μπορούν να υιοθετηθούν νέες τεχνοοικονομικές λύσεις που θα σέβονται το περιβάλλον.
<i>Όρια ανάπτυξης</i>	Η τεχνολογική πρόοδος δεν εξυπηρετεί απαραίτητα τις κοινωνικές ανάγκες. Δεν είναι λίγα τα παραδείγματα που στο βωμό του οικονομικού κέρδους το φυσικό περιβάλλοντος καταρρέει και συρρικνώνεται.
<i>Απόλυτη αποσύνδεση</i>	Η περιβαλλοντολογική βιωσιμότητα προηγείται. Αρνητικές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν και παράλληλα να αυξηθεί η αποδοτικότητα σεβόμενοι το περιβάλλον και προωθώντας την οικονομική ανάπτυξη.
<i>Πράσινη οικονομία</i>	Τα όρια ανάπτυξης της οικολογικής δραστηριότητας αναζητούνται. Πρέπει να βρεθούν υποκατάστατα από οικολογικές λύσεις.

Πίνακας 2.3: Οι οικονομικές διαστάσεις της βιωσιμότητας και λύσεις για να επιτευχθούν οικονομικότερες δραστηριότητες σε μια επιχείρηση.

Οι κύριες απόψεις που αφορούν τις κοινωνικές και περιβαλλοντολογικές διαστάσεις της βιωσιμότητας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4.

Βιώσιμες διαστάσεις	Ορισμοί
<i>Κοινωνικές</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Μάθηση, εκπαίδευση και κοινωνική ισότητα. • Συμμετοχή στη δημοκρατία και κοινωνική συνοχή. • Υγεία και ποιότητα ζωής, • Δίκτυο επικοινωνίας, πολιτισμικά έθιμα, αναδιαμόρφωση και τουρισμός.
<i>Περιβαλλοντολογικές</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Νερό, άνθρακας και θρεπτικοί κύκλοι (συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών και των αποβλήτων). ▪ Πράσινες πόλεις και οικολογικές μεταφορές. ▪ Εναλλακτικές μορφές ενέργειας και χρήση αποδοτικότερων μεθόδων παραγωγής. ▪ Προστασία βιοποικιλότητας και οικοσυστημάτων

Πίνακας 2.4: Οι κύριες απόψεις που αφορούν τις κοινωνικές και περιβαλλοντολογικές διαστάσεις της βιωσιμότητας.

Στον πίνακα 2.5 αναφέρονται οι κύριοι τομείς αναφορικά με την Κυκλική οικονομία, την Πράσινη οικονομία και τη Βιο-οικονομία.

A/A	Κυκλική οικονομία	Πράσινη οικονομία	Βιο-οικονομία
1	Βιώσιμη ανάπτυξη στη βιομηχανοποίηση και στην αστικοποίηση	Βιώσιμη ανάπτυξη	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιομάζα
2	Ανακύκλωση και παράταση του κύκλου ζωής του προϊόντος για τη μείωση των αποβλήτων	Πράσινες επενδύσεις, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές	Ειδική νομοθεσία στην Ευρώπη
3	Βιομηχανική συμβίωση ιδιαίτερα στην Ευρώπη	Τουρισμός και επιχειρήσεις	Βιοτεχνολογία, εφαρμογές στην υγεία και την επιστήμη
4	Αποδοτική αξιολόγηση στην ανατροφοδότηση της εφοδιαστικής αλυσίδας	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και βιομάζα	Βιοτεχνολογία, εφαρμογές στην επιστήμη υλικών
5	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και εξοικονόμηση ενέργειας στον προγραμματισμό παραγωγής	Διατήρηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση	Βιομάζα και εφοδιαστική Αλυσίδα
6	Οικολογικότερη αλυσίδα ανεφοδιασμού		

Πίνακας 2.5: Οι κύριοι τομείς αναφορικά με την Κυκλική οικονομία, την Πράσινη οικονομία και την Βίο-οικονομία.

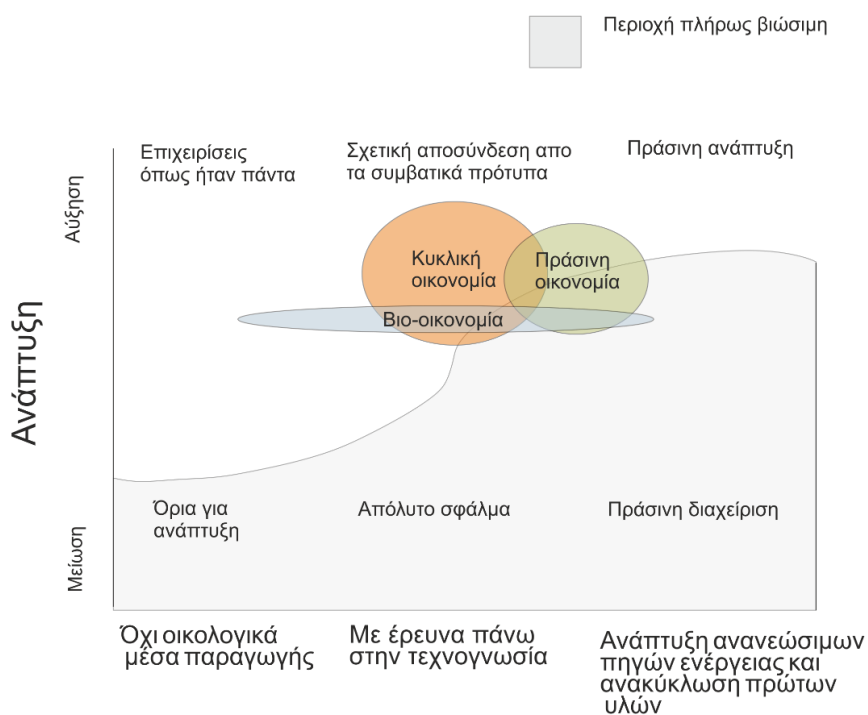
Οι κύριες όψεις, ιδέες και στόχοι της Κυκλικής οικονομίας, της Πράσινης οικονομίας και της Βίο-οικονομίας σχετικά με την περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.6.

Ιδέες για βιωσιμότητα	Περιβαλλοντολογική	Κοινωνική
<i>Κυκλική οικονομία</i>	<ul style="list-style-type: none"> Ανακύκλωση Επαναχρησιμοποίηση Αποδοτικότητα Βιομηχανική συμβίωση Οικονομικότερη εφοδιαστική αλυσίδα 	<ul style="list-style-type: none"> Άνθηση οικονομίας Εξέλιξη
<i>Πράσινη οικονομία</i>	<ul style="list-style-type: none"> Διατήρηση νερού, γης και βιοποικιλότητας Επάρκεια φαγητού Διατήρηση ασφάλειας 	<ul style="list-style-type: none"> Βιώσιμη ανάπτυξη Πράσινες επενδύσεις Τουρισμός Θέσεις εργασίας Εκπαίδευση
<i>Βίο-οικονομία</i>	<ul style="list-style-type: none"> Παροχή ασφάλειας Διατήρηση περιβάλλοντος Σιτηρά 	<ul style="list-style-type: none"> Αστική νομοθεσία Έρευνα και εφαρμογή στην επιστήμη υγείας

Πίνακας 2.6: Οι κύριες όψεις, ιδέες και στόχοι της Κυκλικής οικονομίας, της Πράσινης οικονομίας και της Βιο-οικονομίας σχετικά με την περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα.

Αν και η Κυκλική οικονομία, η Πράσινη οικονομία και η Βιο-οικονομία είναι παγκόσμιες έννοιες υπάρχουν περιφερειακές τάσεις. Καθώς κερδίζουν έδαφος αυτές οι έννοιες το κάθε άτομο εφαρμόζει τις παραπάνω αρχές με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την αντίληψη και την κατανόησή του. Παρά τις διαφορές τους και στις τρεις περιπτώσεις κοινός στόχος είναι ο συμβιβασμός της βιωσιμότητας, της περιβαλλοντολογικής ποιότητας, της αειφορίας και της κοινωνικής ευημερίας. Στο παρελθόν είχαν κερδίσει και οι τρεις το ενδιαφέρον της πολιτικής και έβρισκαν εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως η βιομηχανία και η τριτοβάθμια εκπαίδευση. Είχε παρατηρηθεί μάλιστα ότι ανάλογα με το γεωγραφικό έδαφος δίνονταν μεγαλύτερη βαρύτητα σε διαφορετικές πτυχές. Για παράδειγμα, η Κίνα λόγω των αστικών εργοστασίων και της ανεπτυγμένης βιομηχανίας έχει εφαρμόσει την Κυκλική οικονομία. Η Ευρώπη έχει επικεντρωθεί στην έρευνα γύρω από τη Βίο-οικονομία. Η Αμερική επικεντρώνεται στην Πράσινη οικονομία αφού το ενδιαφέρον έχει στραφεί στις πράσινες επενδύσεις. Δηλαδή, η Ευρώπη που εφαρμόζει τη Βίο-οικονομία στηρίζει την καινοτομία σε οικολογικές πηγές και πρώτες ύλες στοχεύοντας κυρίως στην αγροτική ανάπτυξη. Η Πράσινη οικονομία αναπτύσσει μια ομπρέλα δυνατοτήτων για ισορροπημένη ανάπτυξη στην κοινωνία και στο περιβάλλον. Η Πράσινη οικονομία φαίνεται ότι είναι η πιο ευρεία έννοια που περικλείει τις ιδέες και από την Κυκλική οικονομία και από τη Βίο-οικονομία [15].

Στο παρακάτω σχήμα 2.2 φαίνεται η πορεία (ανάπτυξη και πτώση) της βιωσιμότητας με διάφορους συνδυασμούς ανάπτυξης της Κυκλικής οικονομίας, της Πράσινης οικονομίας και της Βίο-οικονομίας συναρτήσει με τα όχι οικολογικά μέσα παραγωγής, την έρευνα πάνω στην τεχνογνωσία, την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανακύκλωση πρώτων υλών.



Μέσα για να επιτευχθεί η αλλαγή

Σχήμα 2.2: Η πορεία της βιωσιμότητας με διάφορους συνδυασμούς περιπτώσεων.

Η Κυκλική οικονομία ωστόσο στην επικαιρότητα υποστηρίζεται έντονα από την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχει αρχίσει να εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια από τις μεταλλουργικές βιομηχανίες. Κύριος λόγος που έχουν αρχίσει και την υιοθετούν οι μεταλλουργικές επιχειρήσεις είναι ότι τα ορυχεία εξόρυξης μεταλλευμάτων έχουν στερέψει από πρώτες ύλες και δεν θα υπάρχει μέλλον για τα συγκεκριμένα εργοστάσια εάν δεν αλλάξουν οι πρακτικές των διαδικασιών παραγωγής τους.

2.5 Επιρροές της Κυκλικής οικονομίας

Η Κυκλική οικονομία συγκλίνει σε πολλά σημεία με άλλες πρακτικές οικολογικές και μη. Είναι μια νέα ιδέα για να ανακουφιστεί το περιβάλλον από τις χρόνιες καταχρήσεις που έχουν εισέλθει σε αυτό. Σέβεται τη φύση εφαρμόζοντας πρακτικές όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και η ανακύκλωση αυτών αντικαθιστώντας τις συνήθειες που θέλουν την απόρριψη των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ακολουθώντας το μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας τα απόβλητα μετατρέπονται σε νέα πηγή εσόδων αξιοποιώντας τις διαθέσιμες πρώτες ύλες στο μέγιστο δυνατό και διατηρώντας τα υλικά στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο. Σχηματίζεται δηλαδή ένα κλειστό σύστημα, ένα κύκλωμα, μια αλυσίδα με επαναλαμβανόμενη ροή προϊόντων εντός αυτής. Για την επιτυχία αυτού του εγχειρήματος συχνά υπάρχουν κίνητρα για τις επιχειρήσεις όπως η φοροελάφρυνση.

Οι αρχές της Κυκλικής οικονομίας συγκλίνουν με νέες επιχειρησιακές στρατηγικές και καινοτόμα επιχειρησιακά μοντέλα εφόσον είναι ιδιαίτερα επικερδή για αυτές. Δεν είναι όμως μόνο η επιστήμη της οικολογίας και της οικονομίας που εμπλέκονται. Άλλη μια διάσταση που συντελεί στην ολοκλήρωση αυτής της ιδέας είναι και η εφοδιαστική αλυσίδα. Εντός ενός συστήματος που μελετάται για την εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας υπάρχουν ισχυρά συστήματα αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας τα οποία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργικότητα υψηλών προδιαγραφών του συστήματος. Έτσι βελτιστοποιείται το σύστημα αντίστροφης ανατροφοδότησης της ροής.



Σχήμα 2.3 : Έμπνευση και επιρροές της Κυκλικής οικονομίας από άλλες επιστήμες/διαστάσεις.

Επιπλέον, ένα ακόμα κομβικό σημείο είναι η βιομηχανική συμβίωση. Η βιομηχανική συνύπαρξη αναφέρεται στη συνύπαρξη πολλών ανεξάρτητων επιχειρήσεων οι οποίες μοιράζονται κοινές εγκαταστάσεις. Σε αυτό το σύστημα αξιολογούνται τα απόβλητα και τα προϊόντα. Στη συνέχεια αυτά ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται. Τα απορρίμματα που απομένουν καθαρίζονται και αποβάλλονται στο περιβάλλον. Έτσι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3 η Κυκλική οικονομία διαμορφώνεται ως το αποτέλεσμα από διάφορες πρακτικές, επιστήμες και συνήθειες. Όλα αυτά μαζί συνεργάζονται για τη σωστή εφαρμογή της.

2.6 Ιστορία της έννοιας της Κυκλικής οικονομίας

Η Κυκλική οικονομία σαν έννοια θεμελιώθηκε στις αρχές του 1970. Η έννοια της Κυκλικής οικονομίας αντλείται από τις ιδέες της βιομηχανικής οικολογίας και του βιομηχανικού "μεταβολισμού" που διαμορφώθηκαν κατά τη δεκαετία του '70 και του '80 μέσω της επανεξέτασης των βιομηχανικών διεργασιών [16]. Δημοφιλέστερη έννοια έγινε από τη δεκαετία του '90 όπου η Κυκλική οικονομία, σε αντίθεση με τη γραμμική οικονομία, είχε σαν αρχή ότι οι οικονομικοί παράγοντες δε θα πρέπει να έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αναφορικά με την προέλευση, δεν υπάρχουν σαφείς αναφορές για μοναδικό δημιουργό της ιδέας για μια Κυκλική οικονομία. Ωστόσο εικάζεται ότι η έμπνευση δόθηκε από τον καθηγητή των ΗΠΑ John Lail και το έργο «Σιωπηλή Άνοιξη» της Rachel Carson. Οι πιο σημαντικοί συνεισφέροντες, όπου έθεσαν τα όρια για την ανάπτυξη της Κυκλικής οικονομίας, είναι ο σύλλογος της Ρώμης (Club of Rome) τη δεκαετία του '70 και το έργο «Διαστημόπλοιο γη» που παρουσιάστηκε από την Barbara Ward και τον Kenneth Bouldin [16]. Οι Pearce και Turner ανέπτυξαν το εννοιολογικό πλαίσιο της Κυκλικής οικονομίας και έθιξαν ζητήματα που αφορούσαν τη διαχείριση των φυσικών πόρων, των πρώτων υλών και της ρύπανσης. Οι προκλήσεις για την εξισορρόπηση της βιομηχανικής και περιβαλλοντικής ανάπτυξης, για τη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας και την τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης τέθηκαν στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών που πραγματοποιήθηκε για την Κλιματική αλλαγή με 196 συμμετέχουσες χώρες, όπου προτάθηκαν στρατηγικές για ανάπτυξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Μέσα στις συμμετέχουσες χώρες του συνεδρίου που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες όπως προαναφέρθηκε ήταν και η Κίνα. Η Κίνα είναι η χώρα η οποία εφάρμοσε εθνικά πρώτη το σχέδιο για μετάβαση σε μια Κυκλική οικονομία. Σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη χώρα στον κόσμο, η Κίνα εκπέμπει τις υψηλότερες, κατά κεφαλή, ποσότητες εκπεμπόμενων αερίων θερμοκηπίου ετησίως, και ακολουθούν η Ρωσία και ο Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD). Η Κίνα έχει μια ιστορικά ταχέως αναπτυσσόμενη οικονομία και ταυτόχρονα παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα βιομηχανικών προϊόντων. Αυτός ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης προκάλεσε ως επακόλουθο περιβαλλοντική ζημία, αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, έντονη ρύπανση και ζητήματα κοινωνικής ανισότητας κυρίως στην Κίνα αλλά και σε άλλα μέρη του κόσμου. Τα γεγονότα αυτά είναι οι αιτίες για τις πρόσφατες στρατηγικές ανάπτυξης χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συμπεριλαμβανομένης και της εφαρμογής της Κυκλικής οικονομίας. Η Κίνα ήταν η πρώτη χώρα που αναμόρφωσε τις γραμμικές διαδικασίες σε κυκλικές για να υιοθετήσει πιο οικολογικές πρακτικές. Η ιδέα της Κυκλικής οικονομίας διαδόθηκε στην Κίνα τη δεκαετία του 1990 ως απάντηση στην οικονομική ανάπτυξη σε συνδυασμό με τον περιορισμό των φυσικών πόρων, η οποία ήταν η πρώτη χώρα που αντικατέστησε τις πρακτικές της με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας.

Η έννοια της Κυκλικής οικονομίας εξελίχθηκε διαφορετικά και για άλλο λόγο σε κάθε χώρα, ανάλογα με τα διαφορετικά πολιτιστικά και κοινωνικά συστήματα. Στη Γερμανία αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1990 προκειμένου να υιοθετηθεί μια πιο σύγχρονη και πιο οικολογική πολιτική όσον αφορά τις πρώτες ύλες και τους φυσικούς πόρους. Στην

Κίνα τη δεκαετία του 2000 κατασκευάστηκε ένα σύγχρονο βιομηχανικό πάρκο που αργότερα υιοθέτησε την ανακύκλωση απορριμμάτων με την ανάπτυξη κλειστών βρόγχων μετά την κατανάλωση πρώτων υλών, και όχι με τα εργοστασιακά απόβλητα. Στις ευρωπαϊκές χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Δανία, την Ελβετία και την Πορτογαλία η έννοια της Κυκλικής οικονομίας εισήχθη σαν μοντέλο μαζί με νέα επιχειρηματικά μοντέλα που εφαρμόζουν κυκλική χρήση υλικών και ορθή διαχείριση αποβλήτων [17].

Σε κάθε περίπτωση τα κύρια χαρακτηριστικά της έννοιας της Κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση υλικών και η οργάνωση της ροής τους με παράλληλη εξισορρόπηση της οικονομικής ανάπτυξης στοχεύοντας στην ανακούφιση του περιβάλλοντος και την αποφυγή της εξάντλησης πρώτων υλών και φυσικών πόρων. Οι αρχές που τη διέπουν είναι η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, ο επανασχεδιασμός, η ανακατασκευή, η μείωση και η ανάκτηση των πρώτων υλών.

2.7 Στόχοι της Κυκλικής οικονομίας

Οι στόχοι της Κυκλικής οικονομίας, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7 είναι αρκετά ξεκάθαροι και συνοψίζονται στο να μεταβληθούν οι γραμμικές διεργασίες που εφαρμόζουν οι παραδοσιακές βιομηχανίες σε κυκλικές. Ο κύκλος θα κλείσει μόνο όταν τα μέταλλα θα βρουν νέους κύκλους ζωής. Προτεραιότητα πρέπει να δοθεί στα προϊόντα και τα απόβλητα μετάλλων μιας και αυτά βρίσκονται σε υψηλή θέση στην ιεραρχία με τις ποσότητες των αποβλήτων. Χρειάζεται να περιοριστεί η εξαγωγή παράνομων ή αμφίβολων αποβλήτων σε χώρες του τρίτου κόσμου και πρέπει να διασφαλιστεί η χρήση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνολογιών ανακύκλωσης [18].

Στόχοι	Περιγραφή
Αειφόρος ανάπτυξη	Ρητή αναφορά στην αειφορία και τη βιώσιμη ανάπτυξη.
Ποιότητα περιβάλλοντος	<ul style="list-style-type: none"> Διατήρηση, προστασία και αποκατάσταση του περιβάλλοντος Αποδοτικότητα των διαθέσιμων πόρων Μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλότερων εκπομπών άνθρακα
Οικονομική ευημερία	Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
Κοινωνική δικαιοσύνη	Κοινωνική ισότητα στις αναπτυσσόμενες χώρες
Μελλοντικές γενιές	Μακροχρόνια εφαρμογή

Πίνακας 2.7: Οι στόχοι της Κυκλικής οικονομίας.

2.8 Από γραμμικό μοντέλο σε κυκλικό μοντέλο

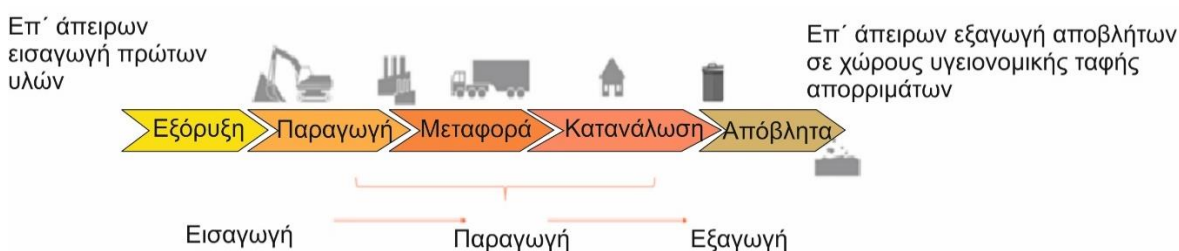
Τα τελευταία 200 χρόνια, η βιομηχανική επανάσταση εγκαθίδρυσε το γραμμικό βιομηχανικό μοντέλο. Έτσι τα προϊόντα, μεταλλικά και μη, προέρχονταν κατά βάση από την εξόρυξη ακατέργαστων πρώτων υλών. Κατασκευάζονταν, καταναλώνονταν και χρησιμοποιούνταν ενώ μετά από το πέρας της χρήσης τους τέλειωνε ο κύκλος ζωής τους εφόσον θάβονταν μέσα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το γραμμικό μοντέλο παραγωγής έχει όμοια χαρακτηριστικά με τα συμβατικά μοντέλα παραγωγής με τη μορφή που είναι γνωστά σήμερα.

Η διαδικασία που ακολουθείται σε ένα γραμμικό μοντέλο παραγωγής συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα, όπως φαίνονται και από το σχήμα 2.4: άντληση πόρων, κατασκευή και

αποβολή των παραγόμενων αποβλήτων. Στις γραμμικές διαδικασίες δεν είναι επαναχρησιμοποιήσιμο κανένα προϊόν και είναι άγραφος κανόνας ότι οι φυσικές πηγές του υλικού που εισάγονται στο σύστημα είναι ανεξάντλητες. Επίσης θεωρείται ότι οι χώροι υγειονομικής ταφής έχουν άπειρη χωρητικότητα. Είναι πρόδηλο δηλαδή ότι το γραμμικό μοντέλο δεν είναι βιώσιμο σε βάθος χρόνου. Στην πραγματικότητα η φύση δίνει πεπερασμένα υλικά στον άνθρωπο σε ένα τέτοιο μοντέλο όπως το γραμμικό. Το γραμμικό μοντέλο παρόλα αυτά είναι αυτό που χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία. Η συνεχής αύξηση της τεχνολογίας, η βιομηχανοποίηση και η ανεξέλεγκτη πορεία της οικονομίας αύξησε κατακόρυφα την παραγωγή προϊόντων χωρίς να δίνεται προσοχή ή να υπάρχει κάποια μέριμνα για τη διαχείριση των αποβλήτων. Αυτό συνεχίστηκε μέχρι που ο περιβαλλοντολογικός κλοιός έγινε πολύ ασφυκτικός και η υιοθέτηση νέων συνηθειών στη βιομηχανία έγινε ανάγκη. Τα παραπάνω οδήγησαν στο να δημιουργηθεί ένα ορθολογικότερο μοντέλο για τη βιομηχανική ροή, η Κυκλική οικονομία, η οποία διατυπώθηκε αρχικά το 1970 [19].

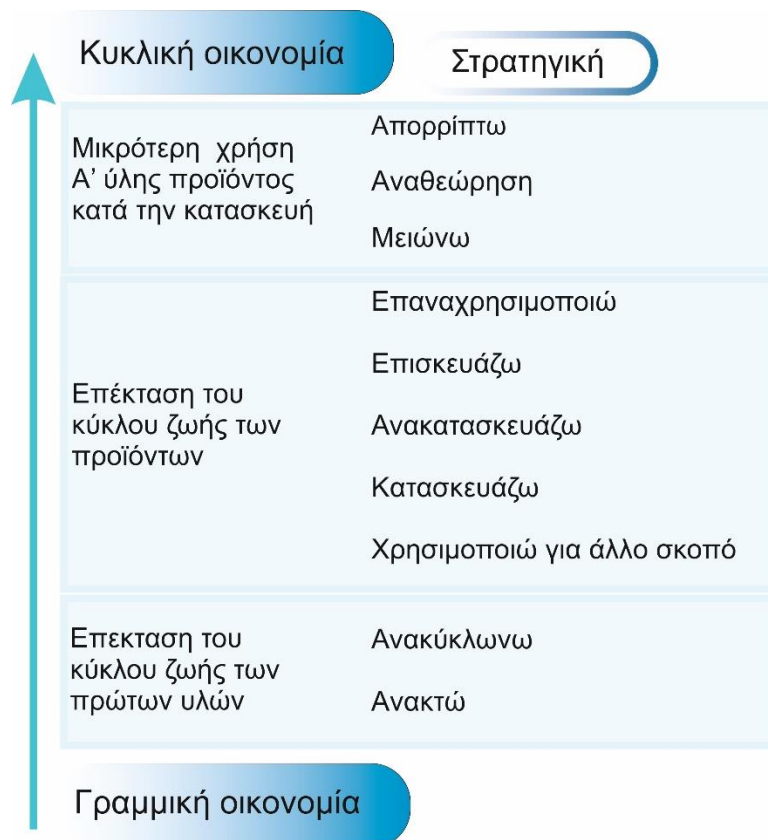
Η έννοια της Κυκλικής οικονομίας αντλείται από τις ιδέες της βιομηχανικής οικολογίας και του βιομηχανικού "μεταβολισμού" που διαμορφώθηκε κατά τη δεκαετία του '70 και του '80 μέσω της επανεξέτασης των βιομηχανικών διεργασιών [17]. Η έννοια της Κυκλικής οικονομίας είναι δημοφιλής από τη δεκαετία του '90. Σύμφωνα με αυτήν θεωρείται ότι, σε αντίθεση με τη γραμμική οικονομία, οι οικονομικοί παράγοντες δε θα πρέπει να έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτός ο στόχος επιδιώκεται κυρίως με τον επανασχεδιασμό του κύκλου ζωής του προϊόντος, έτσι ώστε να έχει την ελάχιστη δυνατή είσοδο ακατέργαστων υλικών και την ελάχιστη δυνατή παραγωγή αποβλήτων. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη ενός συστήματος για την επίτευξη καθαρότερων αποβλήτων στην αλυσίδα εφοδιασμού και στη βιομηχανία [20].

Δεδομένου ότι η βασική ιδέα είναι η μετατροπή ενός συγκεκριμένου υποπροϊόντος της βιομηχανίας σε έναν πόρο για μια δεύτερη βιομηχανία, υπάρχει μεγάλη έμφαση στη συνεργασία των εργοστασίων. Η ανακύκλωση απορριμμάτων και εργοστασιακών αποβλήτων οφείλει να πραγματοποιείται με την ανάπτυξη κλειστών βρόχων εντός του εργοστασίου για την ανατροφοδότηση μέσω της αντιστροφής εφοδιαστικής αλυσίδας με καθαρές πρώτες ύλες και ανακυκλωμένα προϊόντα. Όσο για τις δραστηριότητες εκτός του εργοστασίου, δηλαδή την κατανάλωση των αποβλήτων, θα ανακυκλώνονται αν το επιτρέπει η φύση του υλικού. Εάν παραδείγματος χάρη πρόκειται για μέταλλα, αυτά αποτελούν τον ιδανικό υποψήφιο για ανακύκλωση και έτσι ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται [16].



Σχήμα 2.4: Γραμμικό μοντέλο παραγωγής.

Στον σχήμα 2.5 φαίνονται τα βήματα για τη μετάβαση από τη γραμμική οικονομία στην Κυκλική οικονομία. Παρουσιάζεται η στρατηγική που πρέπει να ακολουθήσει κάθε μηχανουργείο, επιχείρηση και βιομηχανία για να έρθει πιο κοντά στο όραμα που εξασφαλίζει ένα καλύτερο μέλλον για το περιβάλλον, την οικονομία και την ανάπτυξη.



Σχήμα 2.5: Τα βήματα για τη μετάβαση από γραμμική οικονομία στην Κυκλική οικονομία.

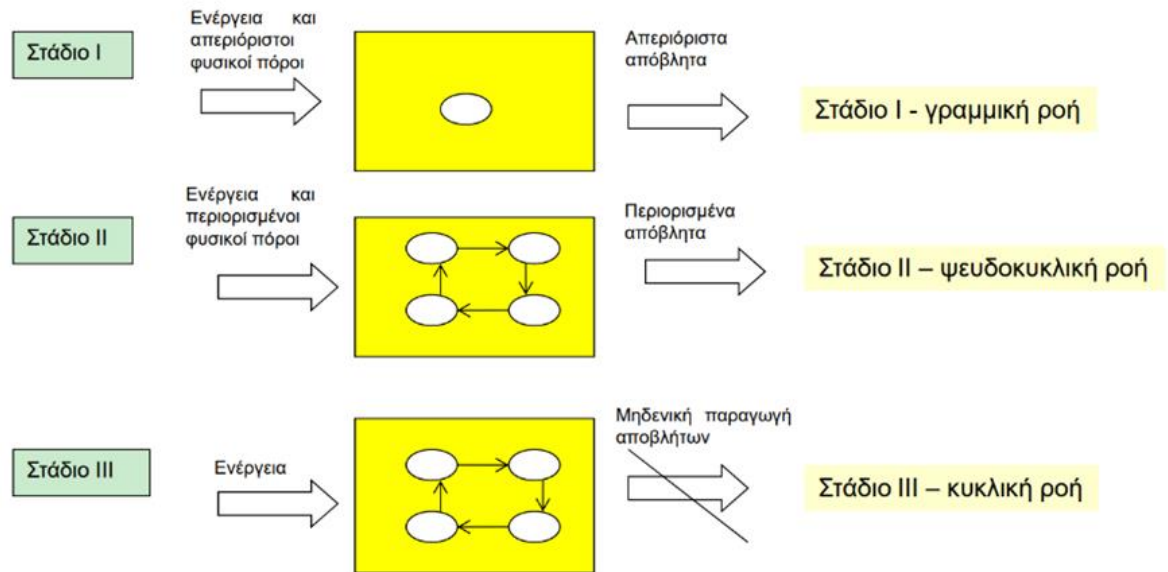
Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται πως διαφοροποιείται ένα γραμμικό μοντέλο από ένα κυκλικό μοντέλο σε ένα σύστημα. Στα αριστερά φαίνεται το μοτίβο που προαναφέρθηκε το οποίο περιλαμβάνει τα στάδια: άντληση πόρων, κατασκευή και αποβολή των παραγόμενων αποβλήτων. Στο κέντρο παρατηρείται το μεταβατικό βήμα για μια Κυκλική οικονομία υιοθετώντας νέες συνήθειες. Σε αυτό το σημείο δεν έχει κλείσει τελείως ο κύκλος της επαναχρησιμοποίησης υλικών και υφίσταται μερικώς η Κυκλική οικονομία εμφανίζοντας μια ψευδοκυκλική ροή (όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7). Στα δεξιά φαίνεται το τελικό στάδιο τελειοποίησης της Κυκλικής οικονομίας όπου δεν αποβάλλεται τίποτα από το σύστημα και όσον αφορά απόβλητα και εισαγόμενα ακατέργαστα υλικά αυτά είναι ελάχιστα.

Γραμμική οικονομία Επαναχρησιμοποίηση Κυκλική οικονομία



Σχήμα 2.6: Σύγκριση γραμμικής οικονομίας και Κυκλικής οικονομίας.

Στάδια εξέλιξης οικοσυστημάτων



Σχήμα 2.7: Στάδια εξέλιξης οικοσυστημάτων.

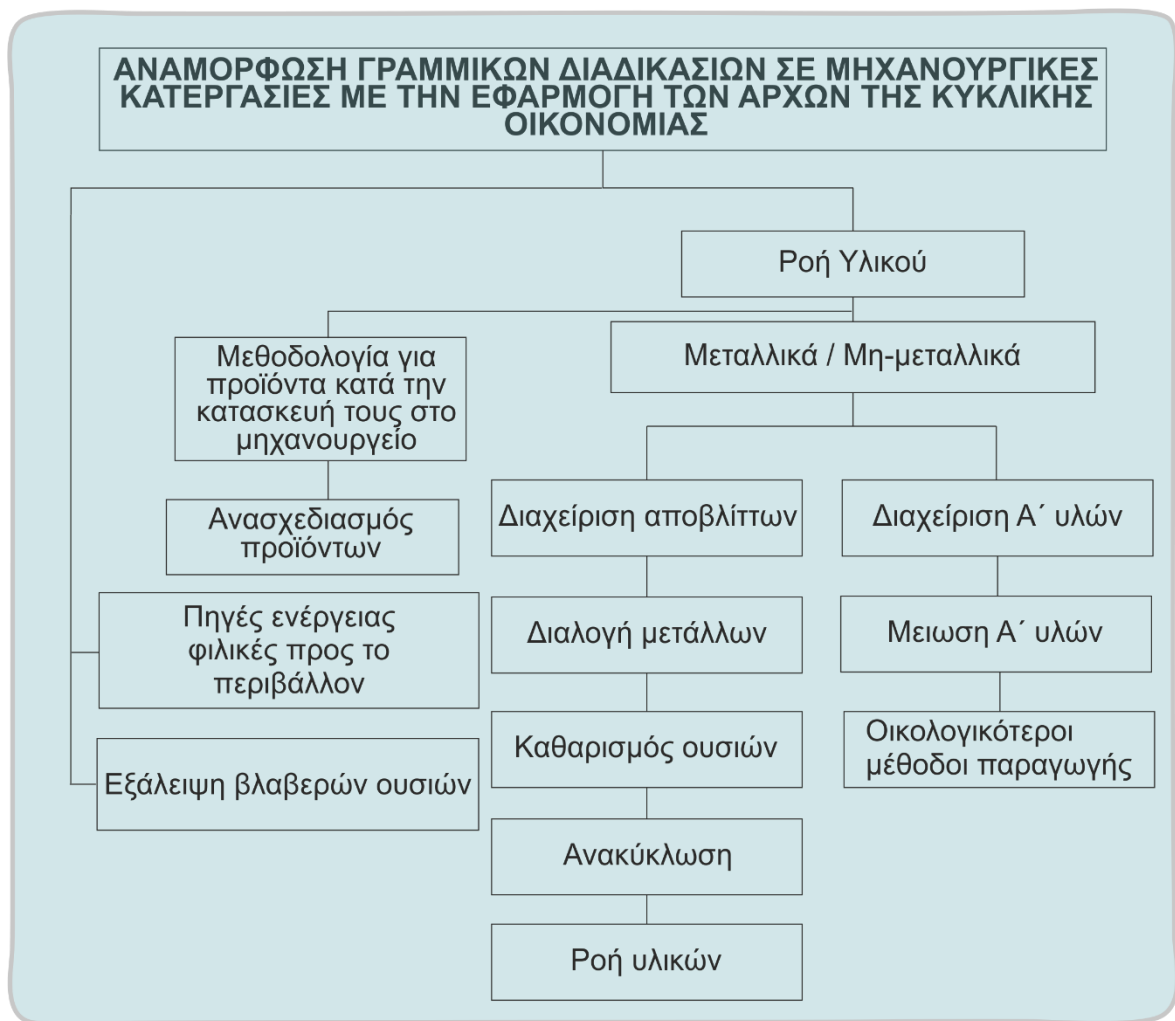
3. ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΤΟ ΚΥΚΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Για να γίνει η μετάβαση από το γραμμικό στο κυκλικό μοντέλο, πρέπει να διαμορφωθούν κάποιες κατεργασίες έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της Κυκλικής οικονομίας. Οι βασικότεροι στόχοι συνοπτικά είναι η αειφορία, η περιβαλλοντολογική διατήρηση και η οικονομική ευημερία. Ενδεικτικά, πρέπει να εφαρμοστούν σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον βήματα όπως τα παρακάτω:

- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Μηδενισμός των αποβλήτων.
- Καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον.
- Πρακτικές πιο οικολογικές για το περιβάλλον σε όλο το μήκος της παραγωγής.
- Μείωση των πόρων και των πρώτων υλών στο ελάχιστο δυνατό για την παραγωγή τεμαχίων.
- Αποφυγή χρήσης χημικών που είναι επιβλαβή προς το περιβάλλον.
- Εναλλακτική διαχείριση αποβλήτων από τις διάφορες μηχανουργικές κατεργασίες.
- Επαναχρησιμοποίηση έπειτα από καθαρισμό των πρώτων υλών, όπως το νερό.
- Ανάπτυξη συστήματος αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας για τη ροή υλικού εντός του συστήματος και ανατροφοδότηση με πρώτες ύλες.
- Διατήρηση των υλικών όσο το δυνατόν περισσότερο στην οικονομία.
- Αποφυγή απόρριψης των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα φάση τα απόβλητα από τα μηχανουργία μαζεύονται και αποσύρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Κάθε βιομηχανία που κατεργάζεται ένα μέταλλο μπορεί να παράγει πληθώρα από αυτά, καθένα από τα οποία πρέπει να υπόκειται σε διαχείριση με διαφορετικό τρόπο. Ανάλογα λοιπόν με το είδος του αποβλήτου μπορούν είτε να ανακυκλώνονται και να επαναχρησιμοποιούνται, είτε να καθαρίζονται και μετά να αποβάλλονται στο περιβάλλον, είτε να δίνονται σε κατάλληλες βιομηχανίες που θα προχωρήσουν στην αποσυναρμολόγηση και το διαχωρισμό τους. Αντίστοιχα και για τα δευτερεύοντα προϊόντα που συντελούν στην παραγωγική διαδικασία σε μια βιομηχανία, όπως για παράδειγμα το νερό, πρέπει να υπάρχουν αντίστροφες ροές υλικού για ανατροφοδότηση του συστήματος από αυτά.

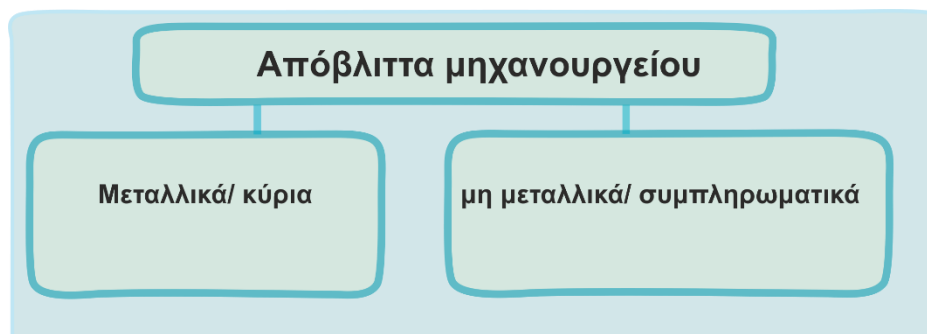
Ιδανικά λοιπόν οι εγκαταστάσεις που απαιτούνται για τη διαχείριση τέτοιων αποβλήτων πρέπει να είναι μεγάλες. Ενδεχομένως βέβαια να μην έχει πρόσβαση κάθε βιομηχανία σε τέτοιες εγκαταστάσεις. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθεί το σύστημα έτσι ώστε να προσεγγιστεί το μοντέλο κλειστής ροής υλικού. Στην Κίνα τα συστήματα που μελετώνται έχουν τεράστιες εκτάσεις, όπως θα αναλυθεί και εκτενώς στη συνέχεια, μετά από το παράδειγμα που πρώτη εφάρμοσε η Δανία με το βιομηχανικό πάρκο στο Kalundborg, όπου μετασχημάτισε ένα απλό βιομηχανικό πάρκο σε πάρκο Κυκλικής οικονομίας. Με αυτόν τον τρόπο οι περισσότερες από τις εγκαταστάσεις που είχαν ενσωματωθεί για τη διαχείριση των αποβλήτων ανάλογα με το είδος τους ήταν κοινόχρηστες για πολλές ανεξάρτητες βιομηχανίες. Τέτοια συστήματα έχουν πολύ μεγάλη απόδοση. Με αυτόν τον τρόπο η μετάβαση δε θα αποτελούσε μια ιδιαίτερα μεγάλη επένδυση για την εκάστοτε βιομηχανία εφόσον μοιράζονται όλες μαζί τα κόστη. Στο ακόλουθο σχήμα 3.1 απεικονίζεται το σχεδιάγραμμα της ροής των προϊόντων σε ένα σύστημα με Κυκλική οικονομία.



Σχήμα 3.1 : Σχεδιάγραμμα αναμόρφωσης προϊόντων Κυκλικής οικονομίας.

3.1 Απόβλιττα μηχανουργείου

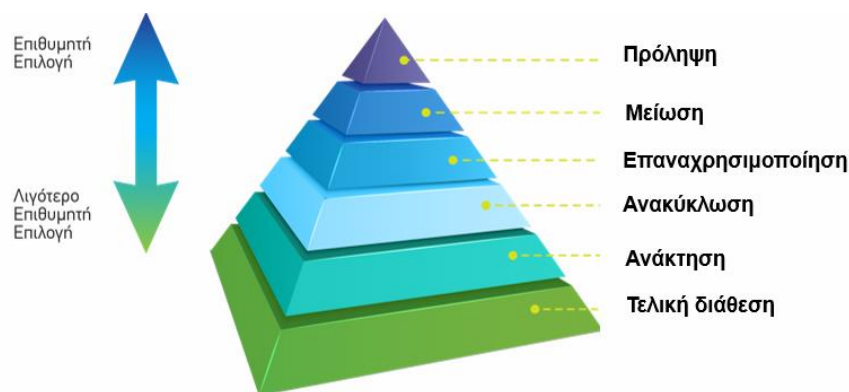
Για τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία τα απόβλιττα όπως προαναφέρθηκε πρέπει να υπόκεινται σε διαχείριση ανάλογα με το είδος τους. Τα είδη των αποβλήτων από μια μηχανουργική κατεργασία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Μια εγκατάσταση μηχανουργικών κατεργασιών έχει πολλά επιπλέον απόβλητα εκτός από τα μεταλλικά απόβλιττα. Πιο συγκεκριμένα, κατηγοριοποιούνται τα απόβλητα από ένα μηχανουργείο σε μεταλλικά/μη-μεταλλικά απόβλιττα ή σε κύρια/συμπληρωματικά απόβλητα. Στα κύρια/μεταλλικά απόβλιττα εντάσσονται όλα τα μεταλλικά στοιχεία που δεν έχουν χρηστική αξία στη μορφή που είναι και τα συμπληρωματικά/μη-μεταλλικά είναι τα υπόλοιπα παράγωγα όπως ανθρακονήματα, πλαστικά, τefλόν, PLA, χημικά, λύματα και υγρά απόβλητα. Στην παρούσα εργασία μελετάται μόνο η διαχείριση των αποβλήτων μετάλλων. Σε κάθε περίπτωση η σχεδίαση ενός οικολογικότερου συστήματος γίνεται ξεκινώντας από την ιεράρχηση των αποβλήτων.



Σχήμα 3.2: Τα απόβλιττα από ένα μηχανουργείο χωρίζονται σε μεταλλικά/μη-μεταλλικά απόβλιττα ή σε κύρια/συμπληρωματικά απόβλιττα.

3.2 Ιεράρχηση επιλογών για διαχείριση των αποβλήτων

Στο σχεδιασμό της μετάβασης σε μια Κυκλική οικονομία είναι υψίστης σημασίας να γίνεται ιεράρχηση των αποβλήτων. Η ιεράρχηση των αποβλήτων είναι ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση των διαδικασιών που προστατεύουν το περιβάλλον. Σχετίζεται με την κατανάλωση πόρων και ενέργειας από τις πιο ευνοϊκές έως τις λιγότερο ευνοϊκές δραστηριότητες αναφορικά με τη βιωσιμότητα. Η ιεραρχία καθορίζει τις προτιμώμενες προτεραιότητες βάσει της βιωσιμότητας. Η βιωσιμότητα της διαχείρισης των αποβλήτων δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τεχνικές λύσεις για τα απόβλιττα. Είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για όλη την πολιτική που θα εφαρμοστεί. Η ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων υποδεικνύει μια σειρά προτίμησης των δράσεων για τη μείωση και τη διαχείριση των αποβλήτων. Συνήθως παρουσιάζεται διαγραμματικά με τη μορφή μιας πυραμίδας όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.

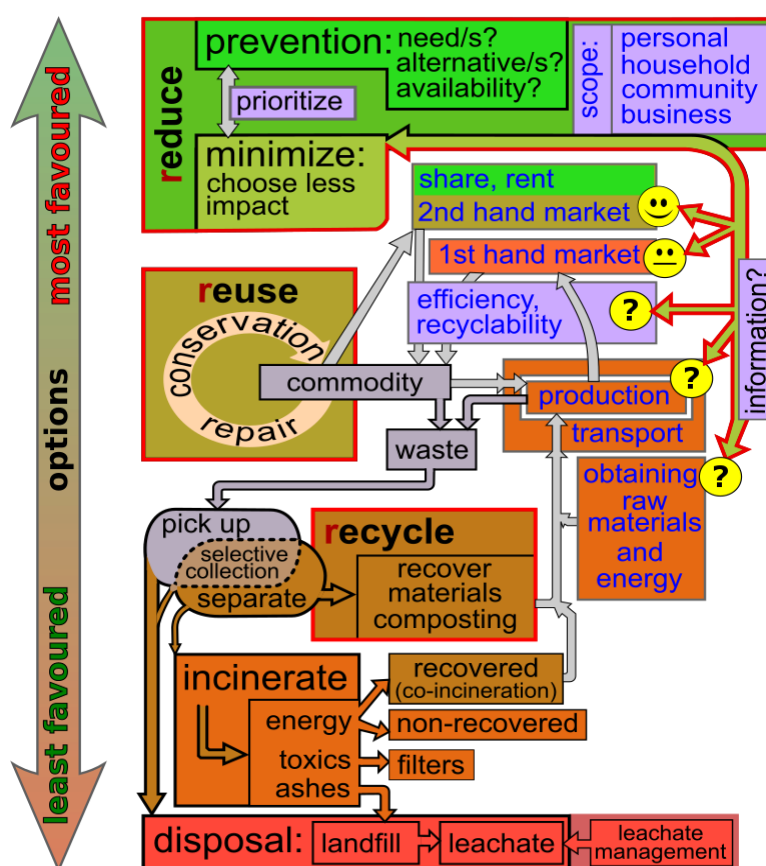


Σχήμα 3.3: Πυραμίδα ιεράρχησης αποβλήτων.

Η ιεραρχία καταγράφει την πρόοδο ενός υλικού ή προϊόντος μέσω διαδοχικών σταδίων διαχείρισης αποβλήτων και αντιπροσωπεύει το τελευταίο μέρος του κύκλου ζωής για κάθε προϊόν. Ο στόχος της ιεραρχίας αποβλήτων είναι να εξαγάγει τα μέγιστα πρακτικά οφέλη από τα προϊόντα και να δημιουργήσει την ελάχιστη ποσότητα αποβλήτων. Η σωστή εφαρμογή της ιεραρχίας αποβλήτων μπορεί να έχει πολλά οφέλη. Μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στη μείωση των ρύπων, στην εξοικονόμηση ενέργειας, στην ορθολογικότερη διαχείριση των πόρων, στη δημιουργία θέσεων εργασίας και στην τόνωση της ανάπτυξης των πράσινων τεχνολογιών.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3, στη βάση της πυραμίδας με χρώμα κόκκινο υπάρχουν τα απόβλιττα που αντιπροσωπεύουν τη χειρότερη επιλογή όσον αφορά το περιβάλλον. Πάνω από αυτά τα απόβλιττα υπάρχει η ανάκτηση ενέργειας. Η ανάκτηση ενέργειας αναφέρεται σε οποιαδήποτε τεχνική ή μέθοδο ελαχιστοποίησης της εισαγωγής ενέργειας

σε ένα συνολικό σύστημα με την ανταλλαγή ενέργειας από ένα υποσύστημα του συνολικού συστήματος με ένα άλλο. Η ενέργεια μπορεί να είναι με οποιαδήποτε μορφή, σε οποιοδήποτε υποσύστημα αλλά τα περισσότερα συστήματα ανάκτησης ενέργειας αντλούν θερμική ενέργεια σε λανθάνουσα μορφή [21]. Στη συνέχεια είναι η ανακύκλωση που είναι η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας υλικών που αντί να απορριφθούν ως σκουπίδια μετατρέπονται σε νέα προϊόντα [22]. Στη συνέχεια υπάρχει η επαναχρησιμοποίηση: λαμβάνοντας παλαιότερα αντικείμενα που έχει ολοκληρωθεί ο κύκλος ζωής τους αντί για να μετατραπούν σε απορρίμματα φυλάσσονται για μια άλλη χρήση [23]. Προτελευταίο στην κορυφή της πυραμίδας είναι η μείωση των αποβλήτων και του αποτυπώματος στο περιβάλλον. Στην κορυφή είναι η πρόληψη, δηλαδή η μετατροπή του κύκλου των γραμμικών διαδικασιών σε ένα κυκλικό μοντέλο οδηγώντας το σύστημα σε αυτάρκεια. Η ιεράρχηση των αποβλήτων είναι η θεωρία στην οποία κάθε νέα προσπάθεια για ορθολογικότερες πρακτικές πρέπει να μελετάται. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ανάλυση η ιεράρχηση και οι διαδικασίες διαχείρισης αποβλήτων σε κάθε στάδιο.



Σχήμα 3.4: Ιεράρχηση αποβλήτων.

3.3 Μέταλλα μηχανουργικών διαδικασιών

Λόγω της βιομηχανοποίησης τα απόβλητα αυξάνονται σταθερά μέσα στις δεκαετίες. Ένας γιγάντιος όγκος από απόβλητα, θραύσματα και υπολείμματα αποβάλλονται από την κατασκευαστική βιομηχανία ετησίως. Ανάλογα με το είδος του μηχανουργείου, της βιομηχανίας, της κατασκευαστικής δραστηριότητας και τη χώρα προέλευσης αυτά τα απόβλητα υπόκεινται σε διαφορετική διαχείριση.

Η ανακύκλωση μετάλλων δεν είναι πρωτόγνωρη. Αντιθέτως υπάρχει σχεδόν σε όλη την ιστορία της ανθρώπινης εξέλιξης καθώς τα πολύτιμα μέταλλα όπως είναι το χρυσό, το ασήμι ή ο χαλκός λιώνοντάς τα παρουσία μεγάλης θερμοκρασίας γίνονται ρευστά και

παίρνουν την επιθυμητή μορφή για τη μετέπειτα χρησιμοποίησή τους. Μπορούν να ανακυκλώνονται σχεδόν επ' άπειρον κάνοντας τις απαραίτητες διεργασίες. Αυτό εφαρμόζεται διότι έχουν μεγάλο κόστος αγοράς λόγω της σπανιότητάς τους και των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους. Πολλές βιομηχανίες υιοθετούν την ανακύκλωση από παλαιότερα κυρίως στα πολύτιμα μέταλλα. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα όπου τα ποσοστά ανακύκλωσης μετάλλων είναι ήδη πολύ υψηλά για πολύτιμα μέταλλα κοσμημάτων, χάλυβα και βασικά μέταλλα όπως αλουμίνιο, χαλκός και μόλυβδος. Ωστόσο, υπάρχει σημαντικό περιθώριο βελτίωσης για πολλά άλλα μη σιδηρούχα μέταλλα, ιδιαίτερα πολύτιμα και ειδικά μέταλλα (αναφέρονται επίσης ως «δευτερεύοντα μέταλλα»), τα οποία θα μπορούσαν να ανακτηθούν αποτελεσματικότερα από τα ρεύματα βιομηχανικών καταλοίπων κατά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Όμως, η ανακύκλωση μετάλλων για τη μετέπειτα διαχείρισή τους εντός μιας βιομηχανίας φαίνεται να είναι απαραίτητη και έρχεται σταδιακά σε εφαρμογή από την πλειοψηφία των βιομηχανιών [18].

Τα μέταλλα είναι ιδανικός υποψήφιος για μια Κυκλική οικονομία καθώς είναι εύκολα ανακυκλώσιμα, δεν καταναλώνονται όπως π.χ. η ενέργεια και διατηρούν όλες τις μηχανικές τους ιδιότητες μετά την ανακύκλωσή τους. Τα δευτερογενή μέταλλα δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ποιότητας και άρα το πρωτογενές υλικό με το δευτερογενές συμπεριφέρονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο στις κατεργασίες που μπορούν να πρωταγωνιστούν. Η ολοκληρωμένη ανακύκλωσή τους συνεπάγεται επαναφορά σε νέους κύκλους ζωής.

Η απόρριψη σε χώρους υγειονομικής ταφής των μετάλλων ή δοκιμίων που έχουν υποστεί φθορά ή αστοχία και δεν είναι δυνατή η επισκευή ή συντήρηση για την παράταση του χρόνου ζωής τους ή τα απόβλητα από τις ποικίλες μηχανουργικές κατεργασίες δεν είναι πια αποδεκτή λύση. Επίσης, τα φυσικά ορυχεία έχουν εξαντλήσει τους πόρους τους και είναι ιδιαίτερα δυσεύρετες οι πρωτογενείς πρώτες ύλες και σαφώς είναι ανεπαρκείς για να καλύψουν τη ζήτηση. Κάποιες βιομηχανίες συλλέγουν τα απορρίμματα μετάλλων και τα ανακυκλώνουν. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον καθώς έχει μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις [24] και πρέπει να εφαρμόζεται με συγκεκριμένες πρακτικές για να έχει ευνοϊκά αποτελέσματα. Επίσης, όταν δεν υπάρχουν οι προαπαιτούμενες εγκαταστάσεις για να γίνει η ανακύκλωση εντός του εργοστασίου και χρειάζεται να μεταφερθούν τα απόβλητα αυξάνεται το κόστος αλλά και το ενεργειακό αποτύπωμα από τη μεταφορά. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα αυτή η ενέργεια είναι επωφελής για την οικονομική διαχείριση της επιχείρησης και είναι αναγκαία καθώς οι πρώτες ύλες στερεύουν.

Βέβαια, η παγκόσμια αύξηση της ανακύκλωσης αποβλήτων και των πολύτιμων μετάλλων οφείλεται στο γεγονός ότι η ανακύκλωσή τους είναι πιο συμφέρουσα όσον αφορά το κόστος αποθεματοποίησης και την απαιτούμενη χρήση ενέργειας. Άρα και από οικονομικής πλευράς συμφέρει η ανακύκλωση καθώς τα απόβλητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμα για να μην αξιοποιηθούν. Με την κατανάλωση μικρότερου ποσού ενέργειας, εμφανίζονται μικρότερες περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις και ελαχιστοποιούνται οι φυσικές πηγές υλικού που εξορύσσονται από τη φύση [25]. Με τις παραπάνω ενέργειες γίνεται αντιληπτό ότι η έννοια της Κυκλικής οικονομίας, δηλαδή μιας οικονομίας που αναπτύσσεται σεβόμενη το περιβάλλον, είτε ήταν από πρόθεση είτε απλά σαν επιχειρηματικά γόνιμη κίνηση, είναι αποδοτική. Όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια μέσα από τη μελέτη συγκεκριμένου παραδείγματος στην Κίνα, γίνεται τεράστια εξοικονόμηση σε καύσιμα ετησίως και αυξάνεται το κέρδος.

Εφόσον υπάρχει έλλειψη φυσικών μεταλλικών πόρων σε ευρωπαϊκές χώρες, μιας και η Ευρώπη παράγει μόνο το 3% των μετάλλων που χρησιμοποιεί, προωθείται ενεργά σε Ευρωπαϊκό επίπεδο η μετάβαση από το γραμμικό μοντέλο στο μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας [26]. Έτσι, η Ευρωπαϊκή επιτροπή έχει σαν στόχο να διαμορφώσει τις

βιομηχανικές, κατασκευαστικές και μηχανουργικές της ενέργειες σε έναν κύκλο που θα έχει ως αρχή: η αξία των προϊόντων, των υλικών και των πόρων να διατηρείται στην αγορά για όσο το δυνατόν περισσότερο, και τα απόβλητα να ελαχιστοποιούνται.

Φυσικά, με την παρούσα τεχνολογία δεν είναι δυνατόν να κλείσει ο «κύκλος παραγωγής», για λόγους που θα αναφερθούν παρακάτω. Η αυξανόμενη ζήτηση για μέταλλα δεν μπορεί να καλυφθεί μόνο με την ανακύκλωση. Η πρωτογενής (εξόρυξη) και η δευτερογενής (ανακύκλωση) προμήθεια θα παραμείνουν συμπληρωματικές στο μέλλον. Λόγω της φύσης των μετάλλων και της μεγάλης διάρκειας ζωής ορισμένων μεταλλικών προϊόντων (που μπορούν να παραμείνουν σαν αποθέματα δεκάδες ή εκατοντάδες χρόνια), δημιουργείται ένα σημαντικό ανθρωπογενές απόθεμα, διαμορφώνοντας ένα πιθανό μελλοντικό αστικό ορυχείο. Η δημιουργία μιας Κυκλικής οικονομίας σημαίνει ότι στο τέλος της ζωής αυτών των προϊόντων θα πρέπει αυτά να ανακυκλωθούν σωστά και αποτελεσματικά [18] εξασφαλίζοντας ότι η Ευρώπη στον τομέα της μεταλλουργίας θα είναι σε μεγάλο βαθμό αυτόνομη.

Η ζήτηση για πρώτες ύλες θα αυξηθεί παράλληλα με την υψηλότερη διείσδυση αυτών των εφαρμογών στην αγορά για λόγους που θα αναλυθούν παρακάτω. Αυτό θα δημιουργήσει δύο μεγάλες προκλήσεις:

- Εξασφάλιση οικονομικής και βιώσιμης πρόσβασης σε πρώτες ύλες.
- Αύξηση (των πόρων) αποδοτικότητας.

3.4 Οφέλη ανακύκλωσης μετάλλων

Η ανακύκλωση είναι ένας πολύ αποδοτικός τρόπος εισαγωγής πρώτων υλών στην οικονομία και με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζονται οι βασικές στρατηγικές προκλήσεις όπως για παράδειγμα η μείωση των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων, ο περιορισμός της ενεργειακής ανάγκης και ο οικονομικός εφοδιασμός υλικών. Η ανακύκλωση μετάλλων έχει σημαντικά οφέλη όπως [18]:

- Αντικατάσταση των πρωτογενών πρώτων υλών με ανακυκλωμένες.
- Περιορίζεται η εξάντληση των φυσικών ορυχείων μετάλλων.
- Η μετάβαση από την παραγωγή δευτερογενών πρώτων υλών σε πρωτογενές υλικό μειώνει τις εκπομπές ρύπων.
- Τα μέταλλα είναι ιδανικός υποψήφιος για μια Κυκλική οικονομία καθώς δεν χάνουν τις ιδιότητές τους.
- Η ανακύκλωση εξοικονομεί έως και 20 φορές την ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη μετάλλων και μειώνει τις επιπτώσεις και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα στη φύση στο νερό, στον αέρα, στο έδαφος και στη βιόσφαιρα.
- Μείωση της εξάρτησης από εισαγωγές υλικών και μείωση κινδύνου λανθασμένης ζήτησης - ανεφοδιασμού πολύτιμων υλικών, μερικά από τα οποία είναι κρίσιμα μέταλλα και είναι σημαντικά για την οικονομία. Η Ευρώπη παράγει μόνο το 3% των μετάλλων που χρησιμοποιεί προωθεί ενεργά τη μετάβαση από το γραμμικό μοντέλο στο μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας.
- Αποφυγή της υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης, η οποία δεν είναι μόνο απώλεια πολύτιμων πρώτων υλών αλλά επίσης δημιουργεί επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Υποστήριξη οικονομικών δραστηριοτήτων στην Ευρώπη στα διάφορα στάδια της αλυσίδας ανακύκλωσης μετάλλων (συλλογή, προ-επεξεργασία και τελική επεξεργασία) και σε μεταγενέστερες βιομηχανίες χάρη στην ασφάλεια του εφοδιασμού.
- Χρηματικό όφελος διότι η ανακύκλωση μετάλλων είναι οικονομικότερη από την εξόρυξη πρώτων υλών.

- Ανάπτυξη του εμπορίου και νέων μορφών επιχείρησης.
- Νέα επιχειρηματικά μοντέλα.
- Απασχόληση σε νέα θέσεις εργασίας.

3.5 Κατηγορίες αποβλήτων μεταλλικών μηχανουργικών κατεργασιών

Τα απόβλιττα μετάλλων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη είναι αυτή των μετάλλων ή δοκιμίων που έχουν υποστεί φθορά ή αστοχία και δεν είναι δυνατή η επισκευή ή η συντήρησή τους για την παράταση του χρόνου ζωής τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα μεταλλικά δοκίμια που έχουν κατασκευαστεί και έχουν χρησιμοποιηθεί είτε εντός της βιομηχανίας, είτε σε κάποιον πελάτη της βιομηχανίας διαγράφοντας έναν κύκλο ζωής. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται σε απόβλιττα μηχανουργιών από τις κατεργασίες.

Στις δύο περιπτώσεις θα εφαρμοστεί η ίδια μέθοδος ανακύκλωσης πρώτης ύλης εφόσον είναι και τα δύο μέταλλα. Όμως στην πρώτη κατηγορία επιβάλλεται να υπάρχουν και κάποια στάδια προηγουμένως για να απομονωθεί το υλικό που πρόκειται να ανακυκλωθεί.

Μια εγκατάσταση μηχανουργικών κατεργασιών έχει πολλά επιπλέον απόβλιττα εκτός από τα μεταλλικά απόβλιττα. Πιο συγκεκριμένα, κατηγοριοποιήθηκαν νωρίτερα τα απόβλιττα από ένα μηχανουργείο σε μεταλλικά/μη-μεταλλικά απόβλιττα ή σε κύρια/συμπληρωματικά απόβλιττα. Στα κύρια/μεταλλικά απόβλιττα εντάσσονται όλα τα μεταλλικά στοιχεία που δεν έχουν χρηστική αξία στη μορφή που είναι. Στα συμπληρωματικά/μη-μεταλλικά εντάσσονται άλλα παράγωγα όπως ανθρακονήματα, πλαστικά, τεφλόν, PLA, χημικά, λύματα, ύδατα απόβλιττα. Στην παρούσα εργασία μελετάται μόνο η διαχείριση των μετάλλων.

Υποκατηγορία των μεταλλικών αποβλήτων είναι τα απόβλιττα τα οποία παράγει το μηχανουργείο κατά την κατασκευή ενός τεμαχίου. Υπάρχουν ακόμα και τα απόβλιττα από την αστοχία κάποιου τεμαχίου κατά τη χρήση του εντός του μηχανουργείου ή εκτός αυτού. Επομένως, οι δύο αυτές κατηγορίες έχουν διαφορετική διαχείριση. Όσον αφορά τα απόβλιττα εντός του μηχανουργείου όπως π.χ. γρέζια είναι απλός ο σχεδιασμός διότι απλά πρέπει να συγκεντρώνονται και μετά να ανακυκλώνονται. Στα απόβλιττα τα οποία αστοχούν ή φθείρονται εκτός του μηχανουργείου πρέπει να επανασχεδιαστεί η κατασκευή τους για να είναι ευκολότερη η αποσυναρμολόγησή τους από τους πελάτες της μηχανουργικής βιομηχανίας.

3.6 Διαχείριση ανάλογα με το είδος του μεταλλικού αποβλήτου

Για τα μεταλλουργικά προϊόντα που έχουν υποστεί αστοχία, βλάβη ή έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους κατά τη διάρκεια της χρήσης τους και αυτά τα απόβλιττα που συλλέγονται από τους χώρους υγειονομικής ταφής που είδη υπάρχουν ισχύει ότι:

- Κάποια προϊόντα μηχανουργικών διαδικασιών δεν αποτελούνται μόνο από μέταλλο αλλά και από άλλα συμπληρωματικά εξαρτήματα. Τα μηχανουργικά προϊόντα που αποτελούνται από περισσότερα του ενός υλικά (Poly-substances) χρειάζεται να αποσυναρμολογούνται και να χωρίζονται τα υλικά τους. Παραδείγματος χάριν τα γρανάζια που αποτελούνται από τεφλόν χωρίζονται σε μεταλλικά και μη μέρη. Τα μεταλλικά μέρη με τη σειρά τους πρέπει να κατηγοριοποιούνται ώστε μετά την ανακύκλωση να μην περιλαμβάνουν προσμίξεις άλλων μετάλλων και να είναι «ατόφια» κράματα. Έτσι θα μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν και να επανενταχθούν στην αγορά, στη βιομηχανία και στα μηχανουργεία.

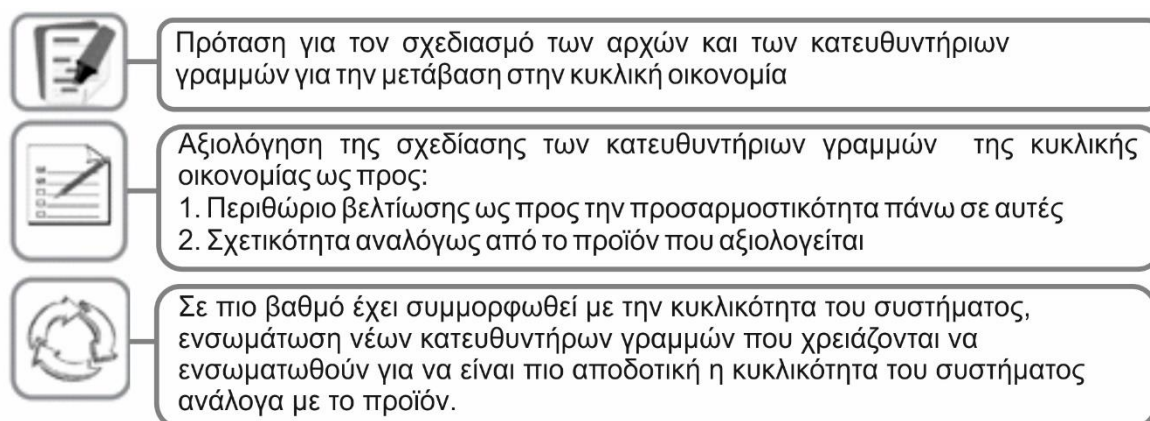
- Τα προϊόντα που αποτελούνται από μια ουσία, εκείνα δηλαδή που δεν αποτελούνται από επιμέρους εξαρτήματα (mono-substance) είναι τα πλέον συνηθισμένα όσον αφορά τα μηχανολογικά προϊόντα και γενικά είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες. Τα απλά μέταλλα πρέπει να καθαρίζονται πολύ σχολαστικά (π.χ. αφαίρεση σκουριάς) πριν ανακυκλωθούν. Έτσι το υλικό που πρόκειται να έχει ένα δεύτερο κύκλο ζωής θα είναι ποιοτικά αντίστοιχο με ένα που έχει εξορυχθεί μόλις και πρόκειται να επεξεργαστεί για πρώτη φορά. Επιπλέον, κάποιες φορές έχει παρατηρηθεί ότι περιλαμβάνει και επικίνδυνες ουσίες, μικρά θραύσματα από άλλα μέταλλα που απαιτείται να απομακρύνονται πριν ανακυκλωθούν.
- Χρειάζεται ιχνηλάτηση επικίνδυνων ουσιών ή προσμίξεων πριν την ανακύκλωση.
- Στα συγκεκριμένα υλικά εφαρμόζεται συμπίεσή τους εν ψυχρώ “cold pressing method” για να γίνουν μια συμπαγής μάζα όλα τα όμοια μέταλλα, να καταλαμβάνουν μικρό όγκο και να είναι πιο διαχειρίσιμα.

Για τα απόβλητα των πρώτων υλών στις μονάδες παραγωγής μηχανουργικών προϊόντων απαιτείται:

- Αξιολόγηση και διαλογή των αποβλήτων σε όμοια υποσύνολα σύμφωνα με ένα κοινό πρότυπο. Η Ευρωπαϊκή ένωση έχει δεσμευτεί ότι θα τυποποιήσει αυτές τις διαδικασίες διαλογής με νέα Ευρωπαϊκά πρότυπα.
- Ιχνηλάτηση επικίνδυνων ουσιών ή προσμίξεων πριν την ανακύκλωση.
- Ενίσχυση της τυποποίησης με βάση την αξιολόγηση των μετάλλων και των υφιστάμενων εργασιών με κοινή τυποποίηση σε εθνικό, ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο.
- Συμπίεση με εν ψυχρώ μέθοδο, για να καταλήγουν τα όμοια μέταλλα σε μικρότερες και πιο εύκολα διαχειρίσιμες μορφές για επαναχρησιμοποίηση.

3.7 Μεθοδολογία για προϊόντα κατά την κατασκευή τους στο μηχανουργείο

Προκειμένου να εκπληρωθούν οι στόχοι για τη μετάβαση από γραμμικά μοντέλα σε Κυκλική οικονομία, προηγείται ο προσδιορισμός των κατευθυντήριων γραμμών που επιτρέπουν τη βελτίωση του σχεδιασμού ενός προϊόντος από τη σκοπιά της Κυκλικής οικονομίας όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Για τη μετατροπή, προτείνεται ο σχεδιασμός των προϊόντων να πραγματοποιείται σε τρία στάδια σύμφωνα με την ακόλουθη μεθοδολογία.



Σχήμα 3.5: Μεθοδολογία ανασχεδιασμού προϊόντων εντός ενός μηχανουργείου.

Στο πρώτο στάδιο, οι κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού που απαιτούνται για τη μετάβαση από το γραμμικό στο κυκλικό σχεδιασμό προϊόντων αφορούν μια διεξοδική αναθεώρηση του προηγούμενης καθιερωμένου μοντέλου παραγωγής. Έτσι, σαν αρχικό

στάδιο επανασχεδιάζεται το προϊόν για να είναι ευκολότερη η διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής του, σύμφωνα με τις αρχές που καθορίζονται στο πλαίσιο της Κυκλικής οικονομίας (ελάττωση των κομματιών που απαρτίζουν ένα εξάρτημα).

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται μια λίστα από ενδεικτικές ενέργειες που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για να σχεδιαστούν οι μηχανουργικές κατεργασίες με αρχές από μια Κυκλική οικονομία.

Στο δεύτερο στάδιο, καθορίζονται τα κριτήρια για τη μέτρηση του περιθωρίου βελτίωσης του σχεδιαζόμενου προϊόντος. Με βάση το επίπεδο συμμόρφωσης κάθε κυκλικού σχεδιασμού, θα εφαρμόζεται ανάλογα η εκάστοτε κατευθυντήρια γραμμή ή θα αποσύρεται. Στη συνέχεια θα εξετάζεται η συνάφεια κάθε κυκλικής κατευθυντήριας γραμμής σχεδιασμού για συγκεκριμένη κατηγορία προϊόντων, για να γενικεύεται ότι λειτουργεί σωστά.

Τέλος, στο τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας και τα δύο κριτήρια (περιθώριο βελτίωσης και συνάφεια) συνδυάζονται με τον προσδιορισμό των οδηγιών κυκλικού σχεδιασμού που πρέπει να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό του προϊόντος για βελτίωση της κυκλικότητάς του. Όλα αυτά τα στάδια παρουσιάζονται λεπτομερώς σε επόμενα κεφάλαια.

Κατευθυντήριες γραμμές για τον ανασχεδιασμό των μηχανουργικών κατεργασιών με αρχές της κυκλικής οικονομίας

1. Δημιουργία ενός αρθρωτού σχεδίου.
2. Εντοπισμός των μη ανακυκλώσιμων μερών σε περιοχές που αφαιρούνται εύκολα.
3. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των συστατικών.
4. Εξασφάλιση αντοχής στη συσσώρευση ρύπων.
5. Χρήση τυποποιημένων αρθρώσεων.
6. Ελαχιστοποίηση των παραλλαγών των προϊόντων.
7. Βελτίωση αναλογίας μεταξύ εργασίας που απαιτείται για ανάκτηση εξαρτήματος και της αξίας του.
8. Αποφύγετε η χύτευση ή ασυμβίβαστων υλικών.
9. Εξετάστε τη χρήση μιας ενεργής αποσυναρμολόγησης.
10. Προτεραιότητα στην ασφάλιση σε βίδες και μπουλόνια.
11. Ενοποίηση των βιδών.
12. Ελαχιστοποίηση στους τύπους συνδέσεων.
13. Χρησιμοποίηση συνδετήρων αντί για κόλλες.
14. Αναμόρφωση των αρθρώσεων σε ορατές και προσβάσιμες.
15. Χρήση στηριγμάτων που είναι εύκολο να αφαιρεθούν.
16. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των αρμών και των συνδέσεων.
17. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των εργαλείων και χρήση οδηγών push / pull.
18. Φιλική προς τον χρήστη η αποσυναρμολόγηση.
19. Χρήση αδιαχώριστων συνδέσμων για εξαρτήματα κατασκευασμένα από το ίδιο ή συμβατό υλικό.
20. Χρήση υλικού με χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
21. Χρήση εξαρτημάτων κατασκευασμένων από καθαρά υλικά.
22. Ελαχιστοποίηση στον αριθμό των διαφορετικών υλικών
23. Αποφυγή επικαλύψεων.
24. Χρήση ανακυκλωμένων και ανακυκλώσιμων υλικών.
25. Χρήση υλικών ανθεκτικών στις διαδικασίες καθαρισμού για επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων.
26. Μείωση του υλικού και της ενέργειας που απαιτείται κατά τη διαδικασία κατασκευής.
27. Διασφάλιση της ταυτοποίησης υλικών με χρήση κωδικών.
28. Χρήση μετάλλων χαμηλής κραμάτωσης.
29. Χρήση χυτοσίδηρου.
30. Χρήση εξαρτημάτων και μετάλλων με επαληθευμένη αξιοπιστία.
31. Αποφυγή συνδυασμού στοιχείων που έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής.
32. Αποφυγή της χρήσης εξαρτημάτων που απαιτούν συχνή αντικατάσταση / επισκευή.
33. Ελαχιστοποίηση της φθοράς.
34. Ελαχιστοποίηση του βάρους των συστατικών.
35. Χρήση εξαρτημάτων με το κατάλληλο μέγεθος για εύκολο χειρισμό.
36. Ευκολότερη προσβασιμότητα των στοιχείων.
37. Αποφυγή της αποσυναρμολόγησης των κομματιών.
38. Απλοποίηση τη δομή του προϊόντος.
39. Κατασκευή εξοπλισμού παρακολούθησης στο σύστημα.
40. Εύκολη εκτέλεση εργασιών συντήρησης
41. Τοποθέτηση εξαρτημάτων που συχνά πρέπει να συντηρούνται σε εύκολα προσβάσιμο μέρος.
42. Εξάλειψη της ανάγκης για διαδικασίες αποσυναρμολόγησης.
43. Χρήση απλών και τυπικών εργαλείων.

Σχήμα 3.6: Λίστα ενδεικτικών ενεργειών για τις μηχανουργικές κατεργασίες σύμφωνα με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας.

3.8 Οδηγίες για τα προϊόντα

Στη συνέχεια, μετά την παραπάνω αναθεώρηση όσον αφορά τη σχεδίαση των προϊόντων, αφού περάσει από το μηχανουργείο στα χέρια του πελάτη πρέπει να αναπτυχθούν ορισμένες προδιαγραφές. Αρχικά πρέπει για κάθε προϊόν να υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες για αποσυναρμολόγηση, όσο απλό ή περίπλοκο και να είναι το κάθε τεμάχιο. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η αποσυναρμολόγησή του για τη συντήρηση της μηχανής. Πρέπει να προβλέπονται ο καθαρισμός και η λίπανση με στόχο να παραταθεί η διάρκεια ζωής του και να καθυστερήσει η ανακύκλωσή του σε έναν επόμενο κύκλο ζωής. Ακόμα, χρειάζεται να επισυνάπτονται λίστες με όλα τα ανταλλακτικά που μπορεί να παρουσιάσουν αστοχία για να είναι εύκολη η σωστή επιλογή του κατάλληλου ανταλλακτικού, ακόμα και εναλλακτικών επιλογών. Χρειάζεται επίσης να αποφεύγεται η απαίτηση για εξεζητημένα εργαλεία για την επισκευή ενός εξαρτήματος.

Όταν πλέον δε χωράνε επισκευές για το προϊόν, τότε έχει πραγματοποιήσει τον πλήρη κύκλο της ζωής του το συγκεκριμένο προϊόν ή κάποιο από τα κομμάτια που το απαρτίζουν, οπότε πρέπει να προχωρήσει η διαδικασία της αποσυναρμολόγησής του. Έπειτα θα πρέπει να χωρίζονται τα επιμέρους μέταλλα ανάλογα με το είδος του υλικού σε κατηγορίες σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Αν υπάρχουν πλαστικά ή τεφλόν πρέπει να απομακρύνονται και να ανακυκλώνονται ξεχωριστά. Τα διάφορα μέταλλα και κράματα μετάλλων απαιτείται να καθαρίζονται σχολαστικά από τη μονάδα ανακύκλωσης, τη βιομηχανία και την επιχείρηση για να μην υπάρχουν προσμίξεις από άλλα μέταλλα ή άλλες ουσίες, έτσι ώστε η δευτερεύουσα πρώτη ύλη να είναι ποιοτικά ίση με τη πρωτεύουσα. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται κατακόρυφα τα εργοστασιακά απόβλητα και γεμίζουν οι αποθήκες των εργοστασίων με μέταλλα, τα οποία διαθέτουν χρηστική αξία. Μελλοντικά ακολουθώντας το νέο πλάνο Κυκλικής οικονομίας θα είναι σε πολύ μικρό βαθμό απαραίτητη η εισαγωγή μετάλλων στην Ευρώπη και θα υπάρχουν τεχνητά «ορυχεία» κατασκευασμένα από τον άνθρωπο γεμάτα από μέταλλα.

3.9 Πρόγραμμα μηδενικών αποβλήτων

Η νέα πρόταση για τη διαχείριση όλων των αποβλήτων συνοψίζεται στα βήματα που παρουσιάζονται στο σχήμα 3.7 [34-38].

Διαχείριση όλων των αποβλήτων

- (1) Ενημέρωση επιχειρήσεων για το σχέδιο δράσης και επικοινωνία για διευκρινίσεις.
- (2) Καθορισμός νέων εγκαταστάσεων και μέτρων με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα υλοποίησης με κάλυψη ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων: Από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση αποβλήτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών.
- (3) Έλεγχος για την ομαλή λειτουργία αυτών των μέτρων και την ορθή υλοποίησή τους.
- (4) Σε περίπτωση που δεν υλοποιούνται όπως προβλέπετε ή δεν λειτουργούν αναθεωρούνται οι νομοθετικές προτάσεις για τα απόβλητα.
- (5) Οδηγία / πλαίσιο για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και τα απορρίμματα συσκευασίας.

Σχήμα 3.7: Νέα πρόταση για τη διαχείριση όλων των αποβλήτων [39].

Οι κατευθυντήριες γραμμές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν για να ανασχεδιαστούν οι μηχανουργικές κατεργασίες σύμφωνα με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας παρουσιάζονται στο σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.8: Κύκλος εργασιών Κυκλικής οικονομίας.

Ο κύκλος εργασιών της Κυκλικής οικονομίας συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

- Ακατέργαστες πρώτες ύλες
- Σχεδιασμός
- Παραγωγή και ανακατασκευή
- Διανομή
- Κατανάλωση
- Τέλος του κύκλου ζωής
- Χρήση/Επιδιόρθωση/Επισκευή
- Επαναχρησιμοποίηση
- Συλλογή
- Διαλογή
- Ανακύκλωση
- Εκ νέου ακατέργαστη πρώτη ύλη

Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένας κύκλος εργασιών, μια επανάληψη η οποία έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και με την υιοθέτησή της θα ανακουφιστεί η φύση. Αυτό το μοτίβο αντιπροσωπεύει τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας, την ελάττωση των περιττών υλικών και την ένταξη του υλικού σε μια κυκλική διαδικασία ανακύκλωσης και όχι απόρριψης των πρώτων υλών στους χώρους υγειονομικής ταφής.

3.10 Μεθοδολογίες ανακύκλωσης μετάλλων

Μια από τις παραδοσιακές μεθόδους ανακύκλωσης μετάλλου είναι η τήξη του μετάλλου για να μετατραπεί το απόβλητο ή το φθαρμένο τεμάχιο σε νέο προϊόν, όπως

προαναφέρθηκε. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι καταναλώνεται πολλή ενέργεια για να θερμανθεί τόσο το μέταλλο ώστε να τηχθεί και ότι δεν έχουν τη δυνατότητα όλα τα μηχανουργεία να έχουν πρόσβαση σε μια τέτοια εγκατάσταση. Η μέθοδος ψυχρής πίεσης και συμπίεσης χωρίς τήξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σιδηρούχα και μη-σιδηρούχα μέταλλα. Το μεγάλο πλεονέκτημα έναντι της μεθόδου της τήξης είναι ότι είναι πολύ πιο αποδοτική, δηλαδή καταναλώνει λιγότερη ενέργεια. Άρα τα μέταλλα προτού τηχθούν μπορούν πρώτα να κοπούν και να συμπιεστούν ψυχρά, έτσι ώστε να εξοικονομηθεί ενέργεια.

3.11 Μέταλλα, κράματα μετάλλων και διαλογή

Τα μεταλλικά εξαρτήματα αποτελούνται συχνά από κράματα μετάλλων που κατασκευάζονται με διάφορες μεθόδους από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της βιομηχανίας και των κατασκευών. Συνολικά υπάρχουν 86 μέταλλα με διαφορετικές ιδιότητες. Όμως ένας μικρός αριθμός από αυτά εξυπηρετεί μηχανολογικούς σκοπούς και συμμετέχει σε μηχανουργικές κατεργασίες [27]. Η ανακύκλωση μετάλλων και κραμάτων βρίσκεται στο μικροσκόπιο της επιστήμης καθώς τα μέταλλα διατηρούν τις ιδιότητές τους με κατάλληλες διεργασίες επ' άπειρο [28]. Το μέταλλο για το οποίο παρατηρείται εκτεταμένη ανάλυση στη βιβλιογραφία είναι το τιτάνιο. Άλλα μέταλλα που χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα τόσο σε κατεργασίες προσθήκης όσο και στις κατεργασίες αφαίρεσης υλικού είναι το αλουμίνιο [29], το ανοξείδωτο ατσάλι [30], ο χαλκός [31] και το μαγνήσιο [32]. Επιπλέον, ανακυκλώνονται και πολύτιμα ή σπάνια μέταλλα όπως είναι το Σαμάριο και το Νεοδύμιο [33]. Η μικρό-δομή των παραπάνω μετάλλων έχει αξιολογηθεί και λόγω των ευνοϊκών ιδιοτήτων τους ως προς την αντοχή και ως προς την ποιότητα επιφάνειας βρίσκοντας εφαρμογή σε ποικίλες κατασκευές.

Σημαντικό βήμα για την ανακύκλωση μετάλλων είναι η σωστή διαλογή. Η σωστή διαλογή είναι σημείο κλειδί για τη σωστή εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας. Με την εφαρμογή με ορθό τρόπο της διαλογής των μετάλλων το αρχικό προϊόν είναι εξίσου καλής ποιότητας με το τελικό. Με αυτήν τη μέθοδο τα προϊόντα που προέρχονται από ανακύκλωση θα είναι ίσης αξίας και ποιότητας με αυτά που προέρχονται από υλικά που έχουν εξορυχθεί. Η διαλογή των μετάλλων γίνεται σε εργοστασιακό επίπεδο με τους ακόλουθους τρόπους:

- Μαγνητισμό
- Διαχωρισμός μετάλλων με δινορεύματα

Ο μαγνητισμός είναι η πιο συνήθης μέθοδος διαχωρισμού και εφαρμόζεται με επιτυχία στους περισσότερους χάλυβες. Έλκονται από το μαγνητικό πεδίο τα μαγνητικά υλικά ενώ δεν υπακούνε στις μαγνητικές δυνάμεις τα μη μαγνητικά υλικά.

Τα δινορεύματα αποτελούν μια μορφή επαγωγικών μεθόδων ηλεκτρικών ρευμάτων που ρέουν σε κυκλική διαδρομή. Ονομάζονται έτσι από τις «δίνες» που σχηματίζονται όταν ένα υγρό ή αέριο ρέει σε μια κυκλική τροχιά γύρω από εμπόδια όταν το επιτρέπουν οι συνθήκες. Με αυτήν τη μέθοδο έλκονται εξίσου τα μεταλλικά και τα μη μεταλλικά υλικά. Όσον αφορά τα μεταλλικά υλικά, έλκονται όλα τα μέταλλα που δεν περιέχουν σίδηρο ή κράματα σιδήρου τα οποία ονομάζονται μη σιδηρούχα μέταλλα. Ανάλογα με την πυκνότητά τους χωρίζονται σε:

- Ελαφρά μέταλλα με πυκνότητα μικρότερη από 2000 kg/m^3 (Μαγνήσιο)
- Μέτρια σε βάρος μέταλλα με πυκνότητα από 2000 kg/m^3 μέχρι 5000 kg/m^3 (Αλουμίνιο, Τιτάνιο)
- Βαριά μέταλλα με πυκνότητα μεγαλύτερη από 5000 kg/m^3 (Χαλκός, Νικέλιο, Τιτάνιο, Χρώμιο)

Για περαιτέρω διαλογή των μεταλλικών προϊόντων εφαρμόζεται η μέθοδος «color-sorting». Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε εργαστηριακό επίπεδο. Σε βιομηχανικό επίπεδο δεν έχει εφαρμοστεί πλήρως στην παρούσα φάση εφόσον απαιτεί κάποιο αυτοματοποιημένο τρόπο για αναγνώριση των μετάλλων από το χρώμα τους. Μέχρι τώρα αυτή η διαλογή γίνεται με το χέρι.

3.12 Μέθοδος τήξης μετάλλου

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα μοντέλο για την τήξη των μετάλλων το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανακύκλωσή τους. Αφού γίνει η διαλογή των μετάλλων αυτά συγκεντρώνονται σε εγκαταστάσεις και με την παρουσία μεγάλης θερμοκρασίας τήκονται. Στην συνέχεια τα τηγμένα μέταλλα εκχύνονται σε καλούπια και αφού επανέλθουν στη στερεή τους κατάσταση, αποκτούν όλες τις μεταλλικές τους ιδιότητες. Έτσι είναι έτοιμα να πραγματοποιήσουν έναν νέο κύκλο ζωής. Οι θερμοκρασίες τήξης των μετάλλων είναι τυποποιημένες για κάθε μέταλλο. Με την κατάλληλη εγκατάσταση μπορούν να εφαρμοστούν από κάθε αντίστοιχη μονάδα παραγωγής. Στόχος αυτής της μεθόδου είναι να πραγματοποιείται το πρώτο στάδιο για την ανακύκλωση μετάλλων.

Σε αυτήν τη μέθοδο είναι πολύ σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός των εξαρτημάτων ή των αποβλήτων αντίστοιχα ώστε κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης να μην υπάρχουν προσμίξεις από άλλα μέταλλα. Διαφορετικά πρέπει να αναμιγνύονται ίδια κράματα μετάλλων έτσι ώστε το τελικό ανακυκλωμένο προϊόν να είναι όμοιο με το μέταλλο που εξορύσσεται όπως αναλύθηκε και προηγουμένως.

Αφού αποσυναρμολογηθεί το εκάστοτε εξάρτημα και καθαριστεί από σκουριά ή από άλλες προσμίξεις, πρέπει να γίνεται διαλογή στα όμοια κράματα και μέταλλα έτσι ώστε να τηχθούν και να ανακυκλωθούν καθαρά κράματα χωρίς προσμίξεις. Το τήγμα χυτεύεται σε καλούπια διαφόρων μεγεθών ανάλογα με την εκάστοτε ανάγκη σε εξαρτήματα. Τα καλούπια διαφοροποιούνται σε μέγεθος ανάλογα με τον τομέα που δραστηριοποιείται η κάθε βιομηχανία μετάλλων. Για παράδειγμα γίνεται χύτευση σε μικρά τεμάχια αν πρόκειται για μηχανουργείο που ασχολείται με μικροκοπές και σε μεγάλα αν δραστηριοποιείται σε μεγαλύτερες κατασκευές.

Τα μέταλλα, ανάλογα με τη θερμοκρασία τήξης τους χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες [39]:

- Εύτηκτα μέταλλα
- Μεσαίας τήξης μέταλλα
- Πυρίμαχα μέταλλα

Τα Εύτηκτα μέταλλα έχουν σημείο τήξης λιγότερο από 600°C. Παράδειγμα τέτοιων μετάλλων είναι ο βισμούθιο, ο κασσίτερος, ο ψευδάργυρος. Τέτοια μέταλλα δεν έχουν πολύ μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις.

Τα Μεσαίας τήξης μέταλλα μεταβαίνουν από τη στερεά στην υγρή κατάσταση σε θερμοκρασίες από 600-1600°C. Τα κυριότερα μέταλλα είναι ο χαλκός, το σίδηρο, το αλουμίνιο και επίσης ένα μέρος από ορισμένα κράματα. Συνήθως ο χαλκός αναμειγνύεται με κράματα πολύτιμων μετάλλων όπως ο χρυσός και η πλατίνα. Το αλουμίνιο είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο καθώς είναι ελαφρύ, όλκιμο και οικονομικό εφόσον τήκεται στη χαμηλή θερμοκρασία των 660°C. Επίσης, ένα από τα πιο προσιτά μέταλλα είναι ο σίδηρος που το σημείο τήξης του είναι 1539°C και οι ιδιότητές του το κάνουν τόσο δημοφιλές έναντι των υπολοίπων: είναι αρκετά όλκιμο, ελαφρύ, δεν οξειδώνεται ή σκουριάζει και είναι ιδιαίτερα οικονομικό.

Τα Πυρίμαχα μέταλλα φτάνουν σε θερμοκρασία άνω των 1600°C όπως το τιτάνιο, το βολφράμιο, την πλατίνα και το χρώμιο.

Στην περίπτωση ενός κράματος οι ιδιότητες ποικίλουν ανάλογα με τα μέταλλα που το αποτελούν. Συνοπτικά, η κάθε μονάδα μηχανουργικών διαδικασιών απαιτεί άλλες εγκαταστάσεις ανάλογα με το μέγεθος των μετάλλων που επεξεργάζονται και με τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων που χρησιμοποιούνται. Μετά μπορούν να χυτευτούν σε καλούπια (χελώνες ή κάποια άλλη μορφή) που θα εξυπηρετεί τους σκοπούς των μηχανουργικών διαδικασιών της βιομηχανίας όπως π.χ. να το επεξεργαστεί για να γίνει πούδρα και να αποθηκευτεί. Μπορεί επίσης να αποθηκεύονται όγκοι μετάλλου σε μονάδες αποθήκευσης υπό ειδικές συνθήκες για να μη σκουριάζουν και δημιουργηθούν ανθρωπογενή ορυχεία με μέταλλα. Σε ορισμένες βιομηχανίες πιθανώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν κατευθείαν σε κάποια εφαρμογή που θα ήταν και το ορθολογικότερο από ενεργειακή σκοπιά. Ωστόσο είναι πολύ περίπλοκο να προβλεφθεί η ζήτηση που θα έχει το προϊόν για να είναι ετοιμοπαράδοτο ενέχοντας τον κίνδυνο να καθυστερήσει η παράδοση των προϊόντων.

Με την παρούσα τεχνολογία, η πιο συνήθης πρακτική ανακύκλωσης μετάλλου είναι η ακόλουθη. Μετά το διαχωρισμό των μετάλλων χωρίζονται σε καζάνια, εισάγονται ηλεκτρόδια στο καζάνι και από τις τρεις φάσεις ρεύματος, την πρώτη, τη δεύτερη και την τρίτη αναπτύσσεται βολταϊκό τόξο και τήκεται το μέταλλο. Χρειάζεται μεγάλη ποσότητα ρεύματος για να γίνει με επιτυχία η διαδικασία. Για ένα εργοστάσιο μικρής-μεσαίας κλίμακας απαιτούνται 100 Megawatt, που αντιστοιχεί σε τάξη μεγέθους στην ισχύ του ρεύματος που χρειάζεται η μισή Κρήτη για μία τυπική μέρα.

Οι κατεργασίες εν θερμώ που γίνονται σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία αναक्रυστάλλωσης πραγματεύονται πλαστικές παραμορφώσεις. Σε αυτήν την περίπτωση είναι γρηγορότερη η παραγωγή τεμαχίων διότι πραγματοποιείται ταυτόχρονα αναक्रυστάλλωση και πλαστική παραμόρφωση. Η θέρμανση των κραμάτων τα κάνει πιο κατεργάσιμα, λιγότερο όλκιμα και μειώνεται το όριο διαρροής.

Οι επικρατέστερες διαμορφώσεις εν θερμώ είναι:

- Εξώθηση
- Θερμή έλαση
- Πίεση εν θερμώ
- Σφυρηλάτηση

Όταν οι πλαστικές παραμορφώσεις γίνονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, στο μέγιστο 0,3 της θερμοκρασίας τήξης του μετάλλου, χαρακτηρίζονται ως διαμορφώσεις εν ψυχρώ. Αυτή η διαμόρφωση γίνεται συνήθως σε συνέχεια από το χυτήριο. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός παραγωγής είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με το ρυθμό παραγωγής της παραγωγής μετάλλων εν θερμώ διότι χρειάζονται ενδιάμεσες ανοπτήσεις του μετάλλου. Η εν ψυχρώ διαμόρφωση κραμάτων γίνεται σπανιότερα σε σύγκριση με την εν θερμώ, σε περιπτώσεις κραμάτων που έχουν υψηλή ψαθρότητα και σε εξαιρετικά εύπλαστα κράματα.

Οι επικρατέστερες διαμορφώσεις εν ψυχρώ είναι:

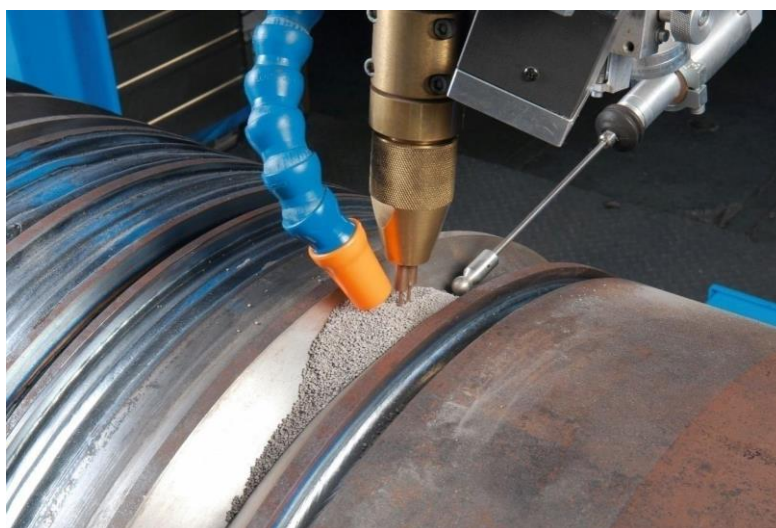
- Περιώθηση
- Ολκή
- Ψυχρή έλαση
- Βαθεία κοίλανση
- Απότημηση

Ψυχρή διαμόρφωση πραγματοποιείται επίσης και μετά από τη θερμή, για να επιτευχθεί καλή ποιότητα επιφάνειας, για αύξηση της σκληρότητας και για διαστατική ακρίβεια.

3.13 Μέθοδος συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο

Όπως είδαμε και προηγουμένως ο κύριος τρόπος για την ανακύκλωση μετάλλων είναι η τήξη τους σε υψηλή θερμοκρασία, ωστόσο δεν είναι πάντα εφικτή η εφαρμογή αυτής της μεθόδου παγκοσμίως. Τι γίνεται μετά την αστοχία των κοπτικών εργαλείων; Ένας εναλλακτικός τρόπος ανακύκλωσης είναι η συγκόλληση με βυθισμένο τόξο (submerged arc welding). Η συγκόλληση με βυθισμένο τόξο (SAW) είναι μια κοινή διαδικασία συγκόλλησης τόξου [40].

Η μέθοδος συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο είναι μια βιώσιμη μέθοδος που μετά την εφαρμογή της δημιουργούνται σκληρές επιφάνειες. Ανταποκρίνεται πλήρως στις αρχές της κυκλικής παραγωγής, διότι έχει οφέλη όπως η εξοικονόμηση πρώτων υλών με το να αντικαθιστά κάποια υλικά εισόδου, η μείωση της ποσότητας των βιομηχανικών αποβλήτων καθώς και η πιθανή αύξηση του κέρδους. Με τέτοιες οικολογικές πρακτικές παραγωγής και αντικατάσταση με τις συμβατικές γραμμικές διεργασίες αυξάνονται οι δείκτες Κυκλικής οικονομίας [41]. Η προτεινόμενη τεχνολογία χρησιμοποιεί βιομηχανικά απόβλητα που είναι οικονομικά σε σύγκριση με τα ακατέργαστα υλικά για την παραγωγή σκληρών επιφανειών κατάλληλων για εργασίες που απαιτούν επιφάνειες οι οποίες θα υποστούν σοβαρές συνθήκες φθοράς και χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα σκληρές. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι μια αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον προσέγγιση για δευτερεύουσα χρήση βιομηχανικών υποπροϊόντων.



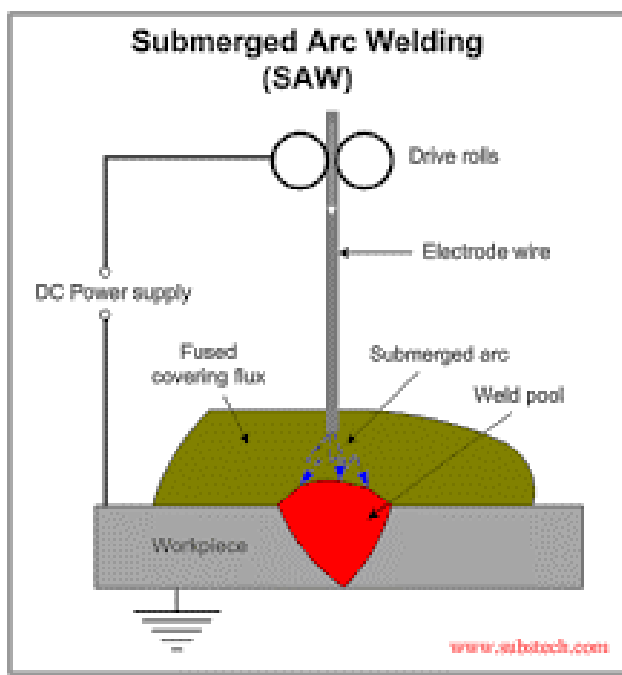
Σχήμα 3.9: Συγκόλληση με βυθισμένο τόξο.

Αποτελεί ένα εναλλακτικό τρόπο για να χρησιμοποιηθούν τα θρύμματα και τα μικρά κομμάτια από τα απόβλητα μετάλλου που περιέχουν καρβίδια όπως είναι το τιτάνιο ή το βανάδιο για την παραγωγή σκληρών επιφανειών [42]. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ανανεώσιμων επιφανειών, δηλαδή όταν φύγει η επίστρωση να μπορεί να ξαναπεραστεί από πάνω με νέο στρώμα. Για να εξασφαλιστεί ο σχηματισμός καρβιδίων, στο μείγμα προστίθενται χρώμιο και άνθρακας σε σκόνη, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9.

Οι μελέτες επικεντρώθηκαν στην επαναχρησιμοποίηση χαλύβδινων πολύ μικρών κομματιών από τη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα για μερική αντικατάσταση της άμμου στην παραγωγή σκυροδέματος [43]. Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές αναλογίες αποβλήτων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υψηλότερη αντοχή σε θλίψη από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτρέπει την εκμετάλλευσή του για την κατασκευή προστατευτικών επιστρώσεων σε άλλες επιφάνειες μετάλλων.

Σε μια μελέτη [44] προτάθηκε να εφαρμοστούν μέθοδοι που απομακρύνουν το πρωτοξείδιο του αργιλίου και σιδήρου από τα απόβλητα λείανσης (J240-W) πλούσια σε καρβίδιο του βορίου (B₄C) που είναι από τα σκληρότερα υλικά. Το ανακτημένο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή λειαντικού υλικού W5 και θωρακισμένου υλικού W0.5. Η έρευνα [45] δείχνει ότι είναι εφικτό να αναπτυχθεί μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος για να ανακυκλώνονται τα απορρίμματα καρβιδίου βορίου, παράγοντας σύνθετα κεραμικά B₄C/Al και προσθέτοντας συγκεκριμένη ποσότητα αλουμινίου.

Το συνδετικό εμπλουτισμένο υλικό με TiC με βάση το σίδηρο παράγεται από αργιλοθερμική αναγωγή άμμου που είναι υποπροϊόν της εγκατάστασης εξόρυξης αλουμινίου (Fe, Ti, Si κ.λπ., οξείδια). Το σύνθετο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό εργαλείου κοπής, σαν στρώμα επικάλυψης για να αυξηθεί η σκληρότητα, για μηχανές βαφής χάλυβα και μπορεί να αντικαταστήσει τα εργαλεία κοπής HSS. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης αντίστασης στην παρουσία υψηλής θερμοκρασίας δεν μπορεί να λειτουργήσει με υψηλές ταχύτητες κοπής.



Σχήμα 3.10: Συγκόλληση με βυθισμένο τόξο.

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου στην επιφάνεια του τεμαχίου παρουσιάζεται ένα νέο μεταλλικό πλέγμα, που παράγεται από βιομηχανικά θραύσματα χυτοσιδήρου και χαλκό-κασσίτερο [46]. Είναι μια νέα βιώσιμη μέθοδος για την κατασκευή ενός υλικού με μεγάλη αντίσταση στην τριβή, με καλή απόσβεση κραδασμών που προκύπτει από το πορώδες και υψηλή αντοχή.

Τα θραύσματα από ανοξείδωτο ατσάλι, με προσθήκη καρβιδίου βαναδίου, μπορούν να ανακυκλωθούν με τη μέθοδο της πυροσυσσωμάτωσης [57]. Το μεταλλικό-κεραμικό σύνθετο υλικό έχει χαμηλότερη πυκνότητα, ελαφρώς υψηλότερο πορώδες (15%) και χαμηλότερη (13%) σκληρότητα, γεγονός που σχετίζεται με την παρουσία των καρβιδίων στην επιφάνεια των σωματιδίων. Για την εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική διαδρομή για την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση θραυσμάτων χάλυβα.

Κοπτικά εργαλεία από ταχυχάλυβα HSS (High-speed steel) και ο χάλυβας υψηλής περιεκτικότητας χρωμίου εμπλουτισμένος με σημαντική ποσότητα καρβιδίων εμφανίζουν σκληρότητα πάνω από 60 HRC. Η κλίμακα Rockwell C με ακρωνύμιο HRC (Hardness

Rockwell C) χρησιμοποιείται για τη σκληρότητα. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός σε αυτήν την κλίμακα, τόσο πιο σκληρό και πιο δύσκαμπτο είναι το υλικό. Η κλίμακα Rockwell C είναι κατάλληλη για τη μέτρηση της σκληρότητας των χαλύβων. Έχουν επίσης υψηλή αντοχή στην τριβή λόγω της αρκετά υψηλής περιεκτικότητας βολφραμίου και βαναδίου [48].

Τα υλικά κοπής καρβιδίου και βολφραμίου μπορούν να παραχθούν αποτελεσματικά τόσο από ακατέργαστη πούδρα όσο και από ανακυκλωμένη πούδρα με τη διαδικασία σύντηξης [49]. Τα παρασκευασμένα δείγματα ανακυκλώνονται με τη μέθοδο τήξης ψευδαργύρου και στη συνέχεια λαμβάνεται σκόνη βολφραμίου η οποία αναμιγνύεται σε διάφορες αναλογίες με το υλικό. Μετά από πολλές πειραματικές διαδικασίες η πιο κατάλληλη σύνθεση εμφάνισης επαρκών ιδιοτήτων είναι 70% wt ανακυκλωμένου και 30% wt ακατέργαστου.

Καλά αποτελέσματα επιτυγχάνονται με τη συγκόλληση θραύσματος καρβιδίου σε καθαρό σώμα αποβλίπτου όπου παράγονται πολυφασικά μεταλλικά σύνθετα υλικά [50]. Σε χαμηλή πίεση οι δοκιμές φθοράς στους 500°C δείχνουν ότι το εξελιγμένο σύνθετο υλικό δείχνει υψηλότερη αντοχή στην τριβή από τα εμπορικά υλικά.

Παρατίθενται οι πίνακες από τα αποτελέσματα της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο.

Στον πίνακα 3.1, φαίνεται στην πρώτη στήλη το είδος του αποβλίπτου, στη δεύτερη το ποσοστό της βιομηχανικής πούδρας και στην τρίτη το πάχος. Στην τέταρτη και πέμπτη στήλη βλέπουμε τη σκληρότητα μετά από διάφορες θερμοκρασίες και παρατηρείται ότι για όλους του ταχυχάλυβες μετά τους 650°C η σκληρότητα των μετάλλων φθίνει.

Chemical composition and mechanical characteristics of hard-facings.

Type of waste and thickness	Industrial powder, wt.%					Hardness, HRC				
	Cr	Mo	FeV	Other	Thickness, mm	As welded	After tempering, °C			
							550	600	650	700
HS6-5-2 (3 mm)	22.2	44.5	11.1	22.2 W	2	52	60	62	56	54
	22.2	44.5	11.1	22.2 Co	2	40	51	55	59	53
	44.5	44.5	11.1		2	37	53	52	55	50
HS6-5-2 (3 mm)	22.2	66.7	11.1		2	60	63	62	54	21
HS6-5-2 (3.5 mm)					1.5	45	56	60	60	53
HS6-5-2 (4 mm)					4.0	45	48	54	59	53

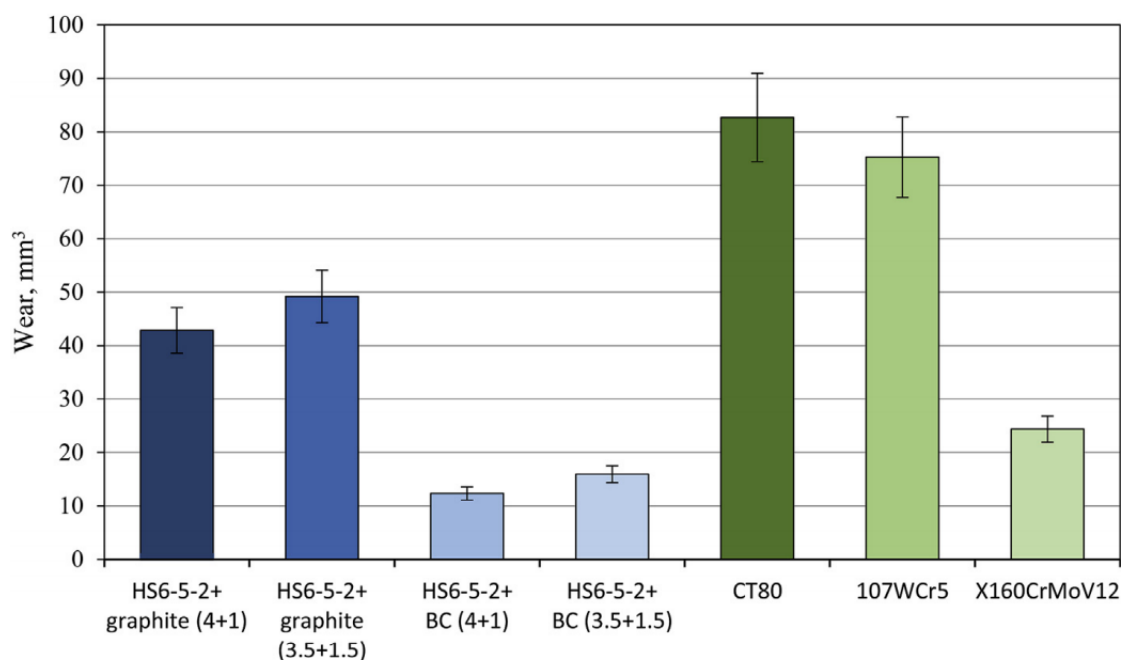
*Ratio of graphite in AMS1 1:10.

Πίνακας 3.1: Το ποσοστό της βιομηχανικής πούδρας σε συνάρτηση με την σκληρότητα υπό την επίδραση διάφορων θερμοκρασιών.

Στον πίνακα 3.2, φαίνονται τα αποτελέσματα μετά από την επικάλυψη με καρβίδια και γραφίτη-άνθρακα. Στην πρώτη στήλη και στα δεξιά φαίνονται τα αποτελέσματα στη σκληρότητα μετά την επιπλέον θερμική κατεργασία σε θερμοκρασίες 850°C, 550°C και 600°C. Καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τη σκληρότητα εμφανίζονται στη θερμοκρασία 550°C.

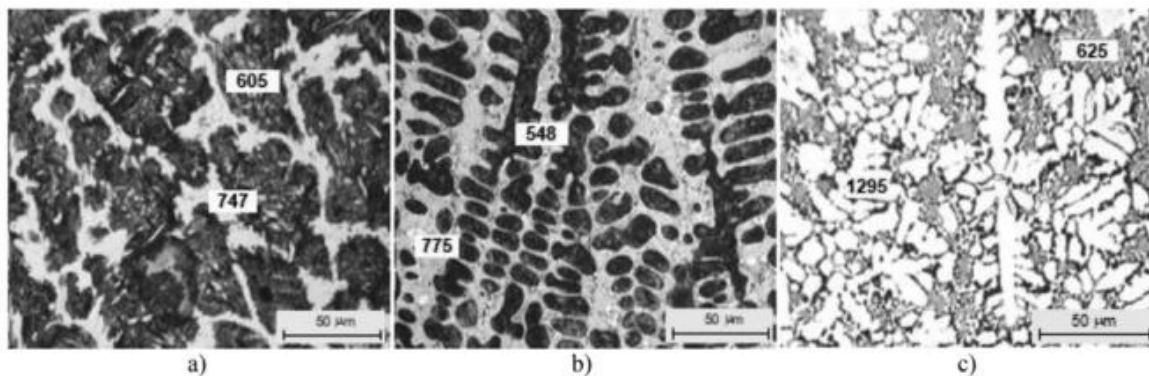
Type of waste and thickness of spread layer	As welded hardness, HRC	After heat treatment, HRC		
		Hardening, °C	Tempering, °C	
			550	600
HS6-5-2 (4 mm) + graphite (1 mm)	48	60	61	59
HS6-5-2 (3.5 mm) + graphite (1.5 mm)	38	61	61	59
HS6-5-2 (4 mm) + boron carbide (1 mm)	62	57	61	62
HS6-5-2 (3.5 mm) + boron carbide (1.5 mm)	63	59	63	63

Πίνακας 3.2: Επικάλυψη με καρβίδια και γραφίτη-άνθρακα και συμπεριφορά στη σκληρότητα μετά τη θερμική κατεργασία.



Σχήμα 3.11: Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων από τους πίνακες 3.1 και 3.2. Στον κάθετο άξονα φαίνεται η φθορά και στον οριζόντιο άξονα τα κράματα.

Στο σχήμα 3.12 φαίνεται η παρουσίαση μικροδομής από την επικάλυψη των κραμάτων στα υλικά πριν τη θερμική κατεργασία για τα: (a) HSS 1.3339 (4 mm) graphite (1 mm) (b) HSS 1.3339 (4 mm) boron carbide (1 mm) (c) HSS 1.3339 (3.5 mm) boron carbide (1.5 mm).

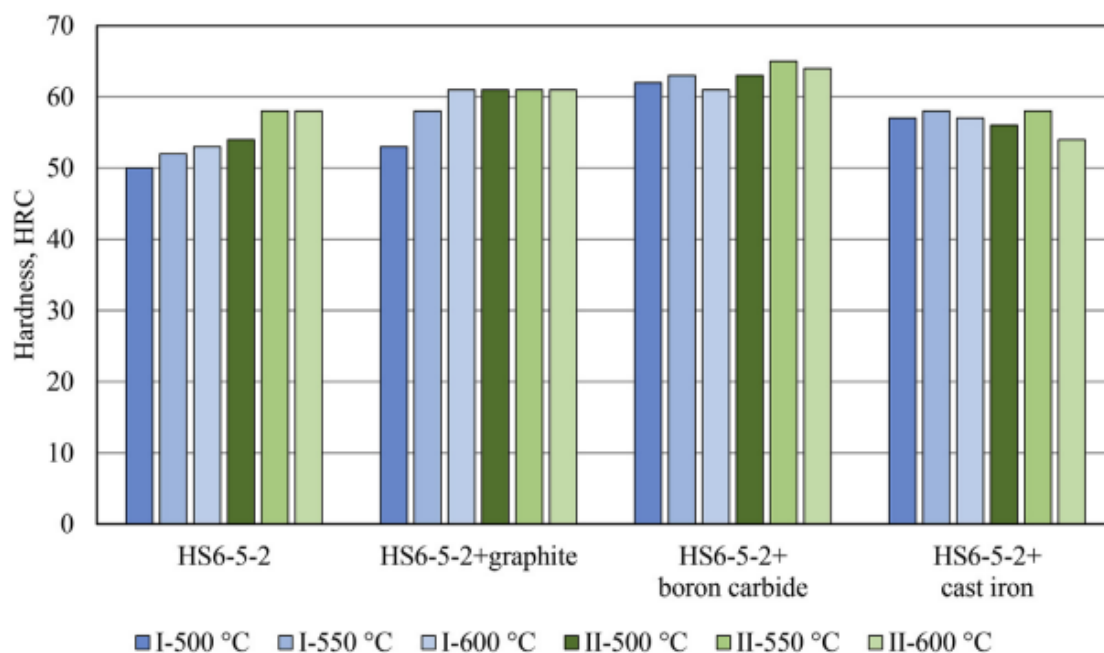


Σχήμα 3.12: Παρουσίαση μικροδομής από την επικάλυψη των κραμάτων.

	wt.%	Other waste	wt.%	Type of flux	As welded hardness, HRC
Waste of HS6-5-2	100	—	—	AMS1	45
				AN-20P	60
	90	Graphite	10	AMS1	51
				AN-20P	53
	90	Boron carbide	10	AMS1	58
				AN-20P	63
	75	Cast iron grinding waste	25	AMS1	61
				AN-20P	60

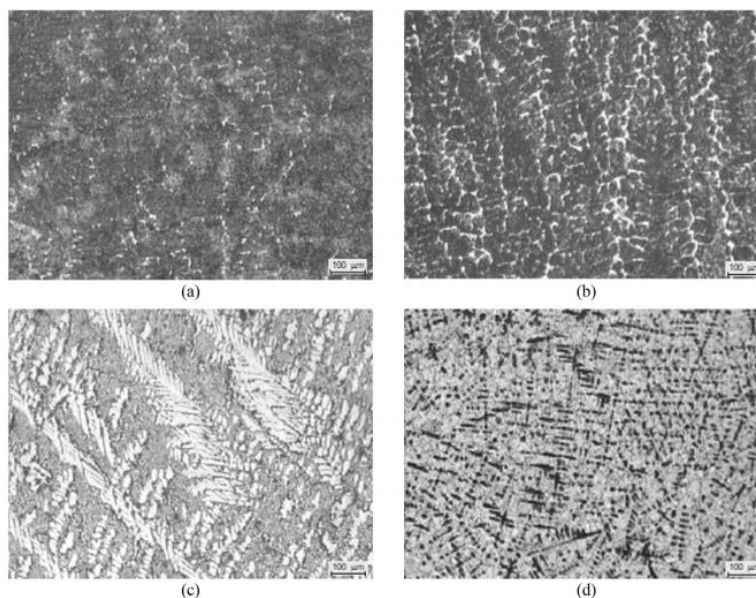
Πίνακας 3.3: Απόδοση αποβλήτου σε διάφορες καταπονήσεις και σκληρότητες.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 3.1 και 3.2. Στον κάθετο άξονα φαίνεται η σκληρότητα και στον οριζόντιο άξονα τα είδη των ταχυχαλύβων για διάφορες θερμοκρασίες.

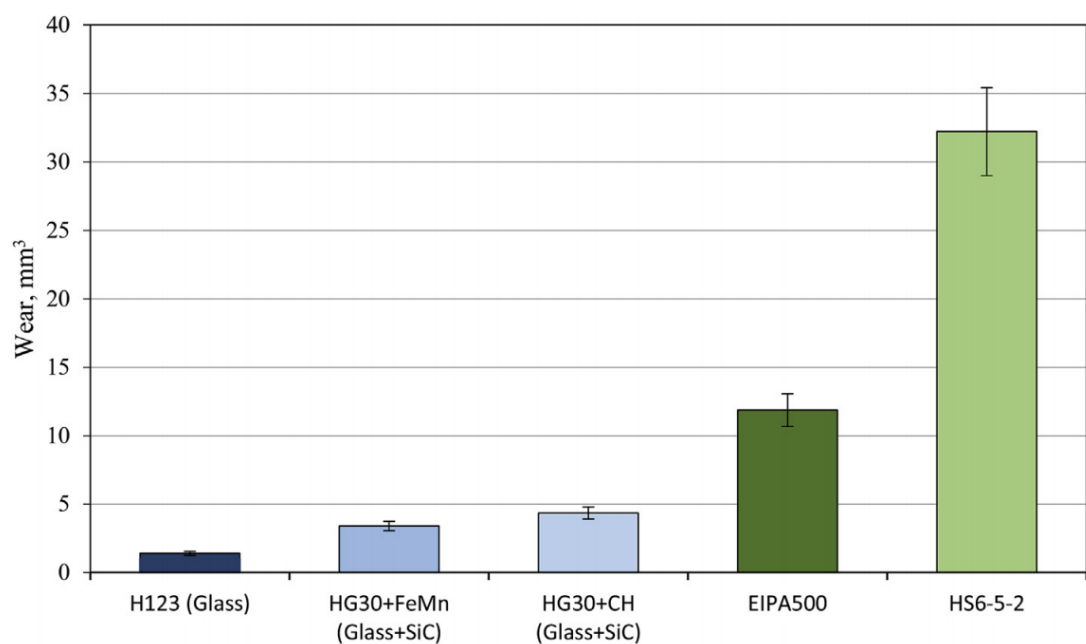


Σχήμα 3.13: Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν.

Στο σχήμα 3.14, φαίνεται η μικροδομή και επιφάνεια ταχυχαλύβων (a) HSS 1.3339 (4 mm) graphite (1 mm) (b) HSS 1.3339 (4 mm) boron carbide (1 mm) (c) HSS 1.3339 (3.5 mm) boron carbide (1.5 mm).



Σχήμα 3.14: Μικροδομή και επιφάνεια ταχυχαλύβων.



Σχήμα 3.15: Φθορά επιφάνειας από τριβή των χαλύβων με επιφανειακή σκλήρυνση και των κοινών χαλύβων.

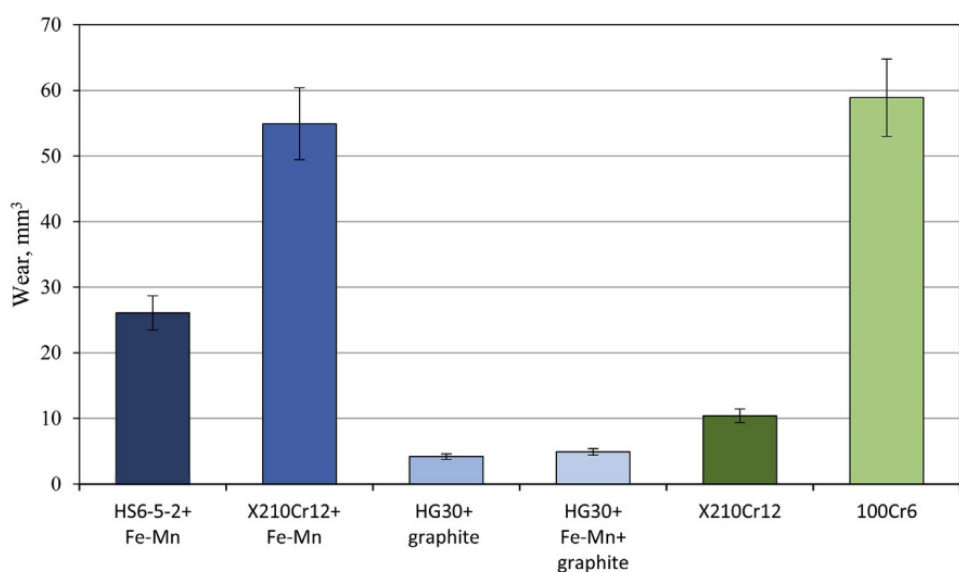
Waste mixture, wt.%	Chemical composition, wt.%								Hardness as welded/tempered
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Co	W	
HS6-5-2 (60); Fe-Mn (20) ^a	1.16	3.69	4.72	0.76	0.88	0.36	0.04	1.10	49/57
X210Cr12 (60); Fe-Mn (20) ^a	1.26	3.65	4.49	2.31	0.16	0.07	0.08	0.07	38/55
HG30 (31); graphite (6) ^b	0.95	1.25	2.32	0.06	0.04	0.02	0.95	10.5	42/61
HG30 (31); Fe-Mn (11); graphite (6) ^c	1.02	1.67	6.04	0.08	0.08	0.04	1.27	10.6	44/63

^a Waste of SiC (20 wt%) was used as flux.

^b Standard flux (63 wt%).

^c Standard flux (52 wt%).

Πίνακας 3.4: Ανάλυση διαφορών χαλύβων με επιφανειακή σκλήρυνση και των κοινών χαλύβων.



Σχήμα 3.16: Συμπεριφορά σε τριβή των χαλύβων με επιφανειακή σκλήρυνση και των κοινών χαλύβων.

Waste mixture, wt.%	Hardness, HRC		
	As welded	Tempered at 550 °C	Tempered at 600 °C
WC-Co, 100	55	55	54
WC-Co, 50 (coarse) + FeCrSiB 50	54	53	50
WC-Co, 50 (coarse) + WC-Co, 50 (fine)	39	58	54

Πίνακας 3.5: Μείγματα από μέταλλα και συνδυασμοί διαφορών χαλύβων με επιφανειακή σκλήρυνση και των κοινών χαλύβων.

Η πραγματοποιηθείσα έρευνα έδειξε τη δυνατότητα ανακύκλωσης βιομηχανικών αποβλήτων που παράγουν νέα πολύτιμα σκληρά προϊόντα επικαλύπτοντας επιφάνειες. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι προσθήκης μίγματος αποβλήτων ταχυχαλύβων από κοπτικά εργαλεία σε πούδρα εισήχθησαν. Παρουσιάζονται οι διαφορετικές συνθέσεις μειγμάτων πούδρας με αρκετά καλή συμπεριφορά όσον αφορά τη φθορά στις καταπονήσεις στο στρώμα επικάλυψης που δημιουργείται:

1. Το μείγμα που περιέχει θραύσματα και μικρά κομμάτια από εργαλεία ταχυχαλύβων και γραφίτη χρησιμοποιείται για να παράγει σκληρές επιφάνειες και να μπορεί με ευκολία να αντικαταστήσει το ατσάλι CT80 και 107WCr. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι με την προσθήκη καρβιδίου βορίου (B) μπορεί να αντικαταστήσει με επίστρωση το ατσάλι X160CrMoV12.
2. Η επίδοση στην προστατευτική επίστρωση μελετήθηκε στην κατανομή των τιμών όσον αφορά τη σκληρότητα των αποβλήτων από τα υλικά:
 - Γραφίτης
 - Βόριο
 - Χυτοσίδηρος κατόπιν άλεσης των κομματιών

Βρέθηκε ότι τις καλύτερες επιδόσεις στις δοκιμές ανθεκτικότητας τις έχουν τα υλικά που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα μαγγανίου. Επίσης:

1. Μελετήθηκε και ο πιθανός συνδυασμός αλεσμένου γυαλιού και (SiC) το οποίο βρίσκεται στους τροχούς και βρέθηκε ότι αυτό το ρευστό μπορεί να αντικαταστήσει τα HG30 και H123, τα οποία έχουν προκύψει ύστερα από τη θερμοσυσσωμάτωση και έχουν εφαρμογή σαν ασπίδα στην επιφάνια μαλακότερων υλικών. Για να είναι εφικτή η αντικατάσταση πρέπει το πάχος της πούδρας να είναι 2,5 φορές παχύτερο από το συμβατικό βιομηχανικό υλικό που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα.
2. Η χημική ανάλυση αυτών των σκληρομετάλλων που κατασκευάζονται από τα απόβλητα πυροσυσσωματωμένων σκληρομετάλλων (HG30) με προσθήκη γραφίτη και σιδήρου (FE) και (Mn) με μια ικανοποιητική ποσότητα βολφραμίου της τάξεως (~10 wt%). Στη συνέχεια η επιφάνεια έχει γίνει σκληρή αφού θερμάνθηκε στους 550°C:
 - Σκληρότητα 42 HRC καθώς συγκολλήθηκαν.
 - Σκληρότητα 62HRC μετά τη θέρμανση.

Σε συνέχεια από αυτήν τη διαδικασία η επιφάνεια γίνεται δυο φορές σκληρότερη σε σύγκριση με χάλυβα με υψηλή περιεκτικότητα χρωμίου (X210Cr12).

3. Στη μελέτη των κόψεων εργαλείου που προήλθε από την ανακύκλωση βολφραμίου-άνθρακα (WC-Co) μετά από τη συγκόλληση με βυθισμένο τόξο, παρατηρήθηκαν αστοχίες στην ελεύθερη επιφάνεια όπως φθορά κρατήρα. Σε αυτήν την περίπτωση κατά την επίστρωση της σκληρής επιφάνειας, πρέπει να αποπερατωθεί η επιφάνεια.

4. Τα παραπάνω συμπεράσματα αποκαλύπτουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται αποδοτικά τα βιομηχανικά απόβλητα από μεταλλουργικές κατεργασίες:

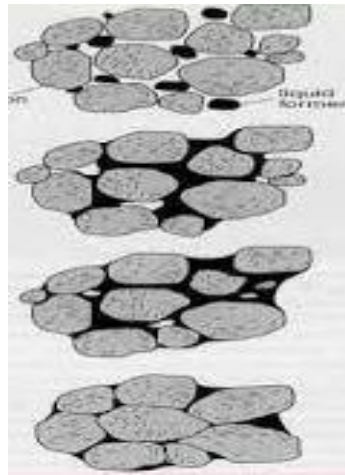
- HS6-5-2
- BC
- H123
- HG30
- SiC
- X210Cr12
- WC-Co
- Χυτοσίδηρος

Παράλληλα σε μερικές περιπτώσεις, για ενδυνάμωση αναμειγνύεται στα παραπάνω υλικά και ασάλι με τη μέθοδο της συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο, για την επικάλυψη επιφανειών που είναι ανάγκη να είναι πολύ σκληρές. Αυτή η μέθοδος είναι μια από τις πολλές που επιτρέπει τη μετατροπή των αποβλήτων σε ένα νέο πολύτιμο προϊόν, ευνοώντας στους στόχους που έχουν τεθεί για τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία στις μηχανουργικές κατεργασίες [51].

3.14 Μέθοδος πυροσυσσωμάτωσης

Η μέθοδος πυροσυσσωμάτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα. Το μεγάλο πλεονέκτημα έναντι της μεθόδου τήξης είναι ότι είναι πολύ πιο αποδοτική, δηλαδή καταναλώνει λιγότερη ενέργεια [52]. Θεωρείται μια από τις πιο οικολογικές μεθόδους καθώς χρησιμοποιεί μόνο την ποσότητα πούδρας που είναι απαραίτητη για την κατασκευή ενός τεμαχίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.17, δίχως να γίνεται σπατάλη υλικού. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους αφαίρεσης υλικού, η κονιομεταλλουργία και η πυροσυσσωμάτωση αφαιρούν από τον αρχικό όγκο του υλικού τόσο μέταλλο όσο είναι απαραίτητο για την κατασκευή του τεμαχίου. Δεν τήκεται το υλικό εντός ενός καλουπιού οπότε δεν καταναλώνεται η ίδια ισχύς με τη μέθοδο τήξης για να φτιαχτεί το τελικό τεμάχιο. Ωστόσο, δεν είναι προσβάσιμη μέθοδος για όλα τα εργοστάσια παραγωγής. Για την κατασκευή ενός τεμαχίου από πυροσυσσωμάτωση απαιτείται το αντίστοιχο καλούπι. Το αντικείμενο το οποίο θα δημιουργηθεί θα βρίσκεται στην τελική του μορφή έτοιμο για χρήση. Η συγκεκριμένη μέθοδος ευνοεί τις μονάδες παραγωγής μεταλλικών δοκιμίων οι οποίες έχουν μαζική παραγωγή αλλά δεν ευνοεί τα μηχανουργεία τα οποία δεν έχουν μαζική παραγωγή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι δεν ενδείκνυται για τεμάχια στα οποία αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις, τα φορτία μετάλλων και τις έντονες μηχανικές καταπονήσεις. Αυτό γιατί λόγω του υψηλού πορώδους που εμφανίζεται στα τεμάχια ενέχει ο κίνδυνος να εμφανιστούν ρηγματώσεις κατά την επιβολή φορτίων που θα οδηγήσουν σε αστοχία. Οπότε είναι μέθοδος κατασκευής δοκιμίων η οποία δεν προορίζεται για βαριά φορτία διότι σύντομα θα αστοχήσουν. Ωστόσο, ενδείκνυται για περίπλοκα σχήματα παραγωγής. Συνεπώς, αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για ένα μικρό σχετικά εύρος των εφαρμογών και σίγουρα δεν είναι ικανή να αντικαταστήσει τις παρούσες μεθόδους παραγωγής.



Σχήμα 3.17: Μέθοδος πυροσυσσωμάτωσης.

3.15 Προσθετική κατασκευή

Η προσθετική παραγωγή γνωστή και ως «3D printing», όπως φαίνεται στο σχήμα 3.18, είναι μια μέθοδος προσθήκης υλικού σε πολλαπλά στρώματα προκειμένου να φτιάχνονται τρισδιάστατα μοντέλα που έχει προηγηθεί η σχεδιάσή τους στον υπολογιστή [53]. Η προσθετική κατασκευή είναι εξ ορισμού μια μέθοδος παραγωγής οικολογικότερη από τις μεθόδους παραγωγής αφαίρεσης υλικού και εφαρμόζεται για ιδιαίτερα περίπλοκες γεωμετρίες. Δημιουργεί αντικείμενα από ψηφιακή μορφή, χωρίς να είναι απαραίτητα επιμέρους εξαρτήματα όπως για παράδειγμα καλούπια για χύτευση. Η μέθοδος αυτή καθίσταται βιώσιμη διότι χρησιμοποιείται μόνο το υλικό που είναι απαραίτητο για την κατασκευή ενός τεμαχίου σε αντίθεση με τη μέθοδο αφαίρεσης υλικού, που χρειάζεται ένα πολύ μεγαλύτερο κομμάτι μετάλλου για την παραγωγή ενός τεμαχίου, έχοντας μεγάλη ποσότητα αποβλήτων τα οποία δεν μπορούν να έχουν κάποια χρήση πέρα από το να ανακυκλώνονται.



Σχήμα 3.18: Προσθετική παραγωγή.

Στο σχήμα 3.19 φαίνονται οι τομείς που εφαρμόζεται η προσθετική παραγωγή με στόχο να προάγεται η βιωσιμότητα, οι οποίοι είναι:

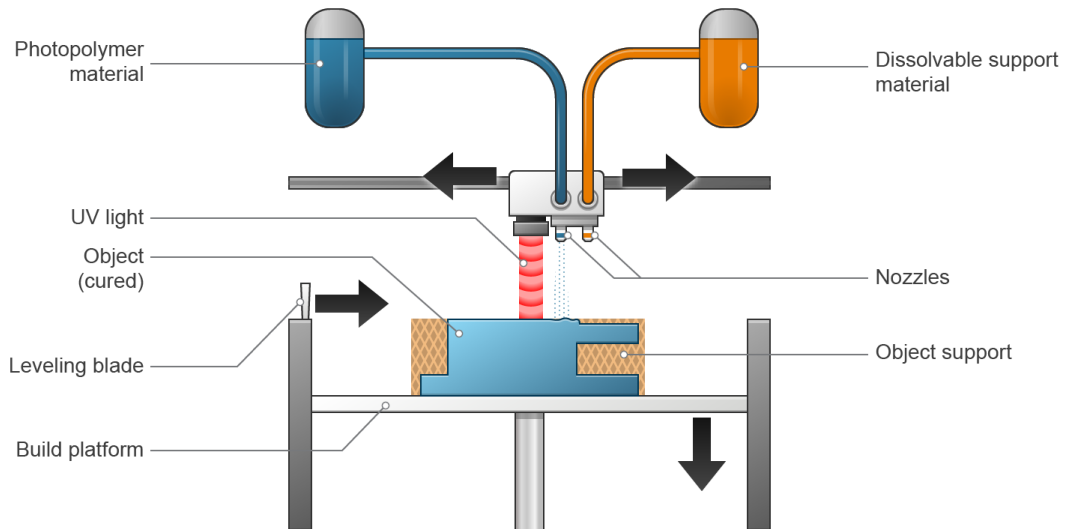
- Κυκλική οικονομία
- Αξιολόγηση κύκλου Ζωής
- Ανακύκλωση
- Περιβαλλοντολογική σκοπιά



Σχήμα 3.19: Προσθετική παραγωγή.

Οι κυριότερες μέθοδοι υλοποίησης της προσθετικής παραγωγής είναι:

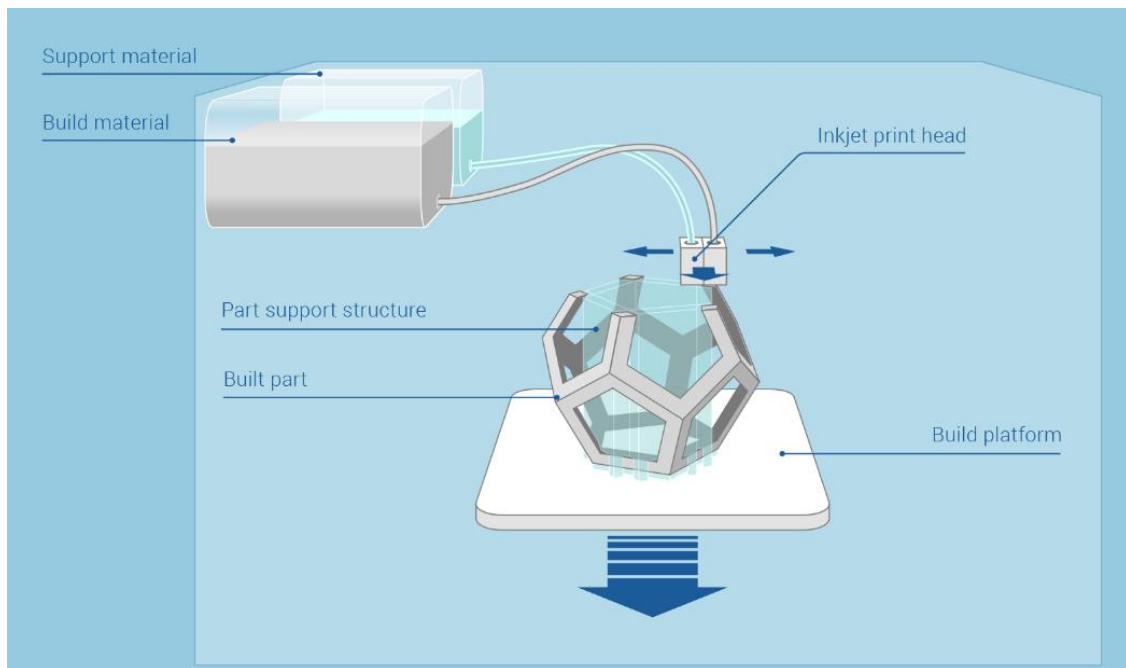
1. **Φωτοπολυμερισμός σε δοχείο** (vat photopolymerization): Υγρό φωτοπολυμερές στερεοποιείται επιλεκτικά μέσα σε μια δεξαμενή μέσω πολυμερισμού που προκαλείται από την παρουσία φωτός, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.20.



2018 © Dassault Systèmes

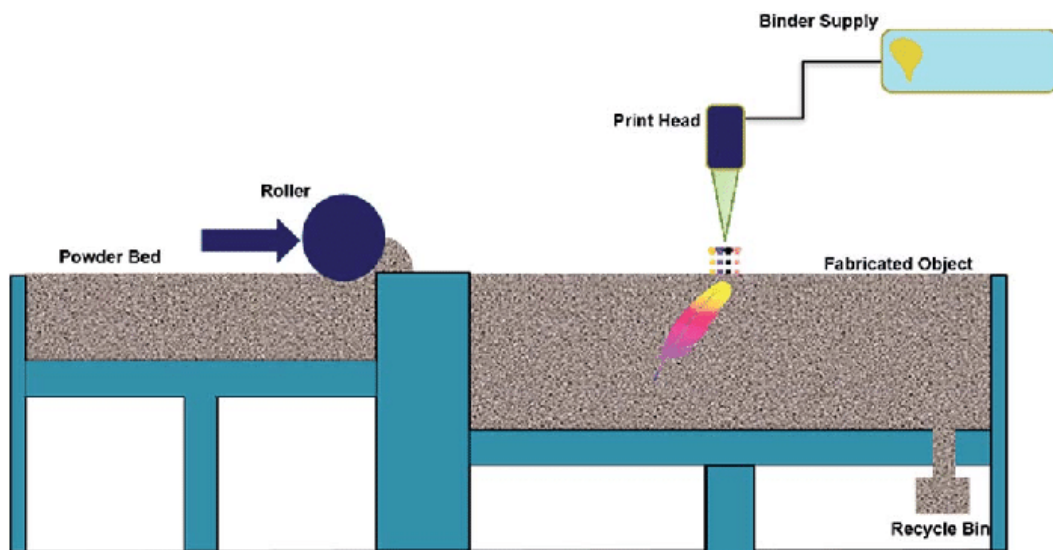
Σχήμα 3.20: Φωτοπολυμερισμός σε δοχείο

2. **Εκτόξευση υλικού** (material jetting): Σταγονίδια πρώτης ύλης εναποτίθενται επιλεκτικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.21.



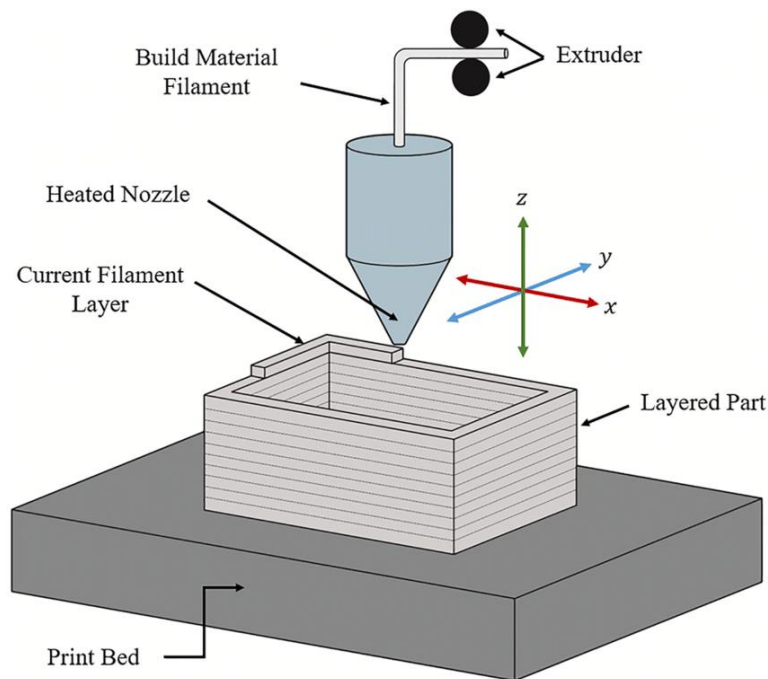
Σχήμα 3.21: Εκτόξευση υλικού

3. **Εκτόξευση και εναπόθεση συγκολλητικής ουσίας (binder jetting):** Υγρό συγκολλητικό υλικό εναποτίθεται επιλεκτικά ώστε να συνδεθούν οι κόκκοι της πρώτης ύλης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.22.



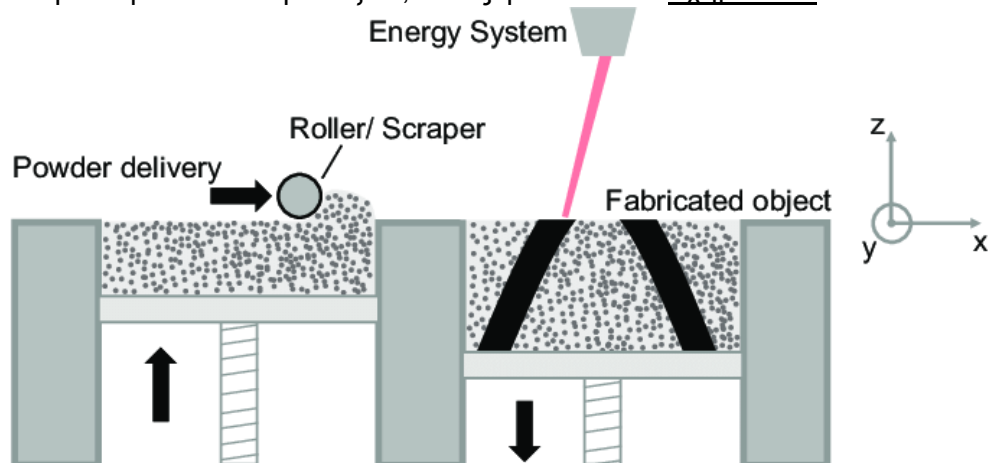
Σχήμα 3.22: Εναπόθεση συγκολλητικής ουσίας

4. **Εξώθηση υλικού (material extrusion):** Υλικό διανέμεται επιλεκτικά μέσω ακροφυσίου ή στομίου με εξώθηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.23.



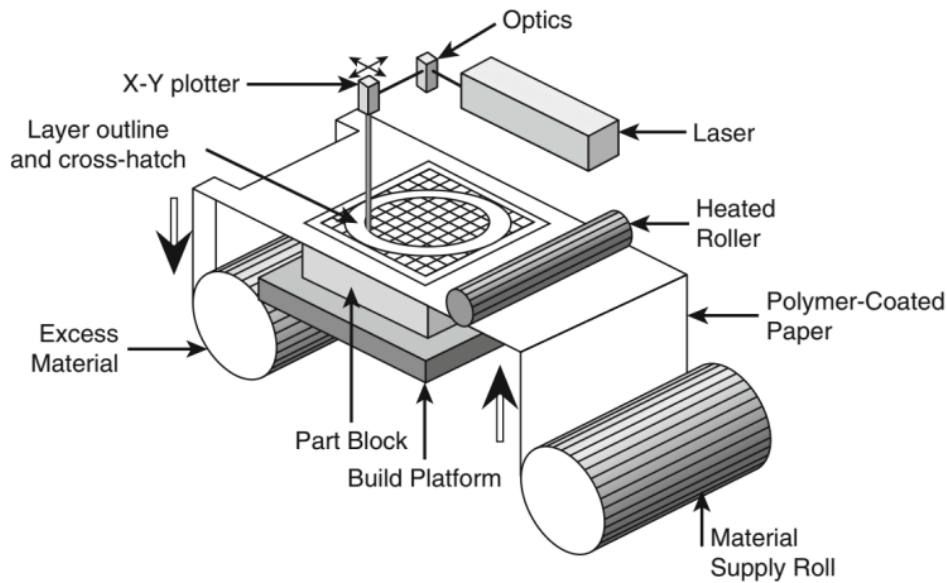
Σχήμα 3.23: Εξώθηση υλικού

5. **Σύντηξη πούδρας υλικού σε κλίνη** (powder bed fusion): Θερμική ενέργεια συνενώνει επιλεκτικά μέσω σύντηξης περιοχές πούδρας υλικού που είναι πάνω στην επιφάνεια του τραπέζιού, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.24.



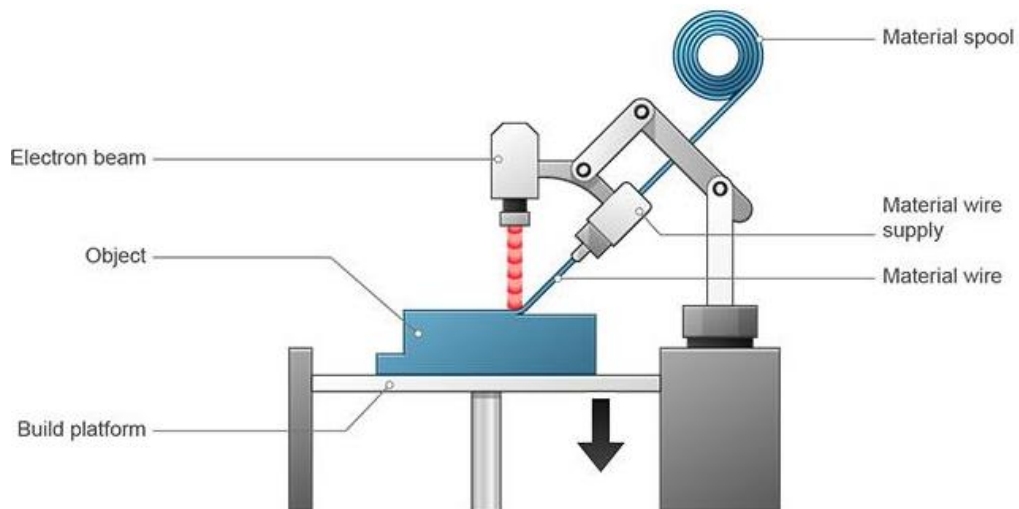
Σχήμα 3.24: Σύντηξη πούδρας υλικού σε κλίνη.

6. **Συγκόλληση επάλληλων φύλλων υλικού** (sheet lamination): Φύλλα υλικού συγκολλούνται για να σχηματίσουν ένα αντικείμενο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.25.



Σχήμα 3.25: Συγκόλληση επάλληλων φύλλων υλικού

7. **Άμεση εναπόθεση ενέργειας** (directed energy deposition): Εστιασμένη θερμική ενέργεια συνενώνει υλικά λιώνοντάς τα καθώς το υλικό εναποτίθεται [54] , όπως φαίνεται στο σχήμα 3.26.



Σχήμα 3.26: Άμεση εναπόθεση ενέργειας.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι έχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα όσον αφορά την παραγωγή, την ανακατασκευή και την επισκευή προϊόντων.

Στην επιστημονική κοινότητα, υπάρχει εκτεταμένη αναφορά για τον ρόλο που παίζει η προσθετική κατασκευή με laser στη μετάβαση σε μια Κυκλική οικονομία. Το μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας στοχεύει τα προϊόντα, τα εξαρτήματα και οι πρώτες ύλες να επιστρέφονται και να γίνεται εκ νέου η εκμετάλλευσή τους ως πρώτες ύλες [55]. Ιδιαίτερη αναφορά υπάρχει για τις μεθόδους [56]:

- Άμεση εναπόθεση ενέργειας (directed energy deposition)
- Σύντηξη πούδρας υλικού σε κλίνη (powder bed fusion).

Οι μέθοδοι προσθετικής παραγωγής μετάλλων αναπτύσσονται ταχύτατα και η έρευνα όσον αφορά τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια και την κατανάλωση υλικού έχει τελειοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε σύγκριση με τις υπόλοιπες [57]. Ακόμα επιτρέπει την ανακατασκευή όμοιου τεμαχίου ή διαφοροποιημένου σε σχέση με το πρωτότυπο, την επισκευή και την επιδιόρθωση. Ως ανακατασκευή προϊόντων θα μπορούσε να οριστεί η βιομηχανική διαδικασία αποκατάστασης κατά την οποία τα προϊόντα χαρακτηρίζονται πάλι «ως καινούργια» [58]. Κάποιες περιπτώσεις για παράδειγμα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως καλύτερες από καινούργιες διότι για παράδειγμα θα μπορούσαν να ανανεωθούν και να διαφοροποιηθούν [59].

Τα βήματα για την ανακατασκευή με τη μέθοδο της προσθετικής κατασκευής είναι τα ακόλουθα:

1. Η πλήρης αποσυναρμολόγηση των προϊόντων.
2. Καθαρισμός όλων των αντικειμένων.
3. Επιθεώρηση και ταξινόμηση των προϊόντων.
4. Επιδιόρθωση/επισκευή ή αντικατάσταση από νέα προϊόντα.
5. Συναρμολόγηση των προϊόντων.
6. Τελικός έλεγχος.

Όλες αυτές οι διαδικασίες στοχεύουν στο να παραταθεί ο χρόνος ζωής και η ποιότητα ενός εξαρτήματος, μειώνοντας παράλληλα τα εργοστασιακά απόβλητα. Οι αρχές της Κυκλικής οικονομίας με αυτήν τη μέθοδο προσφέρονται είτε με την επισκευή εξαρτημάτων είτε με τη συντήρηση είτε με την κατασκευή καινούργιων τεμαχίων. Το μεγάλο μειονέκτημα των επισκευασμένων προϊόντων είναι ότι είναι λιγότερο αξιόπιστα από τα καινούρια.

Έτσι λοιπόν, τόσο η μέθοδος της άμεσης εναπόθεση ενέργειας (directed energy deposition), όσο και η σύντηξη πούδρας υλικού σε κλίνη (powder bed fusion) εφαρμόζονται στους σταθμούς παραγωγής ως σύγχρονη διαδικασία [60]. Επίσης, έχει μελετηθεί και η διαδικασία για παραγωγή εργαλείων με τη μέθοδο της προσθετικής παραγωγής με laser [61] καθώς επίσης και η εφαρμογή της μεθόδου αυτής στη βιομηχανία της αεροναυπηγικής. Αναμφίβολα μια δυνατότητα χρήσης διαφορετικών τεχνολογιών προσθετικής παραγωγής με άμεση εναπόθεση ενέργειας είναι αυτή της εφαρμογής στην επισκευή τεμαχίων. Τα πλεονεκτήματα της άμεσης εναπόθεσης ενέργειας είναι η μεγάλη ακρίβεια, η μικρή ζώνη σύντηξης και η μικρή θερμικά επηρεασμένη ζώνη όταν ενώνονται κομμάτια από διαφορετικά μέταλλα.

3.15.1 Εφαρμογές της προσθετικής παραγωγής στη βιομηχανία που αντικαθιστούν τις συμβατικές μεθόδους

Κάποιες από τις εφαρμογές της προσθετικής παραγωγής στη βιομηχανία των μετάλλων είναι: στην κατασκευή των στροβιλοσυμπιεστών, στην κατασκευή πτερύγιων τουρμπίνας και στην επισκευή τους [62]. Επίσης η προσθετική παραγωγή χρησιμοποιείται για την επιδιόρθωση καλουπιών, επιδιορθωτικές εφαρμογές σε εργαλεία, όπου η απώλεια καλουπιού έστω και για λίγη ώρα συνεπάγεται απώλεια εσόδων και παράλληλα η επιδιόρθωση είναι αρκετά οικονομικότερη από την κατασκευή καινούργιου καλουπιού [63]. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιείται για την κατασκευή και επιδιορθώσεις σε σιδηροδρομικές ράγες [64]. Ακόμα εφαρμόζεται για την αντικατάσταση ασφάλινων εξαρτημάτων από την αεροναυπηγική βιομηχανία με αντίστοιχα άλλο υλικό [65]. Μια σύγχρονη τάση επίσης είναι η επισκευή των στροφαλοφόρων αξόνων και άλλων εξαρτημάτων πάνω στα πλοία με τη μέθοδο της άμεσης εναπόθεσης ενέργειας, εφόσον επιτυγχάνεται και άμεση αντικατάσταση του φθαρμένου τεμαχίου άλλα και πρεσβεύει τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας [66]. Σε αυτήν την εφαρμογή εφαρμόζεται συνήθως κάποια επένδυση ή επικάλυψη στον στροφαλοφόρο άξονα που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της κόπωσης και της φθοράς [66].

Πολλές από τις προαναφερθείσες εφαρμογές απαιτούν ανθεκτικά υλικά σε θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις ενώ παράλληλα έχουν ιδιαίτερα περίπλοκο σχήμα. Όλες οι παραπάνω εφαρμογές της προσθετικής παραγωγής δείχνουν ότι για να είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες με πολύ καλές ιδιότητες στα υλικά και πολύ καλή συμπεριφορά σε μεγάλες θερμικές καταπονήσεις, τάσεις και δυνάμεις πρέπει να έχουν άριστη ποιότητα τόσο τα υλικά όσο και οι διαδικασίες. Ωστόσο, για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω απαιτείται μεγάλο κόστος κατασκευής [67]. Οπότε, υπάρχει η τεχνογνωσία για την αντικατάσταση των οικολογικότερων και πιο βιώσιμων τεχνολογιών παραγωγής που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται.

Υπάρχουν και άλλοι λόγοι που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό η άμεση εναπόθεση ενέργειας στις βιομηχανίες μετάλλων όπως είναι η αεροναυπηγική και η ναυπηγική. Πολλά τεμάχια φτάνουν στο τέλος της ζωής τους νωρίτερα. Απαιτείται έτσι η αναδιαμόρφωση των τεμαχίων και η παραγωγή από κράματα που έχουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και καλή συμπεριφορά στη θερμότητα.

Ακόμα, έχει μελετηθεί από ορισμένους ερευνητές η περιβαλλοντολογική επίπτωση που έχει το laser της προσθετικής παραγωγής. Οι έρευνες κατέληξαν στο ότι ανεξαρτήτως από το πώς παράγεται το laser, αυτό λειτουργεί θετικά για το περιβάλλον και συντελεί σε μια πιο βιώσιμη βιομηχανία [68].

3.15.2 Όρια συμμετοχής της προσθετικής παραγωγής στη βιομηχανία

Αναφορικά με την προσθετική παραγωγή έχουν τεθεί κάποια όρια για μεταλλικά εξαρτήματα. Πιο συγκεκριμένα, τα μεταλλικά εξαρτήματα που έχουν ανάγκη μεγάλης προθήκης υλικού για να γίνουν ξανά λειτουργικά, συχνά μετά την επεξεργασία τους επηρεάζεται το σχήμα των κοιλοτήτων και των οπών και το παραγόμενο προϊόν διαφέρει πολύ από ένα καινούργιο. Επιπλέον, το εξάρτημα δεν μπορεί να επισκευαστεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί όταν η φθορά του έχει επιδεινωθεί ή όταν από τις παραμορφώσεις λόγω των θερμικών και μηχανικών καταπονήσεων δεν συμφωνεί με τις αρχικές διαστάσεις του τεμαχίου [68]. Σε αντίθετη περίπτωση βέβαια, μετά την επιτυχή ανακατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων επιτυγχάνεται φυσικά ίδια ή και ακόμα καλύτερη συμπεριφορά σε καταπονήσεις, λόγω της αναβαθμισμένης σχεδίασης. Με την ένταξη της προσθετικής παραγωγής στις βιομηχανίες επιτυγχάνεται βιώσιμη παραγωγή σε μεγαλύτερο βαθμό και σίγουρα επιτυγχάνεται ένα ακόμα βήμα πιο κοντά στην Κυκλική οικονομία.

Οι προσθετικές μέθοδοι παραγωγής έχουν απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα σχετικά με την ενέργεια που καταναλώνεται σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους αφαίρεσης υλικού. Έτσι, έχει εξεταστεί και ποσοτικοποιηθεί για κάθε μια από τις επτά μεθόδους η καταναλισκόμενη ενέργεια με τη μέθοδο της ανάλυσης του κύκλου ζωής. Η ανάλυση του κύκλου ζωής μελετάει όλα τα μέταλλα που έχουν εξορυχθεί και πραγματοποιούν τον πρώτο κύκλο ζωής, τις βοηθητικές κατεργασίες και την ποσότητα της ενέργειας που απελευθερώνεται στο περιβάλλον προκειμένου να αξιολογηθεί το αποτύπωμα που μένει στο περιβάλλον. Έτσι, μέσω μιας τέτοιας ανάλυσης μπορεί η έρευνα να στρέψει εκεί όλες τις προσπάθειές της, στο να βελτιωθεί η συμπεριφορά της προσθετικής παραγωγής.

Κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις που μελετήθηκαν οι δυνατότητες της προσθετικής παραγωγής από ερευνητές και υπάρχουν στη βιβλιογραφία είναι οι εξής [69]:

- Προτάθηκε μια μέθοδος σύμφωνα με την οποία βελτιώνεται η βιωσιμότητα μέσω της βελτίωσης του σχεδίου CAD [69].

- Βρέθηκε στο μικροσκόπιο της επιστήμης η περιβαλλοντολογική συμπεριφορά της προσθετικής παραγωγής, και επιδείχθηκε ότι ο κύριος προβληματισμός είναι η καταναλισκόμενη ενέργεια [70].
- Η έρευνα στράφηκε στο να αξιολογηθούν οι προκλήσεις, τα πλεονεκτήματα, η ταχύρρυθμη εξέλιξη και ο κύκλος ζωής του 3D printing [71].
- Αξιολογήθηκε η προσθετική παραγωγή ως προς τις επιπτώσεις που θα έχει σε περιβαλλοντολογικό, οικονομικό και κοινωνικό περιβάλλον, υπογραμμίζοντας τη σημασία της ανάλυσης κινδύνου τέτοιων επενδύσεων σε νέες τεχνολογίες [72].
- Εξετάστηκε η αντικατάσταση της χύτευσης σε καλούπι με την προσθετική παραγωγή για τρία παραδοσιακά χρησιμοποιούμενα μέταλλα στα μηχανουργεία όπως είναι ο ορείχαλκος, το ασάλι και το αλουμίνιο [73].

3.15.3 Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης γραμμικών συστημάτων και προσθετικών μεθόδων παραγωγής με Κυκλική οικονομία

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση στην ενεργειακή κατανάλωση των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής, όπως είναι το CNC, με τη νέα τεχνολογία του 3D Printing για ελαφριά μεταλλικά εξαρτήματα, τα οποία συγχρόνως πρέπει να επιδεικνύουν ιδιαίτερα καλή συμπεριφορά σε περιπτώσεις όπως είναι τα μεταλλικά μέρη από τα αεροπλάνα. Εκτιμήθηκαν οι αλλαγές που θα φέρει αυτή η αντικατάσταση όπως είναι τα εκπεμπόμενα καυσαέρια [74].

Σε μια άλλη μελέτη εξετάστηκε αν καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια στην εφοδιαστική αλυσίδα για τη μεταφορά των εξαρτημάτων ή αν παραχθούν σε κοντινότερη απόσταση από ένα τρισδιάστατο εκτυπωτή και συγκρίθηκαν στην εκπομπή καυσαερίων, στην κατανάλωση ενέργειας, στον κύκλο ζωής του παραγομένου μεταλλικού εξαρτήματος και στο κόστος [75].

Ανάμεσα στην άμεση εναπόθεση ενέργειας και στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής μηχανουργικών προϊόντων, έγινε σύγκριση σε μια μελέτη μέσα από την παραγωγή ακριβώς των ίδιων εξαρτημάτων, σχετικά με την ποιότητα επιφάνειας, την αντοχή και την κατανάλωση ενέργειας [76].

Από τις μελέτες που έγιναν το συμπέρασμα είναι ότι η μέθοδος προσθετικής παραγωγής με την παρούσα τεχνολογία είναι βιώσιμη μόνο για το αλουμίνιο, όταν σχεδιάζονται τεμάχια με μεγάλη γεωμετρική πολυπλοκότητα και όταν απαιτείται να μειωθεί ο όγκος του τελικού προϊόντος. Επομένως, αυτή η νέα εφαρμοζόμενη τεχνολογία για κάθε περίπτωση διαφέρει στο αν είναι προτιμότερη από τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Επίσης, δείχθηκε ότι το αν είναι περιβαλλοντολογικά και οικονομικά προτιμότερη αυτή η τεχνολογία ποικίλει ανάλογα με το υλικό, το σχήμα, τη λειτουργία και τις παραμέτρους του συστήματος για την παραγωγή κάποιου τεμαχίου.

3.16 Ατελής ανακύκλωση μετάλλων

Κατά τη μετάβαση σε σύγχρονες βιομηχανίες μεταλλουργικών προϊόντων με αρχές Κυκλικής οικονομίας από αυτές του παρελθόντος πρέπει να γίνει εκτεταμένη έρευνα και να μετρηθούν οι ποσότητες των υλικών που όντως τελικά συμμετέχουν ξανά σε έναν νέο κύκλο ζωής. Ωστόσο κατά την ανακύκλωση μετάλλων δυστυχώς δεν παράγεται ίση ποσότητα με την εισαγόμενη. Πιο συγκεκριμένα, κατά την ανακύκλωση των μετάλλων με τη μέθοδο της τήξης στα άκρα του τηγμένου μετάλλου που εφάπτονται με τα τοιχώματα του κυαθίου που γίνεται η τήξη του μετάλλου κατά τη θέρμανση γίνεται καταστροφή του εξωτερικού φλοιού του. Δεν είναι εκμεταλλεύσιμο το εξωτερικό στρώμα του μετάλλου και γίνεται απόξεση προκειμένου να μπορεί να γίνει εκμετάλλευση του εσωτερικού του που είναι απόφιο.

Δηλαδή, με το να γίνονται χημικές αντιδράσεις στο εξωτερικό περίβλημα που ακουμπάει στα τοιχώματα του κυαθίου κατά την τήξη, καταστρέφεται και απομακρύνεται το εξωτερικό στρώμα από το υπόλοιπο μέταλλο για να μπορεί να ακολουθήσει η κατεργασία στη συνέχεια. Για αυτόν το λόγο, προκειμένου να μπορούν να παραχθούν μεταλλικά τεμάχια υψηλής ποιότητας, κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης κραμάτων και μετάλλων συμπληρώνεται στο ανακυκλωμένο υλικό μια ποσότητα ακατέργαστου-πρωτογενούς υλικού. Γίνεται αντιληπτό ότι η μετάβαση από τις παραδοσιακές διαδικασίες στα μηχανουργία σε μοντέλα Κυκλικής οικονομίας με την παρούσα τεχνογνωσία είναι αδύνατον. Ωστόσο, είναι υλοποιήσιμο το να «κλείσει ο κύκλος» εν μέρει και να δημιουργηθεί ένα μοντέλο επαναχρησιμοποίησης. Σε αυτό δε θα υπάρχουν καθόλου απόβλητα όσον αφορά την ποσότητα των μετάλλων και θα εισάγεται στο σύστημα μόνο μια μικρή ποσότητα από ακατέργαστα υλικά και ενέργεια. Για την ανακύκλωση χαλύβων η αναλογία στην εισαγωγή νέου υλικού είναι 1/3 και ανακυκλωμένου χάλυβα 2/3. Μελλοντικά ενδεχομένως να προσδεύσει η τεχνολογία και να εισάγονται όλο και λιγότερες πρώτες ύλες και να μην αποβάλλεται τίποτε.

Η ζήτηση για πρώτες ύλες αναμένεται να αυξηθεί παράλληλα με την υψηλότερη διείδυση αυτών των εφαρμογών στην αγορά εφόσον αυξηθεί και η ζήτηση για προϊόντα. Αυτό θα δημιουργήσει δύο μεγάλες προκλήσεις:

- Εξασφάλιση οικονομικής και βιώσιμης πρόσβασης σε πρώτες ύλες.
- Αύξηση αποδοτικότητας.

4 Μαθηματική προσέγγιση για τη μέτρηση της Κυκλικής οικονομίας

Για να μπορεί να μετρηθεί και να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα για την πρόοδο μετάβασης σε Κυκλική οικονομία για τις μηχανουργικές κατεργασίες, ήταν απαραίτητο να αναπτυχθούν κάποιοι δείκτες για τη μέτρηση της προόδου.

Μέθοδοι αξιολόγησης έχουν αναπτυχθεί αρκετές για να αναλύσουν την απόδοση της Κυκλικής οικονομίας. Σε ένα σχετικό παράδειγμα από τη βιβλιογραφία αρχικά γίνονται στατιστικές μετρήσεις και υπολογισμοί του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και του νερού σε συγκεκριμένα εργοστάσια [76]. Στη συνέχεια αναπτύσσεται ένα μοντέλο για τη μέτρηση της αποθεματοποίησης εντός μίας αυτοκινητοβιομηχανίας [77]. Ωστόσο, και τα δυο παραπάνω μοντέλα απορρίφθηκαν γιατί δεν αξιολόγησαν τις ποσότητες σε πραγματικό χρόνο. Σε άλλη περίπτωση για ένα πρότυπο βιομηχανικό πάρκο στην Κίνα έγιναν μελέτες για την κατανάλωση ενέργειας και για το ποσοστό ανακύκλωσης, δείχνοντας ότι το εργοστάσιο έχει πολύ καλή περιβαλλοντολογική απόδοση [78]. Σε άλλη έρευνα αναπτύχθηκε ένας δείκτης για τη μέτρηση της απόδοσης της Κυκλικής οικονομίας για τα πλαστικά απόβλητα των εργοστασίων [79].

Από όλες τις μεθόδους αξιολόγησης που μελετήθηκαν από τη βιβλιογραφία η πιο αξιόπιστη φαίνεται να είναι αυτή που παρουσιάζεται παρακάτω. Δημιουργός αυτής της μεθόδου είναι ο «Juan F.García-Barragán» τον Δεκέμβριο 2018 ο οποίος δοκίμασε τους δείκτες αυτής σε διάφορα εργοστάσια της Σουηδίας και έχει εγκριθεί και ανήκει στον οργανισμό «Ολοκληρωμένης οικονομικής μοντελοποίησης ροών υλικών» (IECOMAT). Τα στατιστικά στοιχεία και οι δείκτες που ακολουθούν έχουν σχεδιαστεί για να υπολογιστεί η δραστηριότητα της ανακύκλωσης και δείχνουν: το ποσοστό ανακύκλωσης, την αναλογία απορριμμάτων, το ανακυκλωμένο περιεχόμενο και το ποσοστό εισόδου ανακύκλωσης [80]. Αυτή η εκτίμηση απαιτεί λίγα στοιχεία για τον υπολογισμό της και ως εκ τούτου, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό της ροής του ανακυκλωμένου υλικού στην οικονομία. Παρόλο που η Κυκλική οικονομία και η ανακύκλωση είναι δυο στενά συνδεδεμένες έννοιες, η Κυκλική οικονομία δεν έχει κάποιο κοινώς αποδεκτό σύστημα για τη μέτρηση της εφαρμογής της [81]. Η πολυπλοκότητα του προσδιορισμού ενός αξιόπιστου δείκτη για τη Κυκλική οικονομία που αντικατοπτρίζει επίσης το ρόλο της ανακύκλωσης τονίζεται από τις ακόλουθες παρατηρήσεις. Η καλύτερη προσέγγιση από τις απόπειρες που έχουν γίνει να μετρηθεί η κυκλική οικονομία είναι αυτή της μεθόδου που παρουσιάζεται, ωστόσο εκκρεμεί ακόμα να δημιουργεί ένα ξεκάθαρο και κοινά αποδεκτό σύστημα αξιολόγησης της κυκλικής οικονομίας και να μοντελοποιηθεί η ροή των προϊόντων.

Πρώτον, όπως ορίζεται και από τις δύο έννοιες, η Κυκλική οικονομία παίρνει τη μεγιστοποίηση της αξίας ενός υλικού ως ρητό σημείο αναφοράς της αποτελεσματικότητας, ενώ η δραστηριότητα ανακύκλωσης από μόνη της περιγράφει μια βιομηχανική δραστηριότητα μεταξύ πολλών άλλων. Από αυτήν την ασυμφωνία, προκύπτει ότι μια άμεση εφαρμογή των δεικτών ανακύκλωσης ως μέτρησης της Κυκλικής οικονομίας δεν είναι ικανοποιητική.

Δεύτερον, η Κυκλική οικονομία δεν έχει αυστηρό και ξεκάθαρο ορισμό όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Αυτό το πρόβλημα της ασάφειας ως προς τον ορισμό ενέχει τον κίνδυνο λανθασμένης ανάπτυξης της μεθοδολογίας. Σε αυτό το πρόβλημα, υποστηρίζεται ότι μια βολική λύση συνίσταται στον καθορισμό της Κυκλικής οικονομίας ως συνάρτηση ενός μετρικού συστήματος, που ξεκινά από ένα εξίσου καλά καθορισμένο σύστημα ροής και αξίας υλικού. Επιπλέον, όταν μια μέτρηση έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σύμφωνα με τη μαθηματική λογική, οι ορισμοί είναι σαφείς.

Η μεθοδολογία λοιπόν λειτουργεί σε τρία βήματα. Πρώτα, εξετάζεται πως η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία παρεκκλίνει από ένα καλά καθορισμένο κυκλικό σύστημα. Δεύτερον, χαρακτηρίζεται η βέλτιστη ροή υλικού και σταδιακά ορίζονται οι υπολογισμοί για το πως μετριέται η Κυκλική οικονομία. Τέλος, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα για να καθοριστεί με μετρήσιμα μεγέθη η γραμμική οικονομία, η Κυκλική οικονομία και η ανάπτυξη της Κυκλικής οικονομίας.

4.1 Μοντέλο μέτρησης Κυκλικής οικονομίας

Έστω μια δυναμική οικονομία που αποτελείται από έναν αντιπροσωπευτικό καταναλωτή/βιομηχανία με προτιμήσεις έναντι της κατανάλωσης σε n διαφορετικούς τύπους λειτουργιών με,

- $C_{i,t}$ είναι το προϊόν, $C_{i,t} \geq 0$, με
- $i = 1, 2, \dots$, n διαφορετικές λειτουργικότητες,
- t , που υποδηλώνει το χρόνο, από 1 έως T .
- Οι προτιμήσεις αντιπροσωπεύονται από μια αυστηρά κοίλη συνάρτηση χρησιμότητας $U_t(C_{1,t}, C_{2,t}, \dots, C_{i,t})$ ικανοποιώντας το $\frac{\partial U_t}{\partial C_{i,t}} > 0$.

Γίνεται η θεώρηση ότι η κατανάλωση ικανοποιεί διαφορετικές ανάγκες, όπως ενέργεια, φωτισμό και επικοινωνία και έτσι γίνεται εστίαση μόνο στη λειτουργικότητα των παραγόμενων αγαθών και υπηρεσιών από το συγκεκριμένο υλικό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή τους. Η λειτουργικότητα $\hat{c}_{i,t}$, είναι, από μόνη της, μια συνάρτηση χρησιμότητας που αποτελείται από αγαθά τα οποία απορρίπτονται μετά από h_i περιόδους παραγωγής που έχει παραχθεί το προϊόν $C_{i,t}$, διότι δεν είναι εκμεταλλεύσιμο πια. Η συνάρτηση χρησιμότητας είναι μια συνάρτηση $u(x)$ η οποία αντιστοιχεί έναν πραγματικό αριθμό σε κάθε δεσμίδα κατανάλωσης. Οι συναρτήσεις χρησιμότητας εκφράζονται ως $\hat{c}_{i,t} = Z_t^{-1}(C_{i,t}, C_{i,t-1}, C_{i,t-2}, \dots, C_{i,t-h_i})$ και θεωρείται αυστηρά κοίλο και αυξανόμενο σε όλα τα στοιχεία. Με άλλα λόγια, γίνεται η υπόθεση ότι $\frac{\partial Z_t}{\partial C_{i,t}} > 0$, με $s = 0, 1, \dots, h_i$.

Υπάρχουν N διαφορετικά αποθέματα πρώτης ύλης που δεν έχει ξαναχρησιμοποιηθεί (πρωτογενές υλικό) και N διαφορετικά αποθέματα ανακυκλωμένου υλικού. Υποδηλώνεται το απόθεμα ακατέργαστου υλικού ως $M_{j,t}$ και το απόθεμα ανακυκλωμένου υλικού ως $M'_{j,t}$ με $j = 1, 2, \dots, N$. Η παραγωγή του προϊόντος $C_{i,t}$ απαιτεί μια ορισμένη μη αρνητική ποσότητα πρωτογενούς και ανακυκλωμένου υλικού. Η ποσότητα του πρωτογενούς υλικού τύπου j που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του προϊόντος $C_{i,t}$ συμβολίζεται ως $m^j_{i,t}$, και η ποσότητα ανακυκλωμένου υλικού τύπου j που χρησιμοποιείται στην παραγωγή $C_{i,t}$ ως $r^j_{i,t}$. Ο βαθμός υποκατάστασης μεταξύ $m^j_{i,t}$ και $r^j_{i,t}$ δεν είναι απαραίτητως τέλεια αντικατοπτρίζοντας για παράδειγμα την απώλεια ποιότητας σε επόμενους γύρους ανακύκλωσης. Απαιτείται επίσης κεφάλαιο και συμβολίζεται ως $k_{i,t}$. Η τεχνολογία που μετατρέπει το παρθένο, ακατέργαστο και ανακυκλωμένο υλικό σε φυσικό αγαθό είναι:

$$C_{i,t} = f_{i,t}(m^1_{i,t}, m^2_{i,t}, \dots, m^N_{i,t}, r^1_{i,t}, r^2_{i,t}, \dots, r^N_{i,t}, k_{i,t}) \quad (4.1)$$

Όπου, το $f_{i,t}$ θεωρείται ότι είναι μια κοίλη συνάρτηση που ικανοποιεί $\frac{\partial f_{i,t}}{\partial m^j_{i,t}} > 0$ και $\frac{\partial f_{i,t}}{\partial r^j_{i,t}} > 0$.

Έστω ότι υπάρχει τουλάχιστον ένα $m^j_{i,t}$ που ικανοποιεί το $\frac{\partial f_{i,t}}{\partial m^j_{i,t}} > 0$ για κάθε i, t .

Στην περίπτωση στην οποία $\frac{\partial f_{i,t}}{\partial m^j_{i,t}} = 0$, για j' , για το ακατέργαστο υλικό για τον τύπο j' δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει καλό i , παράγωγο, τον χρόνο t .

Συγκεκριμένα, υποθέτουμε ότι $\frac{\partial f_{i,t}}{\partial k_{i,t}} > 0$. Οι παράγοντες που σχετίζονται με την κατανάλωση πρωτογενούς και ανακυκλωμένου υλικού έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην

ποιότητα του περιβάλλοντος, δηλαδή αντιπροσωπεύεται από μια κοίλη στιγμιαία συνάρτηση ποιότητας:

$$\sum_j^N q_{i,t}^j(m_{1,t}^1, m_{2,t}^2 \dots m_{m,t}^j) + q_{i,t}^r(r_{1,j}^j, r_{2,j}^j \dots r_{n,j}^j) \quad (4.2)$$

Με $\frac{\theta_{qt,i}}{\theta_{mji,t}} < 0$ και $\frac{\theta_{qt,i}}{\theta_{rji,t}} < 0$. Δηλαδή, εισάγονται διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανάλογα με τη συγκεκριμένη πορεία που το καθένα τύπου υλικού έχει ακολουθήσει κατά τη διαδικασία παραγωγής.

Η εξίσωση της κίνησης χαρακτηρίζει την εξέλιξη του αποθέματος του ακατέργαστου υλικού και δίνεται από $M_{i,t} - M_{i,t-1} = - \sum_i (m_{i,t}^j + \varphi_j, t)$, για $\varphi_{j,t} \geq 0$. Όταν, $\varphi_{j,t} > 0$, το ακατέργαστο υλικό j , είναι ανανεώσιμο για χρόνο t , διαφορετικά δεν είναι ανανεώσιμο.

Υποτίθεται ότι το κάθε προϊόν $C_{i,t}$ που έχει παραχθεί μεταφέρεται σε μια εξειδικευμένη εγκατάσταση ανακύκλωσης μετά από h_i περιόδους παραγωγής και από ελέγχους ποιότητας, διάβρωσης, αντοχής.

Ανακεφαλαιώνοντας οι παράμετροι που εξετάζονται είναι οι εξής:

$C_{i,t}$	Το προϊόν.
$U_t(C_{1,t}, C_{2,t}, C_{2,t}, C_{i,t})$	Η συνάρτηση χρησιμότητας για τις καταναλωτικές προτιμήσεις.
$\hat{c}_{i,t} = Z_i^i(c_{i,t}, c_{i,t-1}, \dots, c_{i,t-h_i})$	Η λειτουργικότητα $\hat{c}_{i,t}$, είναι, από μόνη της, μια συνάρτηση χρησιμότητας που αποτελείται από αγαθά τα οποία απορρίπτονται μετά από h_i περιόδους παραγωγής που έχει παραχθεί το προϊόν $C_{i,t}$, διότι δεν είναι εκμεταλλεύσιμο πια.
$f_{i,t}(m_{i,t}^1, m_{i,t}^N, r_{i,t}^1, r_{i,t}^N, k_{i,t})$	Η τεχνολογία που μετατρέπει το ακατέργαστο και ανακυκλωμένο υλικό σε φυσικό αγαθό.
$\hat{C}_{i,t}$	Η χρήση προϊόντων.
N	Ποσότητα από ακατέργαστα υλικά, ανακυκλωμένα υλικά.
$M_{j,t}$	Το απόθεμα πρώτης ύλης, ακατέργαστου υλικού.
$M_{j,t}^r$	Το απόθεμα από ανακυκλωμένα υλικά.
$m_{i,t}^j$	Ποσό ακατέργαστου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντα $C_{i,t}$.
$r_{i,t}^j$	Ποσό ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος $C_{i,t}$.
$r_{i,t}^{vj}$	Ποσό πρωτογενούς ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος, από ανακυκλωτή i . Προορίζεται για αποθεματοποίηση στην αποθήκη και θα συνεισφέρει ξανά στην οικονομία.
$k_{i,t}$	Το κεφάλαιο που διατίθεται.
$q_{i,t}^v$	Η επίδραση-αποτύπωμα στο περιβάλλον.
h_i	Οι περιόδους παραγωγής που έχει παραχθεί το προϊόν $C_{i,t}$.
i	Ανακυκλωτής (Recycler).
j	Τύπος της πρώτης ύλης.
W	Ποσότητες που δεν ανακυκλώνονται, και αποβάλλονται εντελώς από το σύστημα.
$q_{i,t}^{v-N}$	Το κεφάλαιο που χρειάζεται για να επανακτήσει το υλικό που εκτελεί 2 ^ο κύκλο ζωής για το προϊόν $C_{i,t}$.
$k_{i,t}^{v-N}$	Το κεφάλαιο που χρειάζεται για να επανακτήσει το ακατέργαστο υλικό για το προϊόν $C_{i,t}$.
$r_{i,t}^{rj}$	Ποσά επαναλαμβανόμενα ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του προϊόντος από ανακυκλωτή i . Προορίζεται για αποθεματοποίηση στην αποθήκη και θα συνεισφέρει ξανά στην οικονομία.

r	Ανακυκλωμένο (Recycled).
v	Πρωτογενές (Virgin).

Υποθέτουμε, ότι η δυνατότητα ανακύκλωσης δίνεται με τους τρόπους:

$$r^{v-1}_{i,t} = g^{v-1}_{i,t}(m^1_{i,t-h}, k^{v-1}_{i,t})$$

$$r^{v-2}_{i,t} = g^{v-2}_{i,t}(m^1_{i,t-h}, k^{v-1}_{i,t})$$

...

$$r^{v-N}_{i,t} = g^{v-N}_{i,t}(m^N_{i,t-h}, k^{v-N}_{i,t})$$

$$r^{v-1}_{i,t} = g^{r,1}_{i,t}(r^N_{i,t-h}, k^{r,1}_{i,t})$$

$$r^{v-2}_{i,t} = g^{r,2}_{i,t}(r^2_{i,t-h}, k^{r,2}_{i,t})$$

$$r^{v-N}_{i,t} = g^{r,N}_{i,t}(r^N_{i,t-h}, k^{r,N}_{i,t})$$

Με την σχέση 4.3 υπολογίζεται η ποσότητα του υλικού που δεν ανακυκλώνεται W . Πρώτα προστίθεται η ποσότητα $m^j_{i,t-h}$ που είναι το ποσό ακατέργαστου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντα $C_{i,t}$ μετά από κάποιες περιόδους παραγωγής συν το $r^j_{i,t-h}$ που εκφράζει το ποσό ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος $C_{i,t}$ που χρησιμοποιείται επαναλαμβανόμενα για πολλά χρονικά διαστήματα. Αφαιρείται το $r^{v,j}_{i,t}$ που είναι το ποσό πρωτογενούς ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος και το $r^{r,j}_{i,j}$ που είναι το ποσό επαναλαμβανόμενα ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος από ανακυκλωτή i , τα οποία προορίζονται για αποθεματοποίηση στην αποθήκη και θα συνεισφέρουν ξανά στην οικονομία.

$$W = -\sum_i^N \sum_j^N (m^j_{i,t-h} - r^{v,j}_{i,t} + r^j_{i,t-h} - r^{r,j}_{i,j}) \quad (4.3)$$

Οι ποσότητες $r^{v,j}_{i,t}, r^{r,j}_{i,j}$, που είναι αντίστοιχα το ποσό πρωτογενούς ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος και το που είναι το ποσό επαναλαμβανόμενα ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος από ανακυκλωτή i , προορίζονται για αποθεματοποίηση στην αποθήκη. Αφαιρώντας το ποσό ανακυκλωμένου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντος $C_{i,t}$ που χρησιμοποιείται επαναλαμβανόμενα για πολλά χρονικά διαστήματα και συμβολίζεται $r^j_{i,t-h}$ προκύπτει η σχέση 4.4, υπολογίζοντας τα υλικά που θα συνεισφέρουν ξανά στην οικονομία.

$$M^r_{j,t} - M^r_{j,t-h} = r^{v,j}_{i,t} + r^{r,j}_{i,j} - r^j_{i,t-h} \quad (4.4)$$

Η σχέση 4.5 που χαρακτηρίζει την εξέλιξη των αποθεμάτων στην αποθήκη. Υπολογίζεται αφαιρώντας το $m^j_{i,t}$ που είναι το ποσό ακατέργαστου υλικού j που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του προϊόντα $C_{i,t}$, πλην το ϕ_j, t που είναι το ακατέργαστο υλικό j , είναι ανανεώσιμο για χρόνο t και έχει θετικό πρόσημο όταν ανακυκλώνεται στην προκειμένη περίπτωση τα μέταλλα είναι πλήρως ανακυκλώσιμα οπότε είναι πάντα θετικό, $\phi_j, t > 0$.

$$M_{i,t} - M_{i,t-1} = -\sum_i^N (m^j_{i,t} + \phi_j, t) \quad (4.5)$$

Υπολογίζοντας την βελτιστοποίηση αυτής της σχέσης, για τη βέλτιστη ποσότητα από κάθε υλικό, δηλαδή την χρυσή τομή στην αναλογία από το ακατέργαστο υλικό και το ανακυκλωμένο που είναι έτοιμο να διαγράψει νέο κύκλο ζωής.

Για να βρούμε τον ενδογενή ρυθμό ανακύκλωσης με τις βέλτιστες λύσεις εφαρμόζουμε την σχέση 4.6, με αστερίσκο δηλώνονται οι βέλτιστες τιμές στο διάστημα [0, 1].

$$a_{i,j}^* = \frac{r_{i,t}^j}{m_{i,t}^j + r_{i,t}^j} \quad (4.6)$$

Επιπλέον, για την αξιολόγηση της πορείας της Κυκλικής οικονομίας του μηχανουργείου, αναπτύχθηκαν δυο δείκτες.

Ο πρώτος δείκτης υπολογίζεται με την σχέση 4.7 και μετράει το περιθώριο κέρδους από τα ανακυκλώσιμα υλικά που συμβολίζεται $r_{i,t}^j$ πολλαπλασιασμένο με τον ενδογενή ρυθμό ανακύκλωσης που αναπτύχθηκε προηγουμένως:

$$R_{i,j,t}^* = a_{i,j}^* \sum_{s=0}^{hi} \frac{d u_{i+t}^*}{d z_{i+t}^*} \frac{d z_{i+t}^*}{d f_{i+t}^*} \frac{d f_{i+t}^*}{d r_{i+t}^*} \quad (4.7)$$

Όμοια, ορίζεται ο δείκτης 4.8 της βέλτιστης γραμμικής δραστηριότητας του ανακυκλωτή i του υλικού j:

$$L_{i,j,t}^* = (1 - a_{i,j}^*) \sum_{s=0}^{hi} \frac{d u_{i+t}^*}{d z_{i+t}^*} \frac{d z_{i+t}^*}{d f_{i+t}^*} \frac{d f_{i+t}^*}{d r_{i+t}^*} \quad (4.8)$$

Συνδυάζοντας τους δείκτες διαμορφώνεται ένας νέος δείκτης για την κυκλική δραστηριότητα του συστήματος. Ορίζεται, το σύνολο των επιπέδων της βέλτιστης ποσότητας ανακυκλωμένης πρώτης ύλης και αντίστοιχα, γραμμικής δραστηριότητας στο χρόνο t:

$$R_t^* = \sum_i^N \sum_j^N R_{i,j,t}^* L_t^* = \sum_i^N \sum_j^N \mu_{i,j}^* * L_{i,j,t}^* \quad (4.9)$$

Τελικά, ορίζεται η βέλτιστη δραστηριότητα της Κυκλικής οικονομίας στο χρόνο. Αυτό δείχνει τελικά τη βέλτιστη δραστηριότητα της ανακύκλωσης, υπολογίζοντας τη διαφορά των δυο προαναφερθέντων ποσοτήτων και είναι η πιο οικονομικά συμφέρουσα περίπτωση από κάθε άλλη.

Με αυτό το μοντέλο ένα μηχανουργείο μπορεί να υπολογίζει με ποια ποσότητα ανακυκλωμένου υλικού και με ποια ποσότητα πρωτογενούς θα επιτυγχάνει μέγιστο κέρδος, την ποσότητα μετάλλου που θα επαναχρησιμοποιήσει στην επόμενη ανακύκλωση υλικού και τέλος το υλικό που δε θα ξανά-ανακυκλωθεί [80].

5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

5.1 Βιομηχανικό Πάρκο Δανίας και Βιομηχανική οικολογία

Προγενέστερη έννοια της κυκλικής οικολογίας είναι η βιομηχανική οικολογία, η οποία ερευνά σε παγκόσμιο, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο τις ροές μιας βιομηχανίας σε επίπεδο ενέργειας, υλικών διεργασιών και πορεία της οικονομίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αξιολογηθεί η διαχείριση των πόρων σε όλα τα επίπεδα που αναφέρθηκαν και να εξεταστεί ο ρόλος της βιομηχανίας στη μείωση των περιβαλλοντολογικών φορτίων σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των παραγόμενων προϊόντων, από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή των αγαθών, τη χρήση αυτών των αγαθών και τη διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων.

Στόχος της βιομηχανικής οικολογίας είναι να προαχθεί η αειφόρος ανάπτυξη στις επιχειρήσεις. Οι επιμέρους στόχοι παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο ακόλουθο σχήμα 5.1:

Στόχοι της βιομηχανικής οικολογίας

1. Προώθηση αειφόρου ανάπτυξης στις επιχειρήσεις.
2. Διαχείριση των πόρων με βιώσιμο τρόπο
3. Ασφαλή διαχείριση και συντήρηση της δομής των οικοσυστημάτων
4. Περιβαλλοντολογική ισότητα μεταξύ των κοινωνιών, και
5. Όχι ίαση αποβολή σκουπιδιών σε αναπτυσσόμενες χώρες.
6. Εναρμόνιση φυσικών οικοσυστημάτων και βιομηχανίας
7. Κυκλικές ροές
8. Ποικιλότητα

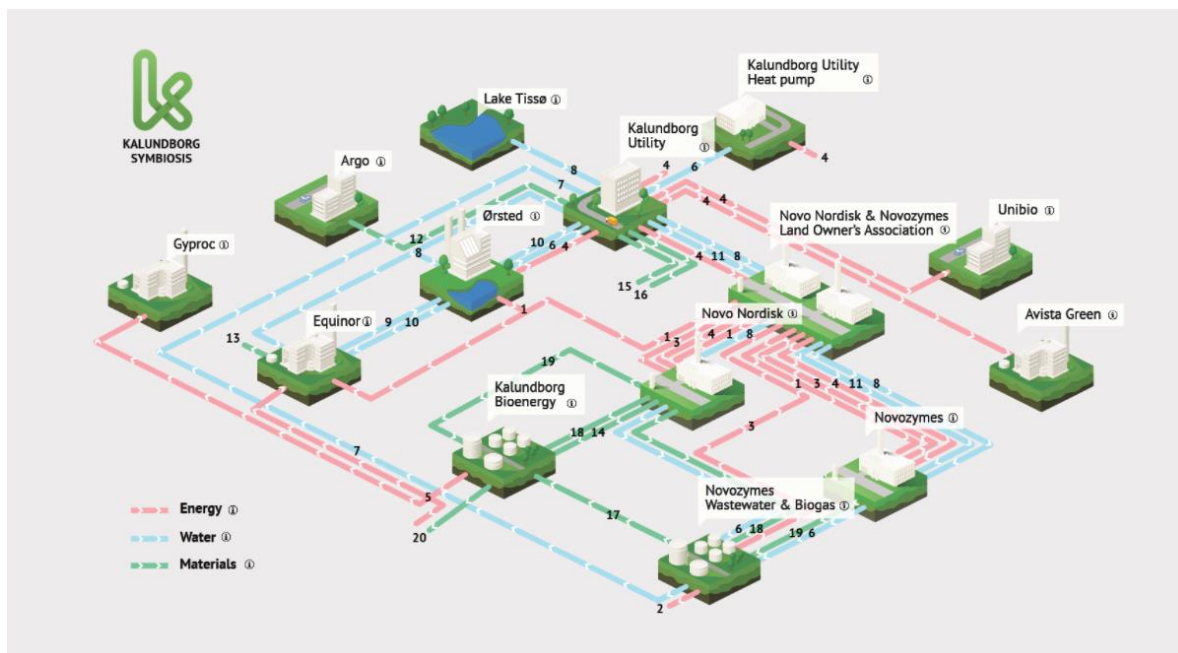
Σχήμα 5.1: Στόχοι της βιομηχανικής οικολογίας

Πάνω σε αυτές τις ιδέες και αρχές δημιουργήθηκε το πρωτοπόρο βιομηχανικό πάρκο με έδρα την περιοχή Kalundborg στη Δανία, που αποτελεί ένα πρωτοποριακό παράδειγμα οικολογικής παραγωγής ενέργειας και ανακύκλωσης υδάτων. Το πάρκο αυτό ονομάζεται Kalundborg και ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1959 με τη συμμετοχή ιδιωτικών φορέων επιτυγχάνοντας βιομηχανική συμβίωση. Η δομή του και οι παραγωγικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα στο πρωτοποριακό αυτό πάρκο συνυπάρχουν επιχειρήσεις, υποδομές και βιομηχανίες με έντονη περιβαλλοντολογική συνείδηση και σαν αποτέλεσμα αναπτύχθηκε η ιδέα της αστικής βιομηχανικής συμβίωσης. Εντός του πάρκου Kalundborg, βρίσκεται ο μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Δανίας με όνομα Asanaes με δυναμικότητας 1500MW, ο οποίος προμηθεύει με ενέργεια τόσο την ίδια την αστική κοινότητα όσο και άλλες εταιρείες. Στις δυο πρώτες δεκαετίες μετά την έναρξη της λειτουργίας του δεν υπήρχε σωστή διαχείριση πρώτων υλών και ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα γινόταν σπατάλη αυτής της ηλεκτρικής ισχύος για σχεδόν 20 χρόνια. Επιπλέον, το αρχικό πλάνο δεν προέβλεπε τη συνεργασία με διάφορες επιχειρησιακές μονάδες όπως τελικά έγινε. Τα σχέδια τροποποιήθηκαν όταν η Gyproc, μια μονάδα παραγωγής γυψοσανίδων με παραγωγή 14 εκατομμύρια τετραγωνικών μέτρων ετησίως, το 1972 τοποθέτησε έναν αγωγό φυσικού αερίου. Η εγκατάσταση από την οποία προμηθευόταν φυσικό αέριο ήταν της πετρελαϊκής εταιρείας Tidewater.

Σταδιακά ακολούθησε η ένταξη και άλλων βιομηχανιών στο πάρκο. Εταιρίες όπως η Statoil στην οποία ανήκει ένα από τα μεγαλύτερα διυλιστήρια πετρελαίου στη Δανία και η εταιρία βιοτεχνολογίας Novo Nordisc με κέρδος ετησίως 2 δις, είναι κάποια μόνο από τα

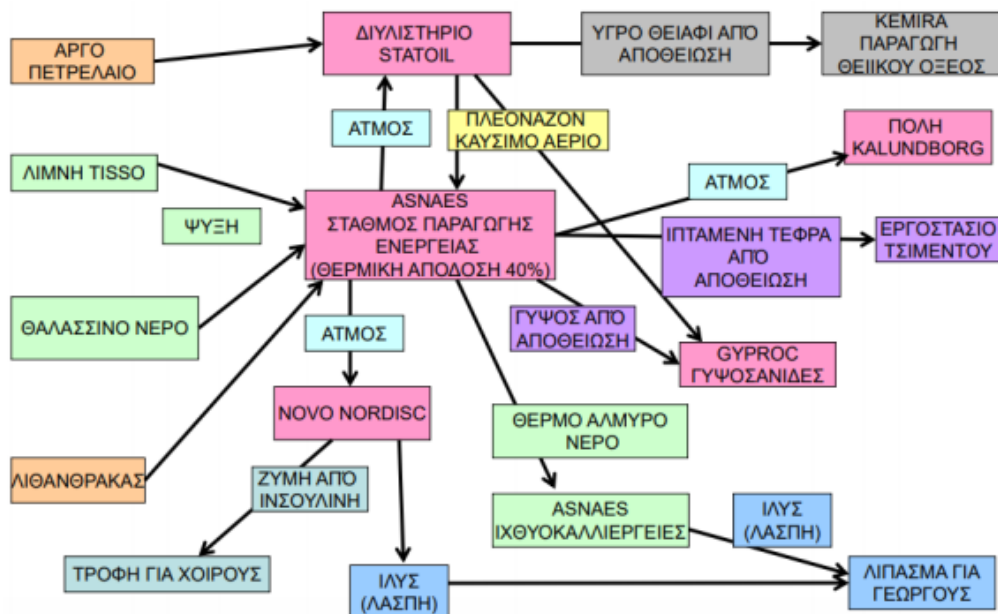
παραδείγματα που προδίδουν ότι η οικολογική συνείδηση, η βιώσιμη ανάπτυξη στις εταιρείες και το οικονομικό όφελος μπορούν να συνυπάρχουν με μεγάλη επιτυχία. Για να γίνει κατανοητό το μέγεθος της βιομηχανίας η εταιρία βιοτεχνολογίας παράγει το 40% ινσουλίνης παγκοσμίως χωρίς περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. Το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg μερίμνησε και για την ηλεκτροδότηση των γύρω περιοχών, στις οποίες δεν καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια αλλά αξιοποιούνται ενεργειακά τα απόβλητα από τις βιομηχανικές διαδικασίες. Πιο συγκεκριμένα το 1981 ολοκληρώθηκε ένα δίκτυο διανομής τηλεθέρμανσης εντός πόλης το οποίο χρησιμοποιούσε απόβλητα θερμότητας από τον σταθμό παραγωγής.



Σχήμα 5.2: Το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg.

Σε δεύτερο χρόνο εγκαταστάθηκε και μονάδα ανακύκλωσης υδάτων, λόγω της έντονης λειψυδρίας που βίωνε η περιοχή όπου το νερό επαναχρησιμοποιείται. Από την ίδρυσή του έως και σήμερα οι δραστηριότητες στο βιομηχανικό πάρκο επεκτείνονται και εμπλουτίζονται με μονάδες ανακύκλωσης υλικού και απόβλητων.

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις του διαγράμματος που περιλαμβάνονται στο βιομηχανικό πάρκο Kalundborg.



Σχήμα 5.3: Το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg και δομή.

Το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg, πρωτοπόρησε με το να συνενωθούν ιδιωτικοί φορείς από ξεχωριστές βιομηχανίες να παράγουν όλα τα προϊόντα τους με πολύ οικολογικό τρόπο. Απέκτησαν ιδιαίτερα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τις άλλες επιχειρήσεις έχοντας τεράστιες απολαβές. Το πλεονέκτημα δόθηκε μέσω ενεργειών εντός του βιομηχανικού πάρκου όπως:

- ανταλλαγή υλικών,
- ανταλλαγή ενέργειας,
- ανταλλαγή πληροφοριών,
- ανταλλαγής προϊόντων.

Σαν αποτέλεσμα προέκυψαν ορισμένα οφέλη που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4:

Οφέλη από το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg

- Μείωση της ρύπανση του αέρα, των νερών και του εδάφους
- Εξοικονόμηση άλλων πόρων
- Εξοικονόμηση νερού
- Περισσότερα έσοδα
- Εξοικονόμηση κόστους για τις εμπλεκόμενες εταιρείες
- Νέα έσοδα από τις ανταλλαγές υποπροϊόντων

Σχήμα 5.4: Οφέλη του βιομηχανικού πάρκου Kalundborg

Ο όρος «Industrial Symbiosis» καταγράφηκε για πρώτη φορά με βάση το παράδειγμα στο Kalundborg ως μια συνεργασία μεταξύ διαφορετικών βιομηχανιών, η οποία αυξάνει τη βιωσιμότητά τους ενώ παράλληλα ικανοποιούνται και οι απαιτήσεις της κοινωνίας για εξοικονόμηση πόρων και προστασία του περιβάλλοντος. Η επιτυχία του βιομηχανικού πάρκου Kalundborg συνέβαλε στη δημιουργία ενδιαφέροντος για τη βιομηχανική συμβίωση. Το παράδειγμα αυτό ακολούθησαν τα επόμενα χρόνια κάποια από τα ανεπτυγμένα έθνη όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, με στόχο τη μετάβαση σε μια βιωσιμότερη κοινωνία. Ξεκίνησαν έτσι να διαμορφώνουν κίνητρα για εταιρείες με το να εφαρμόζουν ανταλλαγή υλικών με άλλες εταιρείες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 1996 το συμβούλιο του Προέδρου των ΗΠΑ πρότεινε τη δημιουργία 15 οικολογικών βιομηχανικών

πάρκων – EIPs, τα οποία και δημιουργήθηκαν. Έτσι θέλησαν πολλές βιομηχανίες να απολαύσουν τα πλεονεκτήματα που πριν είχε δημιουργήσει η Δανία για τις επιχειρήσεις της με το βιομηχανικό πάρκο Kalundborg, τα οποία εντοπίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Ποικιλία βιομηχανικών δραστηριοτήτων που ταίριαζαν η μία με την άλλη.
- Μικρή γεωγραφική απόσταση ανάμεσα στα μέλη.
- 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.
- Εθελοντική συμμετοχή και στενή συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές.

Η επιτυχία του πάρκου συνέβαλε στη δημιουργία ενδιαφέροντος για τη βιομηχανική συμβίωση. Στα χρόνια που ακολούθησαν ανεπτυγμένα έθνη, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, άρχισαν να διαμορφώνουν κίνητρα για εταιρίες να εφαρμόζουν εναλλαγή υλικών, σε άλλες εταιρείες, ενδεικτικά αναφέρεται ότι το συμβούλιο του προέδρου της ΗΠΑ πρότεινε τη δημιουργία 15 οικολογικών βιομηχανικών πάρκων.

Όπως αναφέρθηκε ο όρος «βιωσιμότητα» ή βιώσιμη ανάπτυξη επηρεάζει σε μικρό ή μεγάλο βαθμό όλους τους παράγοντες της κοινωνίας, γιατί δεν πρόκειται για απλή περιβαλλοντική προστασία, αλλά για τους παράγοντες της κοινωνίας, γιατί δεν πρόκειται για απλή περιβαλλοντική προστασία, αλλά για τη σύγκλιση περιβαλλοντικών και αναπτυξιακών διαδικασιών που πρέπει να συντελούν σε αλλαγή του συστήματος αξιών.

Το παράδειγμα αυτού του βιομηχανικού πάρκου έχει δημιουργήσει κάποιες οδηγίες για το σχεδιασμό της βιωσιμότητας με την καταγραφή τεσσάρων βασικών στρατηγικών.

Πρώτη στρατηγική:	Η αποτελεσματική χρήση των πόρων έτσι ώστε να μειωθεί σταδιακά η εξάντληση και η ρύπανση.
Δεύτερη στρατηγική:	Η βιομίμηση είναι η αντιγραφή των φυσικών συστημάτων (πχ. δημιουργία δάσους)
Τρίτη στρατηγική:	Η ευθύνη των κατασκευαστών για το προϊόν σε σχέση με τους πελάτες (πχ. λύσεις, εμπειρία)
Τέταρτη στρατηγική:	Η συντήρηση και αποκατάσταση τονίζει τη σημασία της διατήρησης και της αποκατάστασης, της αρχικής κατάστασής, όπου είναι δυνατόν.

Έπειτα από την εφαρμογή αυτής της πολιτικής τα περιβαλλοντικά οφέλη που παρατηρήθηκαν και η εξοικονόμηση φυσικών πόρων είναι:

CO ₂ :	130 x 10 ³ τόνοι (από 4 x 10 ⁶ τόνους)
SO ₂ :	3700 τόνοι (από 29 x 10 ³ τόνους)
Ιπτάμενη στάχτη:	135 τόνοι
Θείο:	2800 τόνοι
Γύψος:	80 x 10 ³ τόνοι
Άζωτο από τη λάσπη:	800 τόνοι
Πετρέλαιο:	19 x 10 ³ τόνοι
Άνθρακας:	30 x 10 ³ τόνοι

5.2 Μελέτη της Κυκλικής οικονομίας στην Κίνα

Η Κίνα είναι η πρώτη χώρα η οποία υιοθέτησε βιομηχανικές πρακτικές σύμφωνα με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας. Η αρχή λοιπόν για μια πιο βιώσιμη πρακτική για τη διαχείριση των βιομηχανικών αποβλήτων και την εφαρμογή των καινοτόμων αρχών της Κυκλικής οικονομίας υιοθετήθηκε πραγματοποιώντας ανακατασκευή προϊόντων και γενικότερα συμμετοχή των αποβλήτων σε πολλαπλούς κύκλους ζωής. Η ανακατασκευή είναι μια βιομηχανική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει αποσυναρμολόγηση, καθαρισμό και επιδιόρθωση ή ολική ανακατασκευή και επανασυναρμολόγηση [82].

Οι βιομηχανίες που εδράζονται στην Κίνα ήταν οι πρώτες που συνειδητοποίησαν ότι σε συνέχεια της παραγωγής κάθε βιομηχανικού προϊόντος υπάρχει μία εναπομένουσα αξία τόσο για τα απόβλητα όσο και για τα χρησιμοποιημένα προϊόντα που έχουν φτάσει στο τέλος του λειτουργικού χρόνου ζωής τους. Αυτή ήταν η αφορμή για την εγκαθίδρυση της Κυκλικής οικονομίας, συνοδευόμενη από περιβαλλοντολογικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη [83].

Η διοίκηση, λοιπόν της βιομηχανίας της Κίνας παρατήρησε ότι τα καινούργια προϊόντα, εκείνα δηλαδή που θα πραγματοποιήσουν τον πρώτο κύκλο ζωής τους, έχουν μεγαλύτερο κόστος στην καταναλισκόμενη ενέργεια και στις πρώτες ύλες σε σχέση με εκείνα που προέρχονται από ανακύκλωση [84]. Έχει υπολογιστεί ότι αυτή η διαφορά στην κατανάλωση καύσιμων αντιστοιχεί σε 16 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου ετησίως ενώ παράλληλα μειώνεται το διοξείδιο του άνθρακα [85]. Αναλογιζόμενοι αυτήν τη διαφορά και υποθέτοντας ότι οι βιομηχανίες ήταν σε θέση να ανακατασκευάζουν εξ ολοκλήρου νέα προϊόντα από ανακυκλωμένη πρώτη ύλη, η Κίνα θα μπορούσε να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 6,67-9,69 εκατομμύρια τόνους και θα εξοικονομούσε με αυτόν τον τρόπο από την ηλεκτροδότηση των εργοστασίων 6-10 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες ετησίως. Γίνεται αντιληπτό ότι αυτή η μετάβαση είναι ιδιαίτερα αποδοτική τόσο για την οικονομία στην Κίνα τόσο για την ανάπτυξη της βιωσιμότητας.

5.2.1 Κινεζικές αρχές παρούσες στην οργάνωση και επιτήρηση της εφαρμογής της Κυκλικής οικονομίας

Μελετώντας δεδομένα, η κινεζική κυβέρνηση παρατήρησε ότι πόλεις με περιβαλλοντικούς νομούς, βιομηχανική χρηματοδότηση και καθοδήγηση από το κράτος έχουν καλύτερη πρόοδο στην πράσινη βιομηχανία από τις πόλεις με οικονομικά κίνητρα άνηθης και οικονομική πίεση. Η κινεζική κυβέρνηση προκειμένου να βοηθήσει την κατανόηση της νέας πρακτικής για τη διαχείριση των αποβλήτων κατέγραψε τη νέα εφαρμοζόμενη πολιτική και τροποποίησε το νομοθετικό της σύστημα. Έτσι με το να υπάρχει νομοθετικό υπόβαθρο συγκεκριμένο για την ανακατασκευή στη βιομηχανία προωθείται περαιτέρω η Κυκλική οικονομία και άρα η βιωσιμότητα στη βιομηχανία.

Η βιομηχανική ανακατασκευή προϊόντων καλύπτει ένα μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων όποτε είναι υπεύθυνοι πολλοί κρατικοί φορείς για να οργανωθεί η νέα αυτή τάση. Αναλογιζόμενοι το γεγονός ότι η Κίνα είναι μια χώρα η οποία έχει έντονα ανεπτυγμένη βιομηχανία η εφαρμογή του σχεδίου της Κυκλικής οικονομίας είναι ακόμα πιο περίπλοκη λόγω των πολλών απαιτήσεων.

Οι κύριοι κρατικοί φορείς που εμπλέκονται είναι:

- η Επιτροπή Εθνικής Ανάπτυξης και Αναγέννησης (National Development and Reform Commission),
- το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογίας της Πληροφορίας (Ministry of Industry and Information Technology),
- το Υπουργείο Οικονομικών (Ministry of Finance),

- το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας (Ministry of Science and Technology),
- ο Οργανισμός Διοίκησης για τη Νομοθεσία της Αγοράς (State Administration for Market Regulation),
- το Υπουργείο Εμπορίου (Ministry of Commerce),
- το Υπουργείο Οικολογικού Περιβάλλοντος (Ministry of Ecological Environment).

Οι παραπάνω φορείς είναι μόνο κάποιοι από τους οργανισμούς που έχουν συνεργαστεί για να υλοποιηθεί αυτό το κοινό, μεγάλο και χρονοβόρο όραμα για την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται το πώς συμμετείχαν, τις ευθύνες που είχαν και τι έλεγχε ο κάθε φορέας.

Η Επιτροπή Εθνικής Ανάπτυξης και Αναγέννησης είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή του προγράμματος στην κατασκευαστική βιομηχανία και την οργάνωση της πολιτικής για το εμπόριο προϊόντων από ανακυκλωμένα υλικά. Επιπλέον προσδιορίζει την περιβαλλοντολογική προστασία, την πράσινη ανάπτυξη και τη στρατηγική που θα πρέπει να ακολουθείται για να υλοποιείται η ανάπτυξη στο μέγιστο βαθμό. Τέλος, η συγκεκριμένη επιτροπή έχει τη δυνατότητα να προτείνει τρόπους που μπορούν οι τράπεζες να δείξουν έμπρακτα ότι στηρίζουν τις πράσινες επιχειρήσεις [86].

Το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογίας της Πληροφορίας, το οποίο είναι υπεύθυνο γενικά για τη διαχείριση θεμάτων που αφορούν τη βιομηχανία και τα οικολογικά θέματα ασχολείται με την επίβλεψη και ανακατασκευή τεμαχίων της ηλεκτρομηχανολογικής βιομηχανίας και πιστοποιεί ότι ένα προϊόν είναι όντως παράγωγο της εφαρμογής της Κυκλικής οικονομίας. Στα πλαίσια εφαρμογής αυτής της στρατηγικής κατασκευάστηκε ένας βιομηχανικός σταθμός ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας για να μη σπαταλάται η αχρησιμοποίητη βιομηχανική ενέργεια [86].

Δε θα μπορούσε να λείπει από την οργάνωση της Κυκλικής οικονομίας το Υπουργείο Οικονομικών, το οποίο συνεργάζεται με το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογίας της Πληροφορίας, που όπως προαναφέρθηκε, πιστοποιεί τα εργοστάσια που ανακατασκευάζονται. Το Υπουργείο Οικονομικών επιδοτεί όλους όσους βρίσκονται στην αλυσίδα και συνεργάζονται για την ανακατασκευή προϊόντων, από το ίδιο το εργοστάσιο που αλλάζει τακτική και δρα με βάση την Κυκλική οικονομία μέχρι εκείνους που εμπορεύονται ανακυκλωμένα προϊόντα και αυτούς που τα προωθούν. Επιπλέον, εκτός από τις επιδοτήσεις, προσφέρει και μερική φοροαπαλλαγή παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο οικονομική ασφάλεια για να διευκολυνθεί η μετάβαση στην Κυκλική οικονομία [86].

Σχετικά με το Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας, μπορεί σε κάποιους να μη φαίνεται με την πρώτη μάτια η χρησιμότητα αυτού του φορέα στη μετάβαση σε μια Κυκλική οικονομία όμως ισχύει το αντίθετο [86]. Το υπουργείο αυτό δημιούργησε μια πλατφόρμα που προωθείται η καταναλωτική προτίμηση να προσανατολίζεται σε ανακατασκευασμένα αγαθά αντί για τα προϊόντα που παράγονται με συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Συγχρόνως, είναι υπεύθυνο για τη συνεργασία και την αξιολόγηση για τη διαχείριση των χρηματοδοτήσεων για την έρευνα σχετικά με νέες τεχνολογίες που σαν στόχο έχουν την Κυκλική ανάπτυξη.

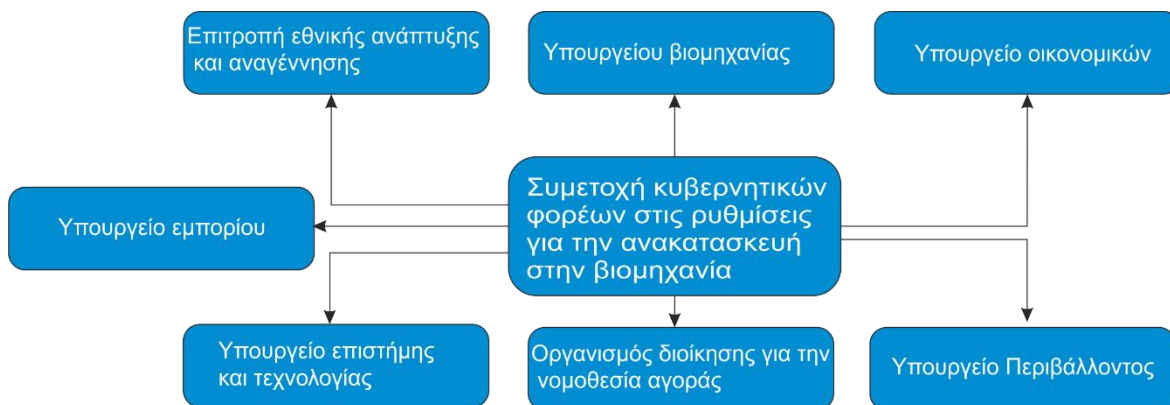
Φυσικά, δε θα μπορούσε να λείπει από την ομάδα οργάνωσης της Κυκλικής οικονομίας ο Οργανισμός Διοίκησης για τη Νομοθεσία της Αγοράς. Είναι ο φορέας που αξιολογεί εάν οι πρακτικές και τα προϊόντα που παράγονται από ανακατασκευή προϊόντων είναι ασφαλή για τους εργαζόμενους και τους καταναλωτές [86].

Το Υπουργείο Εμπορίου, ηγείται στο πράσινο εμπόριο ανακυκλωμένων ηλεκτρομηχανολογικών προϊόντων για τις εξαγωγές και τις εισαγωγές. Είναι επίσης υπεύθυνο και για το οικιακό εμπόριο μέσω της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας με στόχο τη μείωση των εκπομπών καυσαερίων από την κατανάλωση ενέργειας [86].

Το Υπουργείο Οικολογικού Περιβάλλοντος είναι το πλέον αρμόδιο για την εφαρμογή του σχεδίου της Κυκλικής οικονομίας και έχει τις εξής αρμοδιότητες [87]:

- Να επιθεωρεί αν γίνεται σωστή διαχείριση των κονδυλίων από τις βιομηχανίες για την εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας.
- Έχει την ευθύνη για την εφαρμογή των οικολογικών εφαρμογών, των σχεδίων και της πράσινης πολιτικής.
- Παρέχει καθοδήγηση σε ιδιωτικούς και δημόσιους φορείς για την εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας και την προστασία του περιβάλλοντος.

Στο σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η δομή των φορέων που συντέλεσαν στην ανάπτυξη της Κυκλικής οικονομίας.



Σχήμα 5.5: Οι φορείς από τη διοίκηση της Κίνας που συντέλεσαν στην οργάνωση της ανακατασκευαστικής βιομηχανίας στην Κίνα.

5.2.2 Νομοθεσία και μέτρα για την ανακατασκευαστική βιομηχανία στην Κίνα

Η Κινέζικη πολιτική φαίνεται ότι είχε αντιληφθεί νωρίς ότι προκειμένου να γίνει μετάβαση από γραμμική σε Κυκλική οικονομία ήταν απαραίτητο να διαφοροποιηθούν οι νόμοι. Μετά το 2010, μέσα σε δύο χρόνια οι νόμοι για τη νέα αυτή βιομηχανική τάση τριπλασιάστηκαν. Οι νόμοι διαφοροποιήθηκαν στον τομέα της ανακατασκευής και έγιναν αλλαγές στα εξής:

- Νομοθετήθηκαν Εθνικοί Νόμοι, οι οποίοι έθεσαν το σταθερό υπόβαθρο για την προετοιμασία του εδάφους για την εγκαθίδρυση της ανακατασκευαστικής βιομηχανίας στην Κίνα. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι προδιαγραφές που πρέπει να έχει μια τέτοια βιομηχανία για να διασφαλιστεί ότι η ποιότητα των ανακατασκευασμένων προϊόντων είναι κατάλληλη ώστε να έχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των προϊόντων με συμβατικές μεθόδους παραγωγής.
- Στους κανονισμούς της εθνικής επιτροπής πραγματοποιήθηκαν ρυθμίσεις προκειμένου να ξεπεραστούν τα νομοθετικά εμπόδια και το 2020 έγινε σχεδόν υποχρεωτική η ανανέωση των πρακτικών που ακολουθούν οι επιχειρήσεις.
- Στα έγγραφα του εθνικού συμβουλίου υπαγορεύεται ότι τα υπουργεία που προαναφέρθηκαν οφείλουν να παρέχουν προτάσεις, οδηγίες και προγράμματα σχετικά με τη διαχείριση των απόβλητων. Οι οδηγίες περιείχαν ενέργειες όπως:
 - 1) Χρηματοδότηση πανεπιστημιακών προγραμμάτων ώστε να στραφεί η έρευνα σε μεθόδους και εξοπλισμούς που δε θα επιβαρύνουν το περιβάλλον, στον αποδοτικό καθαρισμό βιομηχανικού εξοπλισμού και τεμαχίων και τέλος στην αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων σε βιομηχανική κλίμακα με σύγχρονες, αυτόματες, γρηγορότερες και ορθολογικότερες τεχνικές.

- 2) Οργάνωση του εμπορίου ανακατασκευασμένων προϊόντων. Ανάπτυξη της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας με στόχο να εξυπηρετούνται οι σκοποί της ανακατασκευής. Η εφοδιαστική αλυσίδα προμηθεύει τον πελάτη με το προϊόν. Η αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα επιστρέφει το δοκίμιο ή το εξάρτημα που έχει αστοχήσει στην εταιρεία, από την οποία έχει προέλθει, και το ανακατασκευάζει.
- 3) Ανάπτυξη της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας, εντός του εργοστασίου για να γίνει διπλή η πορεία των πρώτων υλών της συμβατικής γραμμής και όποιας γραμμής κατασκευάζει το προϊόν για τον πελάτη και μαζί με αυτό και της γραμμής παραγωγής αποβλήτων. Η αντίστροφη πορεία αφορά τις περιπτώσεις μετά την ανακύκλωση των αποβλήτων και την εγκαθίδρυση των συμπληρωματικών πρώτων υλών όπως είναι το νερό και η επιστροφή στη μονάδα παραγωγής προϊόντων για επαναχρησιμοποίηση των ανακυκλωμένων υλικών.
- 4) Προβλέπονται απαραίτητες ρυθμίσεις για την επέκταση της βιομηχανίας με επιπλέον τμήματα επιδιόρθωσης τεμαχίων και ηλεκτρολογικο-μηχανολογικών εξαρτημάτων.
- 5) Τα ανακατασκευασμένα προϊόντα θα πρέπει να φέρουν πιστοποιητικό ανακατασκευής για να είναι αναγνωρίσιμη η γνησιότητά τους από τους καταναλωτές.
- 6) Καθιερώνεται κρατικός έλεγχος για την ποιότητα του κάθε ανακυκλωμένου προϊόντος.
- 7) Για την εγκατάσταση της πράσινης βιομηχανίας ιδρύονται βιομηχανικά πάρκα και πάρκα Κυκλικής οικονομίας για την προστασία του περιβάλλοντος τα οποία θα είναι ανοιχτά προς τους επισκέπτες.



Σχήμα 5.6: Νομοθετικές ρυθμίσεις [87].

Οι νομοθετικές αυτές ρυθμίσεις έγιναν σε τρία βήματα.

Αρχικά ανανεώθηκαν οι πολιτικές που αφορούσαν τη βιομηχανία με ένα πρόγραμμα βάθους 12 χρόνων με αφετηρία το 2012 στο οποίο σαφώς τονίζεται η ανακατασκευή στη βιομηχανία, με στόχο να αναπτυχθεί τόσο η εθνική οικονομία όσο και να εξομαλυνθούν οι έντονες κοινωνικές ανισότητες. Το δεύτερο βήμα, ήταν η σταδιακή υιοθέτηση του προγράμματος από έναν μεγάλο αριθμό βιομηχανιών. Για παράδειγμα, οι πρώτες βιομηχανίες που το χρησιμοποίησαν ήταν οι βιομηχανίες με πολυμερή προϊόντα και έπειτα ακολούθησαν και οι ηλεκτρομηχανολογικές βιομηχανίες. Φαίνεται μέχρι και σήμερα ότι το οικονομικό αυτό παράδειγμα έχει υιοθετηθεί και από εταιρείες που τα προϊόντα τους δεν προέρχονται από φυσικά ορυχεία που στερεύουν όπως το πετρέλαιο και τα μέταλλα, άλλα και από βιομηχανίες υφάσματος που τα υλικά που απαιτούν είναι σε μεγάλο βαθμό αναλώσιμα που δεν βλάπτουν σημαντικά το περιβάλλον. Το τρίτο βήμα αφορούσε την κατάλληλη προώθηση αυτών των προϊόντων ώστε να βρίσκονται πρώτα στη λίστα προτίμησης του εμπορίου.

Παρατηρήθηκε ότι η πρώτη απόπειρα υιοθέτησης της Κυκλικής οικονομίας στην κατασκευαστική βιομηχανία δεν λειτούργησε με την επιθυμητή απόδοση. Έτσι, η Κινεζική κυβέρνηση έθεσε σε εφαρμογή ένα νέο σχέδιο με λήξη το 2025 για να εισαγάγει πιο δυναμικά την Κυκλική οικονομία. Η έμπνευση για αυτό το νέο σχέδιο προέκυψε από το μοντέλο που πρώτα εμφανίστηκε στη βιομηχανία με ονομασία Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0), η οποία μπορεί να μειώσει την κατανάλωση φυσικών πόρων όπως το νερό, να επιφέρει ελάττωση στην κατανάλωση ενέργειας και να δώσει μεγάλη βαρύτητα στην προηγμένη τεχνολογία που απαιτεί μια τέτοια καινοτομία [87].

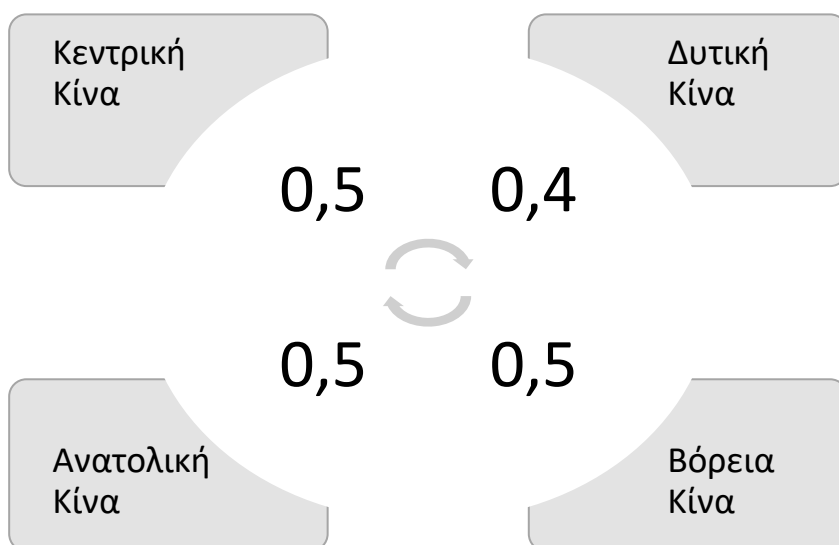
Η Κυκλική οικονομία στην Κίνα ωστόσο αντιμετωπίζει κάποιες δυσκολίες που εμποδίζουν τη γόνιμη ανάπτυξή της, που αφορά κυρίως την εφοδιαστική αλυσίδα και την οργάνωση.

Για παράδειγμα υπάρχει έλλειψη πληροφοριών για τη διάρκεια του κύκλου ζωής των προϊόντων, της ενέργειας που καταναλώνεται στην εφοδιαστική αλυσίδα και την επίγνωση γύρω από το χώρο της οικολογικής παραγωγής. Σε αντίθεση λοιπόν με την εφοδιαστική αλυσίδα, η Κυκλική οικονομία είναι πολλά υποσχόμενη στο πώς να λειτουργήσει η βιομηχανία με λίγους πόρους. Χαρακτηριστικό είναι και το παράδειγμα της Γερμανίας που σταδιακά άρχισε και αυτή να ανακυκλώνει και να μειώνει τους καταναλισκόμενους πόρους.

Έτσι, η Κίνα μετά από τις αλλαγές που πραγματοποίησε θέλησε να αναπτύξει ένα σύστημα αξιολόγησης της Κυκλικής οικονομίας. Έτσι ανέπτυξε ένα σύστημα, το οποίο μετράει τις ποσότητες ανακυκλωμένων προϊόντων και προϊόντων που πραγματοποιούν τον πρώτο κύκλο ζωής, προκειμένου να παραχθεί ένα νέο προϊόν που θα είναι έτοιμο να πραγματοποιήσει έναν νέο κύκλο ζωής. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των δεδομένων του 2015-2017 που αφορούν δεδομένα ηλεκτρομηχανολογικών βιομηχανιών, ξεχωριστά για την ανατολική, δυτική, βόρεια και νότια Κίνα μετρώντας ποσότητες όπως:

1. Τα περιουσιακά στοιχεία.
2. Βιομηχανική κατανάλωση νερού 100 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων.
3. Βιομηχανική κατανάλωση ενέργειας 100 εκατομμυρίων KWh.
4. Βιομηχανικά στερεά απόβλητα 100000 τόνων.
5. Βιομηχανικά υγρά απόβλητα 100000 τόνων.
6. Βιομηχανικά απόβλητα διοξειδίου του άνθρακα σε τόνους.
7. Την οικονομική επένδυση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέση αποδοτικότητα του Κυκλικού συστήματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.7 είναι:



Σχήμα 5.7: Αποτελέσματα μέσης αποδοτικότητας του Κυκλικού συστήματος.

Από αυτήν την έρευνα εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Τα δεδομένα της διαχείρισης των φυσικών πόρων δεν έδειξαν κάποια βελτίωση την περίοδο 2015-2017. Συνεπώς, αποδεικνύεται και μαθηματικά ότι η Κίνα πρέπει να βελτιώσει περαιτέρω τις μεθόδους που διαχειρίζεται τα απόβλητα και τους φυσικούς της πόρους.
2. Η αποδοτικότητα στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των φυσικών πόρων ήταν μεγαλύτερη από την αναλογία αποβλήτων που δεν ξαναχρησιμοποιούνται.

3. Η αποδοτικότητα στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των φυσικών πόρων και η αναλογία αποβλήτων που δεν ξαναχρησιμοποιούνται ήταν σταθερές στις χρονιές 2015-2017.
4. Η ανατολική Κίνα είχε γρηγορότερη ανάπτυξη, με την κεντρική Κίνα να κατέχει τη δεύτερη θέση και στη συνέχεια ακολουθούν οι βιομηχανίες που εδράζονται πιο βόρεια στον χάρτη. Στην τελευταία θέση βρίσκεται με καθυστέρηση στην ανάπτυξη σε πιο βιώσιμη οικονομία η δυτική Κίνα.

Για την αποδοτικότερη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία η Κίνα ακολούθησε τις εξής βελτιώσεις. Αρχικά, παρατηρήθηκε ότι οι νομοθετικές ρυθμίσεις λειτούργησαν με μεγάλη επιτυχία και από την ίδια τη χώρα διότι η πρόοδος προέκυψε από την αρχή της εφαρμογής των μέτρων αλλά στη συνέχεια δε βελτιώθηκε. Εξετάστηκε το παράδειγμα της Γερμανίας η οποία αποτέλεσε έμπνευση για την Κίνα γιατί με πολλή μεγάλη επιτυχία καταφέρνει να ανακυκλώνει τα βιομηχανικά απορρίμματα. Οπότε μετά από την εφαρμογή των πρώτων νομοθετικών ρυθμίσεων σε κάθε βιομηχανία η κυβέρνηση και τα υπουργεία περιβάλλοντος και παραγωγής θα ήταν χρήσιμο να δώσουν περαιτέρω οδηγίες, προγράμματα και πλάνα για να ενταχθούν οι βιομηχανίες σε δεύτερη ή και σε τρίτη φάση βελτίωσης της διαχείρισης των απορριμμάτων [88].

Σε συνέχεια από τον κάθε κύκλο εφαρμογής του εκάστοτε προγράμματος συνδυάζονται εκ νέου τα δεδομένα, και εφαρμόζεται η μέθοδος μέτρησης της κυκλικότητας του συστήματος που μελετάται και έπειτα συγκρίνονται οι δείκτες μεταξύ τους ως προς το πόσο ακολουθείται η κυκλικότητα. Φυσικά, καθώς το παράδειγμα της βιομηχανίας στην Κίνα μπορεί να αποτελέσει παράδειγμα και για άλλες χώρες, οφείλεται να τονιστεί ότι οι νομοθετικές ρυθμίσεις που θα γίνουν πρέπει να ταιριάζουν στο νομοθετικό σύστημα της κάθε χώρας.

Πλέον έχει γίνει κατανοητό ότι η έρευνα για να προωθηθεί ένα μοντέλο παραγωγής, όπως αυτό της Κυκλικής οικονομίας, είναι καιρός να στραφεί στην ανακάλυψη αποδοτικότερων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων. Το νέο στοιχείο που έχει εισαχθεί στη βιομηχανία είναι η ανακύκλωση στερεών αποβλήτων όπως είναι τα πολυμερή υλικά, τα μέταλλα και τα κεραμικά. Σε πολλές περιπτώσεις, αν η τεχνολογία υφίσταται για να ανακυκλώνονται τα στερεά απόβλητα από τέτοιες βιομηχανίες θα επιβάλλονται αυστηρές κυρώσεις από το Υπουργείο Περιβάλλοντος σε περίπτωση που δεν ανακυκλώνονται οι ποσότητες που έχουν οριστεί για την κάθε βιομηχανία.

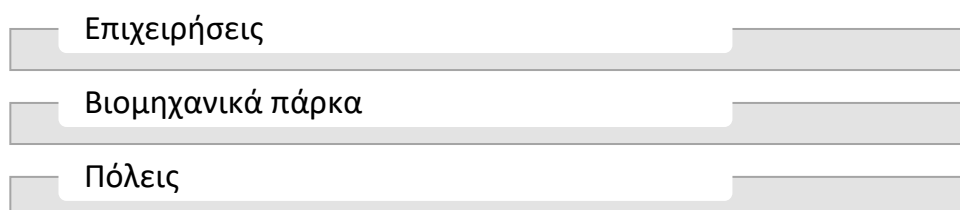
5.2.3 Βιομηχανικά πάρκα στην Κίνα

Προκειμένου να βελτιωθούν οι δείκτες της Κυκλικής οικονομίας που προαναφέρθηκαν, σε βιομηχανικά πάρκα έγινε η μετάβαση μετατροπής τους σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης. Οι έρευνες σε αυτά τα πάρκα εξετάζουν κυρίως τις σχέσεις μεταξύ του οικονομικού κέρδους και της βιομηχανικής συμβίωσης. Η βιομηχανική συμβίωση αφορά τη συνεργασία βιομηχανιών που παραδοσιακά δεν έχουν κανένα κοινό, με στόχο τη βελτιστοποίηση της ολικής διαχείρισης των πηγών ενέργειας, των πόρων και της ελάττωσης των αποβλήτων. Έχουν γίνει πολλές μελέτες για την πορεία, τον προσανατολισμό και το δρόμο που θα ακολουθηθεί από τη ροή υλικού για την κάθε επιχείρηση στο πάρκο. Έχει αποδειχθεί ότι αυτή η σχέση μεταξύ των εργοστασίων που θα συνεργάζονται εντός του βιομηχανικού πάρκου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη και μια δυσλειτουργία της αλυσίδας ή μια άσχημη διαχείριση των δραστηριοτήτων έστω και σε ένα εργοστάσιο θα έχει αντίκτυπο σε όλο το βιομηχανικό πάρκο και θα προκαλέσει τεχνικές, οικονομικές και ενεργειακές επιπτώσεις. Είναι υψίστης σημασίας λοιπόν να γίνει ένα από τα κύρια αντικείμενα μελέτης για το εκάστοτε βιομηχανικό πάρκο ο βιομηχανικός μεταβολισμός, δηλαδή η ροή του υλικού.

Για την ανάπτυξη ενός βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης, προκύπτουν περαιτέρω προβλήματα για τα οποία δεν έχει έρθει στο φως η λύση τους. Για παράδειγμα, στο σκοτάδι παραμένουν η ανάλυση των λειτουργιών, οι οδηγίες για την επιτήρηση και κυρίως οι πολυάριθμες λειτουργίες αβεβαιότητας που θα έχει ένα τέτοιο σύστημα. Πιθανώς, το πιο σημαντικό στοιχείο για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος είναι η ανάπτυξη μιας αποδοτικής αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας για να κυκλοφορούν οι πρώτες ύλες, η ενέργεια και τα απόβλητα εντός του συστήματος και προς τον προβλεπόμενο τελικό προορισμό το καθένα. Εν προκειμένω, η αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα αναφέρεται στη μετάβαση από την παραδοσιακή κατεύθυνση του υλικού, που μέχρι και πριν μερικά χρόνια ήταν μονόδρομος, σε μια κυκλική πορεία εντός του βιομηχανικού συστήματος για να δημιουργηθούν κλειστές αλυσίδες ανανεώσιμων πηγών, ενέργειας, υλικών και πρώτων υλών.

Η αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα είναι κάτι που δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί και να έχει μια πρότυπη μορφή διότι σε κάθε βιομηχανικό πάρκο εξυπηρετούνται διαφορετικές ανάγκες και ταιριάζει άλλη περίπτωση. Στην πραγματικότητα για να μετρηθεί αυτό το σύστημα είναι ιδιαίτερα περίπλοκο αλλά υπάρχουν μέθοδοι μέτρησης των εισαγόμενων και των εξαγόμενων ποσοτήτων του συστήματος όπως παρουσιάστηκε μια τέτοια αριθμητική μέθοδος που έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η Κίνα λόγω του μεγάλου όγκου της βιομηχανίας που διαχειρίζεται, έχει πολυάριθμα, βιομηχανικά πάρκα που έχουν δημιουργηθεί για να γίνεται καλύτερη ενεργειακή διαχείριση και να υπάρχει μεγαλύτερο κέρδος. Για να γίνει αποδοτικότερη διαχείριση των συνεργαζόμενων εργοστασίων το Υπουργείο Περιβάλλοντος προώθησε την Κυκλική οικονομία με ένα πρόγραμμα που ονομάζεται «Κυκλική οικονομία στην Κίνα». Το πρόγραμμα αυτό περιέχει υποκατηγορίες περιπτώσεων για κάθε εταιρική μορφή και είναι οι εξής:



Σχήμα 5.8: Υποκατηγορίες περιπτώσεων για κάθε εταιρική μορφή.

Πραγματοποιώντας μια σύγκριση ανάμεσα σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης (industrial park recycling transformation), οικολογικά βιομηχανικά πάρκα (eco-industrial parks) και το πρόγραμμα μετάβασης σε Κυκλική οικονομία που εφαρμόστηκε στην Κίνα (circular economy zone program in China) εντοπίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Οι κύριες διαφορές ανάμεσά τους εντοπίζονται στις προτεραιότητες του καθενός. Λόγω της οικολογικής επιβάρυνσης που είχαν προκαλέσει τα βιομηχανικά πάρκα, στα οικολογικά βιομηχανικά πάρκα μοιράζονται κοινές υποδομές από διαφορετικές βιομηχανίες για να αυξήσουν την αποδοτικότητα των πηγών ενέργειας, των πρώτων υλών και να γίνει πιο εύκολα η μετάβαση σε Κυκλική οικονομία.

Παράλληλα, η Κινεζική κυβέρνηση παρατήρησε ότι τα βιομηχανικά πάρκα και τα οικολογικά βιομηχανικά πάρκα στην Κίνα είχαν μόνο τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για κάθε βιομηχανία που φιλοξενούσαν, κάτι που ήταν ανεπαρκές για την ολική διαχείριση των αποβλήτων. Με αφορμή την παραπάνω παρατήρηση το Υπουργείο Περιβάλλοντος και το Υπουργείο Βιομηχανίας της Κίνας μέσω του προγράμματος μετάβασης σε Κυκλική οικονομία πρότεινε να αυξηθεί ο αριθμός των εγκαταστάσεων σε κάθε πάρκο, να σταματήσει η διοίκηση να αναπτύσσει μονόπλευρα τις υποδομές της ανάλογα με το τι

παράγει και να κλείσει ο κύκλος της διαχείρισης ενέργειας διότι δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής το όραμα της μετάβασης σε μια Κυκλική οικονομία. Για παράδειγμα, πρότεινε να μεταφερθεί η απομένουσα ενεργεία στους αγρούς και σε γειτονικούς οικισμούς.

Ωστόσο, από αυτό το σχέδιο έλειπε ακόμα η οικολογική διαχείριση των υλικών. Το Υπουργείο Οικονομικών αρχικά με γνώμονα την οικονομική ανάπτυξη, τον εκσυγχρονισμό και την οικολογική συνείδηση επικεντρώνεται και προωθεί εντονότερα το μοντέλο των βιομηχανικών πάρκων ανακύκλωσης. Οι αρχές που υπηρετεί, είναι η εξάλειψη της σπατάλης, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση που ταυτίζονται απόλυτα με την έννοια της Κυκλικής οικονομίας σε αντίθεση με τις άλλες δύο μεθόδους διαχείρισης των βιομηχανικών πάρκων. Έχοντας σαν πρότυπο αυτό το ριζοσπαστικό οικονομικό μοντέλο, επιτυγχάνεται οικονομικό κέρδος με τους ελάχιστους πόρους, που προωθούν την τοπική και την πράσινη ανάπτυξη [66]. Για τη μετάβαση του βιομηχανικού πάρκου από το γραμμικό μοντέλο σε μοντέλο Κυκλικής οικονομίας που περιλαμβάνει τα στάδια «πρώτες ύλες, προϊόν, απόβλητο, ανακύκλωση, αναγέννηση, προϊόν», πρέπει το σύστημα ανεφοδιασμού να βελτιστοποιηθεί. Στον ακόλουθο πίνακα 5.1 γίνεται σύγκριση ανάμεσα σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης, οικολογικά βιομηχανικά πάρκα και το πρόγραμμα μετάβασης σε Κυκλική οικονομία της Κίνας.

Οικολογικά βιομηχανικά πάρκα	
<i>Διοίκηση</i>	Τη διαχείριση των οικολογικών βιομηχανικών πάρκων έχει αναλάβει το Υπουργείο Περιβάλλοντος.
<i>Πεδίο εφαρμογής</i>	Βιομηχανικά πάρκα
<i>Κύριος στόχος</i>	Μείωση της μόλυνσης του πλανήτη μέσω της βιομηχανικής συμβίωσης πολλών εταιρειών.
Βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης	
<i>Διοίκηση</i>	Τη διοίκηση των βιομηχανικών πάρκων ανακύκλωσης έχει αναλάβει το Υπουργείο Οικονομικών.
<i>Πεδίο εφαρμογής</i>	Βιομηχανικά πάρκα
<i>Κύριος στόχος</i>	Επαναχρησιμοποίηση σε όλες τις βιομηχανίες, εργοστάσια και επιχειρήσεις εφαρμόζοντας τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας.
Πρόγραμμα μετάβασης σε Κυκλική οικονομία Κίνας	
<i>Διοίκηση</i>	Τη διαχείριση του προγράμματος μετάβασης σε Κυκλική οικονομία στην Κίνα το διαχειρίζονται τα Υπουργεία Τεχνολογίας, Εμπορίας και Οικονομικών.
<i>Πεδίο εφαρμογής</i>	Βρίσκει εφαρμογή στα βιομηχανικά πάρκα, στις βιομηχανίες, στις πόλεις, σε κατασκευαστικά έργα εφαρμόζοντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα σε κάθε κατηγορία.
<i>Κύριος στόχος</i>	Στόχος είναι η επανεξέταση και η ανάπτυξη νέων βιομηχανικών σχεδιασμών σύμφωνα με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας.

Πίνακας 5.1: Σύγκριση ανάμεσα σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης, οικολογικά βιομηχανικά πάρκα και το πρόγραμμα μετάβασης σε Κυκλική οικονομία στην Κίνα.

5.2.4 Χαρακτηριστικά του βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης

Το βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης οφείλει να έχει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2:

Χαρακτηριστικά βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης

<i>Πράσινο</i>	Το χαρακτηριστικό αυτό εντάσσεται στη μετάβαση στην Κυκλική οικονομία και πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα γεωφυσικά στοιχεία του τόπου στον οποίο βρίσκεται αυτό το νέο εταιρικό μοντέλο, ώστε να εναρμονίζεται με το γύρω οικοσύστημα. Η πράσινη αναβάθμιση των εργοστασίων πρέπει να πειθαρχεί σε ιδιαίτερα αυστηρούς ενεργειακούς κανόνες.
<i>Κυκλικό</i>	Το χαρακτηριστικό της κυκλικότητας αναφέρεται στην ανάπτυξη του συστήματος αντιστροφής εφοδιαστικής αλυσίδας για τη μετάβαση από το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο στο σύγχρονο Κυκλικό μοντέλο.
<i>Αποδοτικό</i>	Μέσω της κυκλικότητας και της βιομηχανικής συμβίωσης στα συστήματα αυξάνεται ο δείκτης αποδοτικότητας. Αναπτύσσεται το δίκτυο ανακύκλωσης πρώτων υλών, νερού, ενέργειας και μειώνονται οι σπατάλες και οι εκπομπές καυσαερίων.
<i>Κοινόχρηστες εγκαταστάσεις</i>	Η βιομηχανική συμβίωση συνεπάγεται την κοινή χρήση υποδομών, εγκαταστάσεων και ανακυκλωμένων αποβλήτων. Σημαντική είναι η αποθήκευση της αχρησιμοποίητης ενέργειας ή η προσφορά της σε άλλη βιομηχανία εντός του δικτύου προκειμένου να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον και να εξοικονομούνται χρήματα.
<i>Βιώσιμο</i>	Η βιωσιμότητα έρχεται από την ανάπτυξη και ίδρυση των βιομηχανικών πάρκων ανακύκλωσης με τον εμπλουτισμό ή την επέκταση των εγκαταστάσεων με υποδομές ανταποκρινόμενες στις νέες περιβαλλοντικές ανάγκες.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά του βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης.

Οι κατηγορίες ανάλυσης κρίσιμων ροών υλικού, αναφέρονται σε συγκεκριμένα προϊόντα που είναι εισαγόμενα και εξαγόμενα του υπό μελέτη συστήματος, και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3:

Κατηγορίες ανάλυσης κρίσιμων ροών υλικού

<i>Πρώτες ύλες συστήματος</i>	Υπολογισμός των μονάδων πρώτων υλών που καταναλώνει το σύστημα όπως είναι η ενέργεια και διάφορα ορυκτά. Αυτό μπορεί να εντοπιστεί εύκολα με την καταγραφή των δεδομένων από τις καταναλισκόμενες πρώτες ύλες και τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων των βέλτιστων ροών υλικών.
<i>Νερό</i>	Καθαρισμός και επαναχρησιμοποίηση του νερού σε όλες στις δραστηριότητες, υπολογισμός της αξιοποιούμενης ποσότητας. Αισθητήρας για τον υπολογισμό της ποσότητας της ροής του νερού σε κάθε τμήμα που είναι μια λύση για την ασφαλή εκτίμηση των τόνων νερού που καταναλώνονται σε όλο τον κλειστό κύκλο που δημιουργεί η κυκλική οικονομία, τόσο στην είσοδο του συστήματος

	όσο και στην έξοδό του.
<i>Απορρίμματα</i>	Πρέπει να γίνει ανάλυση ροής απορριμμάτων, για να μπορούν να γίνουν μελέτες επί της ανάπτυξης της αντιστροφής εφοδιαστικής αλυσίδας. Υπολογισμός του εκάστοτε υλικού και στη συνέχεια του αποβλήτου που χρησιμοποιείται σε κάθε βιομηχανία.
<i>Κοινόχρηστες εγκαταστάσεις</i>	Η βιομηχανική συμβίωση συνεπάγεται την κοινή χρήση υποδομών, εγκαταστάσεων και ανακυκλωμένων αποβλήτων. Ακόμα απαιτείται αποθήκευση της αχρησιμοποίητης ενέργειας ή προσφορά της σε άλλη βιομηχανία εντός του δικτύου προκειμένου να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον και να εξοικονομούνται χρήματα.
<i>Εκπομπές βλαβερών αερίων</i>	Χρήση φίλτρων, καταλυτών και άλλων συστημάτων καθαρισμού για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Δυστυχώς από τα χρόνια της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι και σήμερα όλες οι βιομηχανίες σε μικρό ή μεγάλο βαθμό εκπέμπουν ουσίες επιβλαβείς για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Δεν είναι λοιπόν άγνωστες αυτές οι ουσίες. Όμως σύγχρονα συστήματα όπως οι καταλύτες και τα φίλτρα μπορούν να μειώσουν την περιβαλλοντική ζημιά.

Πίνακας 5.3: Κατηγορίες ανάλυσης κρίσιμων ροών υλικού.

Η παρακολούθηση της κρίσιμης ροής υλικών βοηθάει στην ανάλυση σε μεγάλη κλίμακα εντός του πάρκου. Η ανάλυση του συστήματος σε μεγάλη κλίμακα μελετά τη συμπεριφορά του βιομηχανικού πάρκου σαν ολότητα και όχι τμηματικά. Με αυτόν τον τρόπο το μόνο που μπορεί να ισχυριστεί κανείς είναι ότι θα εξάγει σωστά συμπεράσματα και όχι μόνο ατομικά το κάθε τμήμα ή το κάθε εργοστάσιο αποκομμένο από το υπόλοιπο σύνολο, επιτρέποντας στους υπολογισμούς να είναι ιδιαίτερα ακριβείς. Η ανάπτυξη λοιπόν της ευθείας εφοδιαστικής αλυσίδας αλλά και η αντιστροφή θα εξάγει σαφή και ακριβή αποτελέσματα. Το κάθε βιομηχανικό πάρκο μετά από την ανάλυση της κρίσιμης ροής υλικού θα μπορεί να προσδιορίζει ποια είναι η κύρια πηγή που καταναλώνεται στην παραγωγική διαδικασία όπως και τις δευτερεύουσες πρώτες ύλες που εξυπηρετούν τις διάφορες λειτουργίες των εργοστασίων, όπως νερό, πρώτες ύλες, φυσικό αέριο, λάδια, πηγές ενέργειας, ορυκτούς πόρους κ.λπ.

Πολλοί μπορεί να αναρωτηθούν πως μεταφέρονται τέτοιες δράσεις στο εργοστασιακό περιβάλλον. Για να μειωθεί η σπατάλη πρώτων υλών και να μειωθούν τα έξοδα του βιομηχανικού πάρκου, όλο το πάρκο αλλά και κάθε επιμέρους επιχείρηση οφείλει να δημιουργήσει και να παρακολουθήσει τους δείκτες ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα στατιστικά αυτά θα περιέχουν τους δείκτες αξιολόγησης, οι οποίοι θα εξετάζουν την ποσότητα των κύριων υλικών που υπάρχουν για την παραγωγή ενός τεμαχίου. Όπως φάνηκε και από το παράδειγμα της Κίνας ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτίωση της πράσινης ανάπτυξης και για τη μετάβαση αυτών των ιδεών στο τραπέζι των διαπραγματεύσεων στη διοίκηση των βιομηχανικών πάρκων, δεν είναι άλλο από το να υπάρχει έλεγχος για τη βελτίωση της απόδοσης του κυκλώματος ανακύκλωσης. Οι έλεγχοι αυτοί λοιπόν, μπορούν να είναι κρατικοί ή και επιθυμητοί από την ίδια την εταιρεία χωρίς την απαίτηση λόγω υποχρεωτικότητας και όπως προαναφέρθηκε το Υπουργείο Περιβάλλοντος επιβάλει αυστηρά πρόστιμα αν η παραγωγή δεν φτάνει τους προκαθορισμένους δείκτες κυκλικότητας κάθε χρονιάς. Κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης ενός βιομηχανικού πάρκου ανακύκλωσης, τα βασικά σημεία για την κρίσιμη ανάλυση ροής υλικών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4:

Βασικά σημεία για την κρίσιμη ανάλυση ροής υλικών

<i>Κατάσταση από τις εισαγόμενες πρώτες ύλες</i>	Η κατάσταση από τις εισαγόμενες πρώτες ύλες προϋποθέτει την ανάλυση των πηγών ενέργειας και των ακατέργαστων πρώτων υλών. Έτσι ανά τακτά χρονικά διαστήματα καταγράφονται τα δεδομένα από τη συμπεριφορά των υλικών και εξάγονται στατιστικά για την πορεία και την πρόοδο της κυκλικής οικονομίας εντός του εργοστασίου.
<i>Αξιοποίηση δεδομένων ανάπτυξης του συστήματος</i>	Γίνεται ανάλυση του πόσο οικολογική είναι η παραγωγή προϊόντων, των ποσοτήτων εκπομπών βλαβερών αερίων και της κατάστασης από το μέγεθος της μόλυνσης. Βασισμένοι στα στατιστικά δεδομένα θα μπορεί σε βάθος χρόνου να αναπτυχθεί ένας ολοκληρωμένος κύκλος ζωής για την ανάλυση ροής υλικού.
<i>Κατάσταση εξαγωγής πρώτων υλών από το σύστημα</i>	Αξιολόγηση της ανάλυσης αναφορικά με τη μόλυνση και την ποσότητα της μόλυνσης σε σύγκριση με τις βέλτιστες αποδόσεις του συστήματος. Οι μετρήσεις θα αφορούν τις ποσότητες εισαγωγής και εξαγωγής πρώτης ύλης στο σύστημα ροής υλικού. Θα γίνονται έλεγχοι στις επιχειρήσεις για καθαρότερες διαδικασίες. Από τα στατιστικά στοιχεία της συλλογής δεδομένων, θα προκύπτουν περιβαλλοντικές βάσεις δεδομένων για τη διασφάλιση της ποιότητας του εργοστασίου.
<i>Σχεδιασμός για το αναλυτικό πλάνο των βιομηχανικών πάρκων ανακύκλωσης</i>	Με όλα τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να είναι πολύ πιο ακριβής και σύντομος ο σχεδιασμός για τη μετάβαση από βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης σε οικολογικά βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης.

Πίνακας 5.4: Τα βασικά σημεία για την κρίσιμη ανάλυση ροής υλικών.

5.2.5 Μορφή βιομηχανικού πάρκο ανακύκλωσης

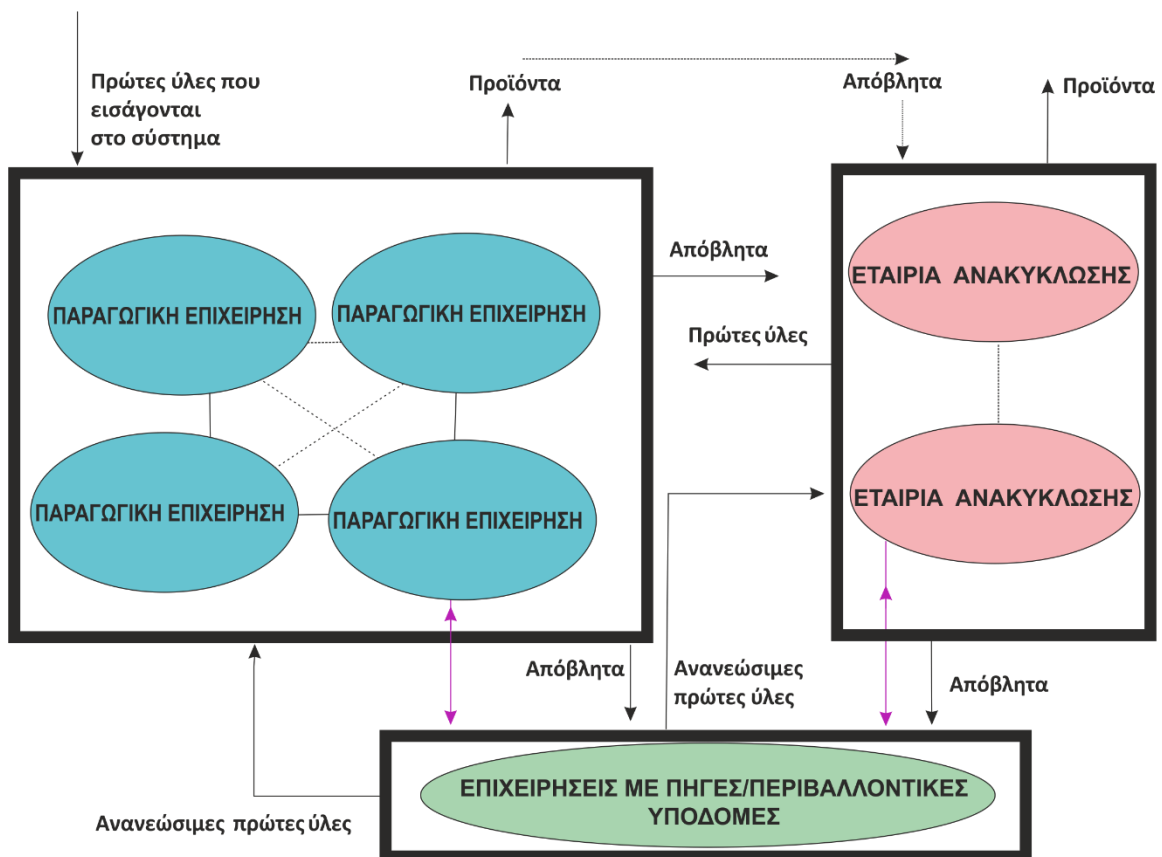
Ένα βιομηχανικό πάρκο μπορεί να παρομοιαστεί και ως ένα οικοσύστημα όπου τα υλικά καταναλώνονται, ανακυκλώνονται, ξαναχρησιμοποιούνται, πραγματοποιώντας αυτήν τη διαδικασία με το μέγιστο δυνατό αριθμό επαναλήψεων. Σύμφωνα με τη βασική θεωρία της Κυκλικής οικονομίας κάθε βιομηχανικό πάρκο περιέχει τα ακόλουθα συστατικά που το απαρτίζουν: τα φυσικά και τα ακατέργαστα υλικά, τους παραγωγούς, τους καταναλωτές, τα προϊόντα και τους ανθρώπους ή μηχανήματα που τα αποσυναρμολογούν. Ωστόσο, καθαρά καθορισμένη είναι μόνο η ροή των υλικών εντός του συστήματος. Ο ρόλος των επιχειρήσεων δεν είναι καθορισμένος με σαφήνεια καθώς κάποιες θεωρούνται σημαντικότερες από κάποιες άλλες. Η διαδικασία στην οποία πρέπει να δοθεί έμφαση είναι η διαδικασία αποδόμησης των τεμαχίων που έχουν υποστεί αστοχία καθώς είναι η πιο δύσκολη. Κάποια απόβλητα δεν είναι διαχωρίσιμα στα πλαίσια της βιομηχανικής συμβίωσης. Οι κύριες εταιρικές μορφές είναι: παραγωγική επιχείρηση, εταιρεία ανακύκλωσης και επιχειρήσεις με περιβαλλοντικές υποδομές. Οι τύποι εταιρικών μορφών για τη δημιουργία βιομηχανικών πάρκων ανακύκλωσης ποικίλουν. Η εταιρικές μορφές που συναντώνται κατά κανόνα στα βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης και κυκλικής οικονομίας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5:

Εταιρική μορφή	Κύρια λειτουργία	Χαρακτηριστικά
<i>Παραγωγική</i>	Παραγωγή	Εισαγωγή πρωτογενών υλικών και

επιχείρηση		παραγωγή προϊόντων.
Εταιρεία ανακύκλωσης	Κατανάλωση	Τα προϊόντα που εισάγονται στο σύστημα είναι τα απόβλητα που αποβάλλονται και μετά από επεξεργασία τους παράγονται είτε ανακυκλωμένα προϊόντα είτε πρώτες ύλες.
Επιχειρήσεις με περιβαλλοντικές υποδομές	Αποσύνθεση	Περιλαμβάνονται επιχειρήσεις που έχουν εγκαταστάσεις και υποδομές για διαχείριση παντός τύπου αποβλήτων και αποβαλλόμενης ενέργειας. Επεξεργάζονται τα μη ανακυκλώσιμα βιομηχανικά απόβλητα για να είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

Πίνακας 5.5: Τύποι εταιρικών μορφών στα βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης.

Έπειτα από την ανάλυση που προηγήθηκε και αφού έχουν εξεταστεί εκτενώς οι αρχές της Κυκλικής οικονομίας και Οικολογικής βιομηχανίας, το σύστημα για τη μετάβαση από ένα βιομηχανικό πάρκο σε ένα βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης, έτσι όπως εφαρμόστηκε από τις βιομηχανίες που βρίσκονται στην Κίνα, η ανάλυση ροής υλικού γίνεται όπως υποδεικνύει το σχήμα 5.9 [88].



Σχήμα 5.9: Ανάλυση ροής υλικού στην Κίνα.

Στη συνέχεια, στο σχήμα 5.10 παρουσιάζονται οι διαδρομές της ροής υλικού που χωρίζονται σε τρεις κύριες υποενότητες. Από το 1 μέχρι το 7 παρουσιάζονται οι διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει το υλικό κατά αύξουσα σειρά περιπλοκότητας. Ωστόσο, με την αύξηση της περιπλοκότητας ανεβαίνει και η απόδοση του συστήματος. Για ένα βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης υπάρχουν πολλοί τρόποι ανακύκλωσης των πρώτων υλών και ο στόχος είναι να βρεθούν αποδοτικοί τρόποι ανακύκλωσης για όλα τα υλικά

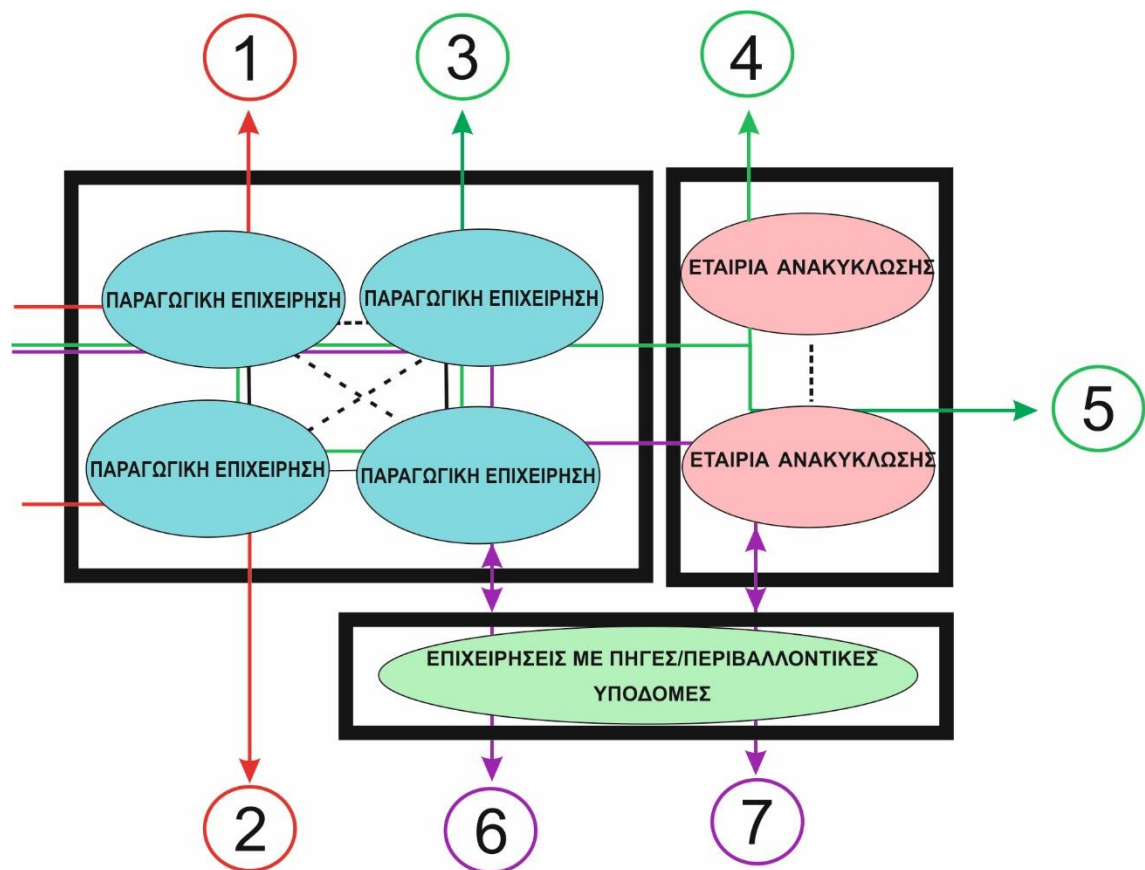
από την ανάλυση της ροής υλικού. Με βάση αυτήν έπεται η ανάπτυξη της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας, για να γίνει η μετάβαση στον κλειστό κύκλο παραγωγής. Στο παρακάτω σχήμα 5.10 παρουσιάζονται κάποιοι πιθανοί συνδυασμοί για τις διαδρομές και τη ροή υλικού, κατά τη μετάβαση σε βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης. Αναλυτικότερα, οι διαδρομές για τη ροή υλικού είναι οι ακόλουθες:

Για την ευθεία εφοδιαστική αλυσίδα, παρουσιάζονται οι εξής διαδρομές ροής υλικών, και τα χαρακτηριστικά της ροής υλικών:

1. Στις παραγωγικές επιχειρήσεις που πρώτες ύλες παράγονται άμεσα μετά την εισαγωγή τους στο σύστημα. Η ροή των υλικών σε αυτήν την περίπτωση είναι μονόδρομη πορεία και η ροή των υλικών είναι προς μια κατεύθυνση.
2. Γίνεται εξαγωγή των υλικών μετά την ανακύκλωσή τους, με σύστημα εσωτερικής ανακύκλωσης εντός της παραγωγικής επιχείρησης. Σε αυτήν την περίπτωση συνυπάρχουν δύο ροές υλικού μια κλειστή και μία ανοιχτή/μονόδρομος ροή υλικού.

Αναφορικά με τη ροή υλικού στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα:

3. Γίνεται εισαγωγή υλικού για πρώτη ανακύκλωση και στη συνέχεια μέρος από τα υλικά που έχουν ανακυκλωθεί πραγματοποιούν το δεύτερο κύκλο ζωής τους. Τα απόβλητα ανταλλάσσονται και ανακυκλώνονται μέσα στα εργοστάσια παραγωγής. Στο τελευταίο στάδιο αυτού του βήματος τα απόβλητα που έχουν απομείνει από όλη αυτήν τη διαδικασία αποβάλλονται έξω από το εργοστάσιο παραγωγής.
4. Γίνεται εισαγωγή υλικού στο εργοστάσιο παραγωγής/παραγωγικές επιχειρήσεις και μετά από την εξαγωγή του, το απόβλητο που εξάγεται, πάει στην επιχείρηση/εργοστάσιο ανακύκλωσης για δεύτερη ανακύκλωση. Υπάρχουν κύκλοι ροής υλικού μέσα από τα εργοστάσια/εταιρείες παραγωγής προϊόντων, υποσυστήματα ανακύκλωσης υλικών δηλαδή στα οποία η ροή υλικού είναι κλειστή αλλά σε κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές ενδέχεται να είναι και γραμμική η μέθοδος παραγωγής.
5. Γίνεται εισαγωγή υλικού για τον πρώτο κύκλο ανακύκλωσης στα υποσυστήματα παραγωγής προϊόντων και μετά εξέρχονται τα απόβλητα από αυτά. Τα απόβλητα εισέρχονται στα υποσυστήματα ανακύκλωσης για δεύτερη επεξεργασία, με στόχο να εξαλειφθεί η δημιουργία αποβλήτων. Υπάρχει ροή υλικού και ενδιάμεσα του υποσυστήματος παραγωγής προϊόντων και επίσης μεταξύ της εταιρίας παραγωγής προϊόντων και του υποσυστήματος της ανακύκλωσης προϊόντων, το οποίο είναι κυρίως κλειστό σύστημα παράγωγης υλικών αλλά κάποιες φορές και ανοιχτό.



Σχήμα 5.10: Πιθανοί συνδυασμοί για τις διαδρομές της ροής υλικού, κατά τη μετάβαση σε βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης.

Σχετικά με τη ροή υλικού στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα σε ένα αναβαθμισμένο σύστημα:

6. Πραγματοποιείται εισαγωγή υλικού για πρώτη εσωτερική ανακύκλωση στο υποσύστημα της μονάδας παραγωγής προϊόντων και μετά αποβολή των αποβλήτων στις επιχειρήσεις με περιβαλλοντικές εγκαταστάσεις διαχείρισης υλικού. Με αυτόν τον τρόπο είναι πιο κοντά στο να κλείσει ο κύκλος παραγωγής επιτρέποντας τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία και σε καθαρότερο περιβάλλον.
7. Το τελευταίο βήμα στη μετάβαση από ένα βιομηχανικό πάρκο σε ένα πάρκο ανακύκλωσης, είναι να εισάγεται το υλικό που αποβάλλεται από τη μονάδα ανακύκλωσης στο εργοστάσιο που έχει τις υποδομές για διάσπαση των αποβλήτων. Μετά την επεξεργασία του το υλικό που είναι ακίνδυνο και καθαρό πλέον αποβάλλεται στο περιβάλλον ή επιστρέφει ξανά στο σημείο που άρχισε η επεξεργασία, εκτελώντας έναν κύκλο δηλαδή στην επιχείρηση παραγωγής προϊόντος. Μετατρέπεται έτσι η ροή του υλικού σε κυκλική διαδικασία. Η ροή υλικού για την πιο οικολογική διαχείρισή του υπάρχει ενδιάμεσα και μέσα στις μονάδες παραγωγής υλικού, στις μονάδες ανακύκλωσης υλικού και στις μονάδες με υποδομές διάσπασης αποβλήτων.

Εν κατακλείδι η Κίνα πέτυχε με σχετικά καλή απόδοση τη μετάβαση σε μια Κυκλική οικονομία με τη μετατροπή των βιομηχανικών πάρκων σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης, δίνοντας κατά την ανάπτυξη αυτού του σχεδίου μεγάλη έμφαση στην αποδοτικότητα του συστήματος και στη μείωση του καταναλισκόμενου υλικού. Τα οικολογικά βιομηχανικά πάρκα μείωσαν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, την μόλυνση του περιβάλλοντος από τη βιομηχανία, και παράλληλα βελτιώθηκε η ενεργειακή διαχείριση προωθώντας τη συγκέντρωση των εταιρειών σε ένα βιομηχανικό πάρκο με

κατάλληλες υποδομές. Όλες οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν για να αναπτυχθεί η Κυκλική οικονομία και τα οικολογικά βιομηχανικά εργοστάσια βασίστηκαν στην παρατήρηση ότι οικολογική απόδοση είχαν οι χώρες και οι περιοχές οι οποίες είχαν σαφείς περιβαλλοντολογικούς κανονισμούς. Μεγαλύτερη μείωση διοξειδίου του άνθρακα είχαν οι περιοχές που είχαν συγκεκριμένη νομοθεσία, οικονομική στήριξη και καθοδήγηση από εκείνες τις οποίες είχαν ισχυρά οικονομικά οφέλη και οικονομική πίεση. Ακόμα αυτή η στροφή προς την επιλογή οικολογικότερων μεθόδων παραγωγής γίνεται εντονότερη διότι έρευνες έδειξαν ότι υπάρχει θετική επιρροή στην οικονομική ανάπτυξη αλλά ωστόσο την ίδια στιγμή κάποιοι υποστήριζαν ότι η οικολογική βιομηχανική στρατηγική είναι θέμα καθαρά επιχειρησιακής πολιτικής και μάρκετινγκ [88]. Ωστόσο ο αριθμός των βιομηχανικών οικολογικών πάρκων στην Κίνα εξακολουθεί να είναι ακόμα πολύ μικρός και για αυτόν το λόγο χρειάζεται να προωθείται και η πράσινη βιομηχανία.

Στα επόμενα χρόνια αναμένεται να γίνουν ακόμα πιο αποδοτικά πλάνα καθώς η κατασκευή οικολογικών βιομηχανικών πάρκων προσφέρει μεγάλες δυνατότητες.

6 Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο έχει υιοθετήσει ένα πρωτοποριακό σχέδιο για τη βιώσιμη ανάπτυξη στις βιομηχανίες της Ευρώπης και ένα από τα κύρια σημεία στα οποία δίνεται βαρύτητα είναι η Κυκλική οικονομία. Το νέο σχέδιο δράσης πραγματεύεται καινοτομίες σε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων, στοχεύοντας στο σχεδιασμό για την ανάπτυξη του προϊόντος με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας. Πιο συγκεκριμένα, προωθεί τη βιώσιμη κατανάλωση και σαν κύριο μέλημα έχει να διασφαλίσει ότι οι πόροι που χρησιμοποιούνται διατηρούνται στην οικονομία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για όσο το δυνατόν περισσότερο. Το νέο σχέδιο δράσης εισάγει νομοθετικά και μη νομοθετικά μέτρα που στοχεύουν σε τομείς όπου η δράση σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης αποφέρει πραγματική προστιθέμενη αξία [90].

Το νέο σχέδιο δράσης για την Κυκλική οικονομία στην Ευρωπαϊκή Ένωση εστιάζει σε κατευθύνσεις όπως:

- Βιωσιμότητα προϊόντων.
- Ενδυνάμωση καταναλωτών και αγοραστών.
- Εστίαση στους τομείς που χρησιμοποιούν τους περισσότερους πόρους και όπου οι δυνατότητες κυκλικότητας είναι υψηλές όπως:
 - ✓ ηλεκτρονικά, τεχνολογίες πληροφοριών και τεχνολογίες παραγωγής,
 - ✓ μπαταρίες,
 - ✓ οχήματα,
 - ✓ συσκευασία και πλαστικά είδη,
 - ✓ υφάσματα,
 - ✓ κατασκευαστικές βιομηχανίες,
 - ✓ τροφή,
 - ✓ νερό,
 - ✓ θρεπτικά συστατικά.
- Εξασφάλιση λιγότερων απόβλητων.
- Λειτουργία κυκλικότητας για κατοίκους σε απομακρυσμένες περιοχές και πόλεις.
- Ηγεσία και πρότυπο για υιοθέτηση Κυκλικής οικονομίας παγκοσμίως.

Δεδομένου ότι το 50% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και περισσότερο από το 90% της απώλειας βιοποικιλότητας και εξάντλησης των υδάτινων πόρων οφείλονται στην εξόρυξη και επεξεργασία των πόρων, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία δρομολόγησε μια συντονισμένη στρατηγική για μια κλιματικά ουδέτερη, αποδοτική από πλευράς πόρων και ανταγωνιστική οικονομία. Η αναβάθμιση της Κυκλικής οικονομίας στους βασικούς οικονομικούς συντελεστές θα συμβάλει αποφασιστικά στην επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 και θα αποσυνδεθεί η οικονομική μεγέθυνση από τη χρήση των πόρων, ενώ παράλληλα θα διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης χωρίς να αφήνει κανέναν πίσω. Για να εκπληρωθεί αυτή η φιλοδοξία, πρέπει η Ευρωπαϊκή Ένωση να επισπεύσει τη μετάβαση σε ένα μοντέλο ανατροφοδότησης το οποίο θα επιστρέφει στον πλανήτη περισσότερα από όσα του αφαιρεί. Χρειάζεται να προχωρήσει προς την κατεύθυνση της διατήρησης της κατανάλωσης πόρων σε χαμηλά επίπεδα και ως εκ τούτου, να καταβάλει προσπάθειες για να μειώσει το αποτύπωμα της κατανάλωσης και να διπλασιάσει το ποσοστό χρήσης κυκλικών υλικών κατά την επόμενη δεκαετία [92].

Οι κατευθυντήριες γραμμές που έχουν δοθεί για τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία περιλαμβάνουν όπως εξυπακούεται και σχετικές οδηγίες για τη διαχείριση των αποβλήτων. Αυτές οι οδηγίες περιλαμβάνουν: τις κατευθυντήριες γραμμές, τόσο για την

εισαγωγή μίας επιχείρησης στην Κυκλική οικονομία και την εξέλιξή της μέσα σε αυτήν, όσο και τις εναλλακτικές σε περίπτωση που αποτύχουν αυτές οι οδηγίες. Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία και συγκεκριμένα τη διαχείριση των αποβλήτων παρουσιάζονται στο σχήμα 6.1:

Διαχείριση των αποβλήτων

- (1) Ενημέρωση των επιχειρήσεων για το σχέδιο δράσεων και επικοινωνία για διευκρινίσεις.
- (2) Καθορισμός νέων εγκαταστάσεων και μέτρων με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα υλοποίησης για κάλυψη ολόκληρου του κύκλου ζωής των προϊόντων: Από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση αποβλήτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών.
- (3) Έλεγχος για την ομαλή λειτουργία αυτών των μέτρων και την ορθή υλοποίησή τους.
- (4) Σε περίπτωση που δεν υλοποιούνται όπως προβλέπετε ή δεν λειτουργούν αναθεωρούνται οι νομοθετικές προτάσεις για τα απόβλητα.
- (5) Οδηγία και νομοθετικό πλαίσιο για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και τα απορρίμματα συσκευασίας.

Σχήμα 6.1: Κατευθυντήριες γραμμές που έχουν δοθεί για τη μετάβαση σε Κυκλική οικονομία.

6.1 Ορθή οικονομική διαχείριση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στηρίζει και οικονομικά το όραμα της Κυκλικής οικονομίας με μέτρα όπως:

- Παροχή χρηματοδότησης και συνεχούς ενθάρρυνσης της ευρύτερης εφαρμογής ορθά σχεδιασμένων οικονομικών σχεδίων, όπως η περιβαλλοντική φορολογία, οι φόροι υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης.
- Παροχή δυνατότητας στα κράτη μέλη να χρησιμοποιούν συντελεστές φόρου προστιθέμενης αξίας για την προώθηση δραστηριοτήτων Κυκλικής οικονομίας που απευθύνονται στους τελικούς καταναλωτές (π.χ. επισκευές).
- Υποστήριξη επιχειρηματικής πρωτοβουλίας για την ανάπτυξη αρχών περιβαλλοντικής λογιστικής που συμπληρώνουν τα χρηματοοικονομικά δεδομένα με δεδομένα επιδόσεων της Κυκλικής οικονομίας.
- Ενσωμάτωση του στόχου της Κυκλικής οικονομίας στο πλαίσιο του κανονισμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ταξινόμηση.
- Ενθάρρυνση της ενσωμάτωσης των κριτηρίων βιωσιμότητας στις επιχειρηματικές στρατηγικές, μέσω της βελτίωσης του πλαισίου εταιρικής διακυβέρνησης.
- Διεξαγωγή προπαρασκευαστικών εργασιών σχετικά με τα κριτήρια του οικολογικού σήματος και την καθοδήγηση όσον αφορά τα κίνητρα [91].

6.2 Κυκλική οικονομία στη βιομηχανία

Η κυκλικότητα του συστήματος αποτελεί ουσιαστικό μέρος ενός ευρύτερου μετασχηματισμού της βιομηχανίας προς την κλιματική ουδετερότητα και τη μακροπρόθεσμη ανταγωνιστικότητα. Μπορεί να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση υλικών σε όλες τις αλυσίδες και στις μεθόδους παραγωγής, να παράγει πρόσθετη αξία και να αποκαλύπτει οικονομικές ευκαιρίες. Η Ευρωπαϊκή επιτροπή σε συμφωνία με τους στόχους που καθορίζονται στη βιομηχανική στρατηγική για νέα επιχειρηματικά μοντέλα, προσπαθεί να αυξήσει την κυκλικότητα στη βιομηχανία με τους ακόλουθους τρόπους:

- Αξιολόγηση επιλογών για την περαιτέρω προώθηση της κυκλικότητας στις μεθόδους βιομηχανικής παραγωγής στο πλαίσιο της επανεξέτασης της οδηγίας περί βιομηχανικών εκπομπών, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης πρακτικών Κυκλικής οικονομίας στα προσεχή έγγραφα αναφοράς για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές.
- Διευκόλυνση της βιομηχανικής συμβίωσης μέσω της ανάπτυξης κατευθυνόμενου από τη βιομηχανία συστήματος υποβολής εκθέσεων και πιστοποίησης και με τη λήψη μέτρων για να είναι δυνατή η υλοποίηση της βιομηχανικής συμβίωσης.
- Με τη στήριξη του βιώσιμου και κυκλικού τομέα βίο-προϊόντων μέσω της εφαρμογής του σχεδίου δράσης για τη βίο-οικονομία.
- Προώθηση της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών για να γίνεται εντοπισμός και χαρτογράφηση των πόρων.
- Προώθηση της αξιοποίησης των οικολογικών τεχνολογιών και παροχή σχετικών πιστοποιήσεων.
- Η νέα στρατηγική για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις ενισχύει την κυκλική βιομηχανική συνεργασία, αξιοποιώντας την κατάρτιση, την παροχή συμβουλών στο πλαίσιο του «Enterprise Europe Network» και τη μεταφορά γνώσεων μέσω του Ευρωπαϊκού Κέντρου Αποδοτικής Χρήσης των Πόρων.

6.3 Υγρά Απόβλητα

Πέρα από τα απόβλητα από τις πρώτες ύλες των εργοστασίων, η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλει να βελτιώσει την πολιτική της σχετικά και με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων προκειμένου να υποστηριχθεί η κυκλικότητα.

Η υψηλής ποιότητας ανακύκλωση βασίζεται στη διαλογή αποβλήτων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση συντάσσει τυποποιημένες οδηγίες για τη διαχείριση, τη διαλογή, και την ανάπτυξη συστημάτων συλλογής βιομηχανικών αποβλήτων. Οι επιχειρήσεις με στόχο την εφαρμογή του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας και τη μείωση του περιβαλλοντολογικού αντικτύπου μπορούν να δέχονται συμβουλές και οδηγίες και να προσαρμόζονται στις δικιές του ανάγκες. Προβλέπεται η ανάλυση της πυκνότητας και προσβασιμότητας των σημείων συλλογής, συμπεριλαμβανομένων των δημόσιων χώρων, λαμβάνοντας υπόψη τις περιφερειακές και τοπικές συνθήκες, από το αστικό περιβάλλον έως τις απομακρυσμένες από το κέντρο περιοχές. Η Επιτροπή θα διοργανώνει συνέδρια με θέμα την Κυκλική οικονομία, και θα ενισχύει τη συνεργασία των μελών με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των κονδυλίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Θα μπορεί να παρεμβαίνει όπου απαιτείται για τη βελτίωση ή τη διόρθωση του συστήματος διαχείρισης των αποβλήτων για να ενισχύσει την παρουσίαση των πιο αδύναμων προσπάθειών εφαρμογής των οδηγιών της προκειμένου συλλογικά να προστατευθεί το περιβάλλον.

6.4 Απαλλαγή από τοξικές ουσίες

Με στόχο τη διατήρηση των μετάλλων στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο και αν είναι δυνατόν για επ' άπειρο μέσω της ανακύκλωσης που εφαρμόζεται με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας, απαιτείται να απαλλαγεί η μεταλλοβιομηχανία από τις τοξικές ουσίες. Αποθαρρύνεται δηλαδή η χρήση επικίνδυνων χημικών προϊόντων που χρησιμοποιούνταν ευρέως στο παρελθόν. Αντίθετα, ενθαρρύνεται η μετάβαση σε ασφαλή χημικά προϊόντα, ήδη από το σχεδιασμό μέσω της προοδευτικής υποκατάστασης των επικίνδυνων ουσιών, με σκοπό την καλύτερη προστασία των πολιτών και του περιβάλλοντος. Ωστόσο, παραμένει ακόμα ο κίνδυνος υπονόμευσης της ασφάλειας των δευτερογενών πρώτων υλών, για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που απαγορευμένες ουσίες εξακολουθούν να διατηρούνται στις ανακυκλωμένες πρώτες ύλες. Για να αυξηθεί η εμπιστοσύνη στη χρήση δευτερογενών πρώτων υλών είναι απαραίτητες οι παρακάτω ενέργειες:

- Η Ευρωπαϊκή Ένωση να στηρίζει την ανάπτυξη λύσεων διαλογής υψηλής ποιότητας και αφαίρεσης τοξικών ουσιών από τα απόβλητα.
- Ανάπτυξη μεθοδολογιών για την ελαχιστοποίηση της παρουσίας βλαβερών, για την υγεία ή το περιβάλλον, ουσιών σε ανακυκλωμένα υλικά και αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από ανακυκλωμένα υλικά.
- Συνεργασία με τη βιομηχανία για τη σταδιακή ανάπτυξη εναρμονισμένων συστημάτων εντοπισμού και διαχείρισης πληροφοριών σχετικά με επικίνδυνες ουσίες, ιδίως αυτές με χρόνιες επιδράσεις και ουσίες που προκαλούν τεχνικά προβλήματα στην κατάταξη των προϊόντων σύμφωνα με τους κανονισμούς για την ταξινόμηση στη μεταλλουργία, την επισήμανση και τη συσκευασία των ουσιών και των μειγμάτων.
- Εφαρμογή τροποποίησης των εργασιών ανάκτησης κατά μήκος των αλυσίδων εφοδιασμού στις βιομηχανίες για τον εντοπισμό των επικίνδυνων ουσιών στα απόβλητα.
- Εφαρμογή μέτρων στο πλαίσιο της πολιτικής για βιώσιμα προϊόντα και για αντικείμενα που περιέχουν ουσίες που προκαλούν πολύ μεγάλη ανησυχία για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.
- Πρόταση για την τροποποίηση των παραρτημάτων του κανονισμού για τους οργανικούς ρύπους που δεν απομακρύνονται εύκολα (persistent organic pollutants), σύμφωνα με τις επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις.
- Βελτίωση της ταξινόμησης και διαχείρισης των επικίνδυνων ουσιών προκειμένου να διατηρηθούν καθαρές οι ροές ανακύκλωσης. Η επικείμενη στρατηγική βιωσιμότητας για τις χημικές ουσίες εξετάζει περαιτέρω τις νομοθετικές ρυθμίσεις που απαιτούνται για τη διαχείριση των χημικών ουσιών.

6.5 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Για να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα, πρέπει να γίνει σύζευξη των ενεργειών που απαιτούνται για την κυκλικότητα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:

- ✓ Ανάλυση του τρόπου με τον οποίο μπορεί να μετρηθεί με συστηματικό τρόπο ο αντίκτυπος της κυκλικότητας στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και της προσαρμογής σ' αυτήν.
- ✓ Βελτίωση των εργαλείων ώστε να αξιοποιηθούν τα οφέλη της Κυκλικής οικονομίας όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- ✓ Προώθηση της ενίσχυσης του ρόλου της κυκλικότητας σε μελλοντικές αναθεωρήσεις των εθνικών σχεδίων για την ενέργεια και το κλίμα.

Η επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας απαιτεί όχι μόνο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά και την απομάκρυνση του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Αυτό επιτυγχάνεται αφενός με τη χρήση φίλτρων για τα καυσαέρια και αφετέρου μέσω της αποκατάστασης των οικοσυστημάτων, της προστασίας των δασών, της αναδάσωσης και της γεωργίας ή για παράδειγμα με την αύξηση της κυκλικότητας μέσω της επαναχρησιμοποίησης και της αποθήκευσης άνθρακα σε προϊόντα, όπως η ενανθράκωση.

6.6 Δημιουργία μιας εύρυθμης ενωσιακής αγοράς για δευτερογενείς πρώτες ύλες

Οι δευτερογενείς πρώτες ύλες αντιμετωπίζουν ορισμένες προκλήσεις σε σχέση με τις πρωτογενείς πρώτες ύλες, για λόγους που συνδέονται όχι μόνο με την ασφάλεια κατά τη χρήση τους αλλά και με τις επιδόσεις των μετάλλων σε μηχανικές καταπονήσεις, στη διάθεση και το κόστος τους. Τα μέταλλα ωστόσο διατηρούν άριστα τις μηχανικές τους

ιδιότητες μετά την επεξεργασία και την ανακύκλωσή τους, οπότε, όσον αφορά τα μέταλλα σαν πρώτη ύλη είναι ιδανικά στην εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας. Ορισμένες ενέργειες οφείλουν να πραγματοποιηθούν, διότι εισάγονται υψηλές απαιτήσεις για το ανακυκλωμένο περιεχόμενο των προϊόντων, όπως είναι τα διάφορα κράματα και οι προσμίξεις μετάλλων, έτσι ώστε να συμβάλουν στην πρόληψη της αναντιστοιχίας προσφοράς και ζήτησης για δευτερογενείς πρώτες ύλες. Επιπρόσθετα, για τη δημιουργία εύρυθμης εσωτερικής αγοράς για δευτερογενείς πρώτες ύλες, προβλέπονται για τα απόβλητα τα εξής:

- Αξιολόγηση της προοπτικής ανακύκλωσης και ανάπτυξης κριτηρίων για τον αποχαρακτηρισμό των αποβλήτων και των υποπροϊόντων. Για αυτόν το λόγο πρέπει να ακολουθηθεί ένα κοινό σύστημα διαλογής των μετάλλων και των κραμάτων τους και για μην υπάρχουν ανεπιθύμητες προσμίξεις, οι οποίες θα γίνουν με τη στήριξη διασυνοριακών πρωτοβουλιών συνεργασίας για την εναρμόνιση των κριτηρίων για τον αποχαρακτηρισμό των αποβλήτων και των υποπροϊόντων.
- Ενίσχυση του ρόλου της τυποποίησης για την αξιολόγηση των μετάλλων και των υφιστάμενων εργασιών σε Εθνικό, Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο.
- Έγκαιρη επιβολή των περιορισμών στη χρήση ουσιών που προκαλούν πολύ μεγάλη ανησυχία.
- Αξιολόγηση της σκοπιμότητας δημιουργίας παρατηρητηρίου αγοράς για βασικές δευτερογενείς ύλες και κατασκευή αποθηκών για τη χρήση τους σαν «ορυχεία».
- Τα μηχανουργικά προϊόντα που ανήκουν στην κατηγορία προϊόντων με πολλά συστατικά να αποσυναρμολογούνται, αν αποτελούνται από περισσότερα του ενός εξαρτήματα, να διαχωρίζονται και να ταξινομούνται.
- Τα «προϊόντα που αποτελούνται από ένα συστατικό», εκείνα δηλαδή που δεν αποτελούνται από πολλά διαφορετικά υλικά, να καθαρίζονται πολύ σχολαστικά (π.χ. σκουριά) πριν ανακυκλωθούν, για να είναι ποιοτικά αντίστοιχο το υλικό που πρόκειται να έχει ένα δεύτερο κύκλο ζωής με ένα που έχει μόλις εξορυχθεί και πρόκειται να υποστεί επεξεργασία για πρώτη φορά.
- Ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας, έτσι ώστε να εντοπίζονται θραύσματα από άλλες ουσίες ή άλλα μέταλλα και να γίνεται η κατάλληλη διαχείρισή τους.

Όλες οι παραπάνω είναι πολύ σημαντικές προκλήσεις, οι οποίες αν έρθουν εις πέρας η Ευρώπη θα είναι αυτάρκης όσον αφορά τον τομέα της μεταλλουργίας ανακυκλώνοντας τα προϊόντα και τα απόβλητα των μετάλλων που έχουν ήδη ελεγχθεί.

6.7 Αντιμετώπιση των εξαγωγών αποβλήτων από την Ευρωπαϊκή Ένωση

Η παγκόσμια αγορά αποβλήτων υφίσταται σημαντικές αλλαγές. Κατά την τελευταία δεκαετία, εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων από την Ευρώπη έχουν εξαχθεί σε τρίτες χώρες, συχνά χωρίς να λαμβάνεται επαρκώς υπόψη η ορθή επεξεργασία των αποβλήτων από αυτές. Σε πολλές περιπτώσεις, οι εξαγωγές αποβλήτων προκαλούν αφενός αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία στις χώρες προορισμού και αφετέρου απώλεια πόρων και οικονομικών ευκαιριών για τη βιομηχανία ανακύκλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Οι πρόσφατοι περιορισμοί που επέβαλαν ορισμένες τρίτες χώρες στις εισαγωγές έχουν καταστήσει εμφανή την υπερβολική εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από την επεξεργασία αποβλήτων στην αλλοδαπή, αλλά έχουν επίσης κινητοποιήσει τη βιομηχανία ανακύκλωσης προκειμένου να αυξήσει την ικανότητά της και να προσθέσει αξία στα απόβλητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με βάση αυτές τις εξελίξεις και λαμβανομένου υπόψη ότι η παράνομη μεταφορά αποβλήτων εξακολουθεί να αποτελεί πηγή ανησυχίας, η

Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενεργεί με στόχο να διασφαλίσει ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν εξαγει προβληματικά απόβλητα σε τρίτες χώρες. Ενέργειες που αφορούν το σχεδιασμό των προϊόντων, την ποιότητα, την ασφάλεια των δευτερογενών υλικών και την ενίσχυση των συναφών αγορών συμβάλουν στο να γίνει το σήμα «ανακυκλωμένο στην Ευρωπαϊκή Ένωση» σημείο αναφοράς για ποιοτικά δευτερογενή υλικά.

6.8 Εκτέλεση

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεσμεύτηκε να διασφαλίσει την ταχεία εφαρμογή και των δράσεων και μια επισκόπηση του χρονοδιαγράμματος υλοποίησης των ενεργειών της. Στις 10 Νοεμβρίου του 2020, η Επιτροπή ενέκρινε το ορόσημο του πρώτου σχεδίου δράσης το οποίο είναι η έναρξη συζητήσεων για πρόταση που αφορά τον κανονισμό για τον εκσυγχρονισμό της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθώντας το παράδειγμα στην Κίνα. Ο στόχος είναι τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης να είναι βιώσιμα, κυκλικά, υψηλής απόδοσης και ασφαλή καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, ώστε να συλλέγονται, να επανατοποθετούνται και να ανακυκλώνονται καθιστώντας τα μια πραγματική πηγή πολύτιμων πρώτων υλών.



Σχήμα 6.2: Ευρώπη και Κυκλική οικονομία.

6.8.1 Μελλοντικά προηγμένη παραγωγή σε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων

Μελλοντικά, αφού επιτευχθούν οι στόχοι της Κυκλικής οικονομίας ο στόχος είναι να γίνει ακόμα πιο πράσινος ο τομέας της παραγωγικής διαδικασίας, αναμένοντας να υλοποιηθούν κάποιες ενέργειες. Πιο συγκεκριμένα, οι ενέργειες θα αφορούν όλη την ανάπτυξη του προϊόντος: από την εξόρυξη της πρώτης ύλης μέχρι τη διαχείριση του τεμαχίου αφού έχει ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του και κατά συνέπεια τη διαχείριση όλης της αλυσίδας παραγωγής του προϊόντος. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται “CIRC 4 Life” υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και είχε αφετηρία το 2020.

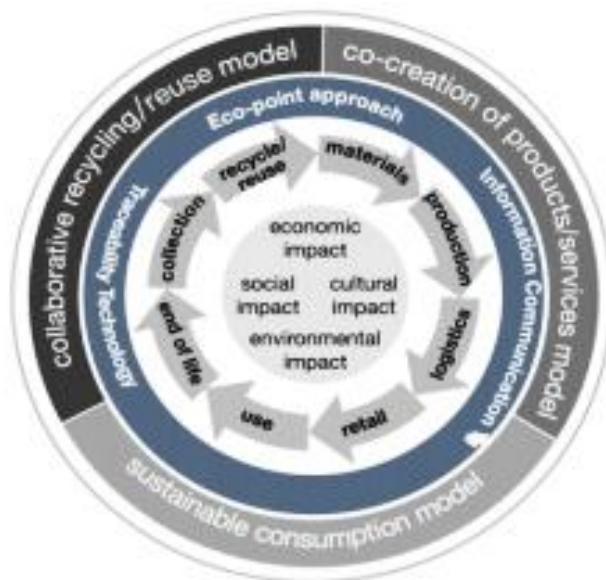
Η ιδέα στηρίζεται στην ενοποίηση όλων των μοντέλων για μια ορθολογικότερη παραγωγή και αποτελείται από τρία επιχειρησιακά μοντέλα, όπως παρουσιάζονται στο [σχήμα 6.3](#):

Επιχειρησιακά μοντέλα, για την βιώσιμη παραγωγή προϊόντων σε όλο τον κύκλο ζωής τους

- Συν-δημιουργία προϊόντων / υπηρεσιών
- Βιώσιμη κατανάλωση
- Συνεργασία ανακύκλωση / επαναχρησιμοποίηση

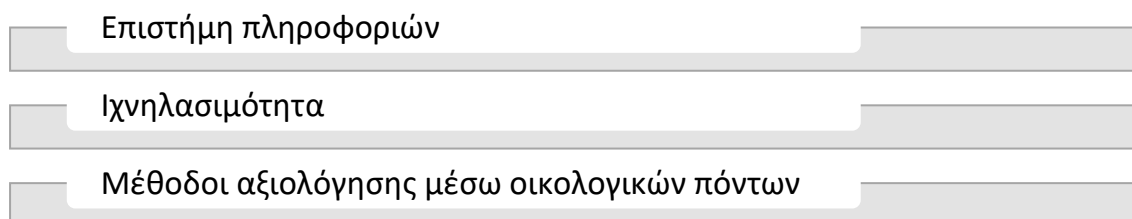
Σχήμα 6.3: Επιχειρησιακά μοντέλα για τη βιώσιμη παραγωγή προϊόντων σε όλο τον κύκλο ζωής τους.

Έτσι λοιπόν, η προηγμένη παραγωγή σε όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων ή αλλιώς βιώσιμη ανάπτυξη προϊόντων, οικολογική σχεδίαση και παραγωγή εκσυγχρονίζει όλο τον κύκλο ζωής με οικονομικότερες μεθόδους παραγωγής αντικαθιστώντας τις συμβατικές γραμμικές μεθόδους παραγωγής. Στο σχήμα 6.4 είναι εμφανής η αντικατάσταση των συμβατικών μεθόδων παραγωγής με την προσέγγιση του μελλοντικού μοντέλου «CIRC 4 Life» που καλύπτουν όλα τα υλικά παραγωγής, που επιτυγχάνεται μέσω της ελαχιστοποίησης των εκπομπών βλαβερών καυσαερίων, την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και την ανακύκλωση των προϊόντων, δηλαδή των μετάλλων στη συγκεκριμένη περίπτωση.



Σχήμα 6.4: Κυκλικότητα συστήματος.

Για να υποστηριχθούν αυτοί οι νέοι κύκλοι της Κυκλικής οικονομίας πρέπει να αναπτυχθούν και να βρουν πρακτική εφαρμογή η τεχνολογία πληροφοριών (information technology), η ιχνηλασιμότητα (traceability technique) και η αξιολόγηση με τη μέθοδο των οικολογικών σημείων (eco-point method) όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.



Σχήμα 6.5: Επιστήμες που πρέπει να αναπτυχθούν για να υιοθετηθεί στο μέγιστο βαθμό η Κυκλική οικονομία.

Η τεχνολογία πληροφοριών (information technology) θα μπορεί να επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα, να ρυθμίζει τις παραμέτρους και να αναπτύσσει μια πλατφόρμα με άλλα σχετικά ψηφιακά εργαλεία με στόχο να συνεργάζονται και οι τρεις κύκλοι.

Η ιχνηλασιμότητα (traceability technique) θα συνεισφέρει σε αυτό το όραμα με το να αποθηκεύει όλα τα δεδομένα από τον κύκλο ζωής των προϊόντων χρησιμοποιώντας σχετικά εργαλεία, για παράδειγμα το “barcode”.

Η υιοθέτηση και αξιολόγηση με τη μέθοδο των οικολογικών σημείων (eco-point method) είναι η προσπάθεια για ένα μέτρο σύγκρισης με την ανάπτυξη δεικτών και τη μέτρηση του οικολογικού αντίκτυπου συνολικά σε όλη την αλυσίδα.

Η συν-δημιουργία προϊόντων / υπηρεσιών (co-point method/services) δίνει προτεραιότητα στους χρήστες παλαιότερων σχολών στο να φέρουν πιο κοντά τους τελικούς αποδέκτες με τους κατασκευαστές για την αναθεώρηση, εάν χρειάζεται, του τρόπου κατασκευής και σχεδιασμού της βιομηχανίας, της εταιρείας ή του μηχανουργείου. Αυτό θα μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια του μεγάλου όγκου δεδομένων που καθημερινά συλλέγονται μέσω του διαδικτύου, τα οποία θα είναι χρήσιμα για την ανάπτυξη νέων επιχειρησιακών και βιομηχανικών μοντέλων σε διάφορες βιομηχανίες που συνεργάζονται τα μηχανουργεία (πχ. βιομηχανία τροφίμων, φαρμακοβιομηχανία, ναυτιλία κ.λπ.). Έτσι θα αναδιαμορφωθεί μια σύγχρονη και οικολογική βιομηχανία για την ανάπτυξη των προϊόντων εντός των προδιαγραφών που επιθυμούν οι πελάτες χωρίς να γίνεται σπατάλη ενέργειας, μετάλλων και άλλων πρώτων υλών.

Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός των τεμαχίων πρέπει να προσαρμόζεται στις οδηγίες συντήρησης, καθαρισμού και αποσυναρμολόγησης. Η ζήτηση οφείλει να ικανοποιείται και να αξιολογείται από τους καταναλωτές όπως και η ποιότητα, η τιμή, η πρακτικότητα, η καινοτομία και οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που έχει υποστεί ο πλανήτης γη προκειμένου να κατασκευαστεί το προϊόν. Προτεραιότητα πρέπει να δίνεται σε αυτήν την ενέργεια, για να αξιολογηθούν από νωρίς οι απαιτήσεις των καταναλωτών που αφορούν ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα.

6.8.2 Βιώσιμη κατανάλωση

Όσον αφορά τη βιώσιμη κατανάλωση, η κεντρική ιδέα για τη μέτρηση του οικολογικού αντίκτυπου της κυκλικότητας είναι να καθιερωθούν οι οικολογικοί πόνοι (eco-points).

Οι eco-points, με βάση τη νομοθεσία είναι υποχρεωτικοί και θα πρέπει να αναγράφονται στο προϊόν μαζί με την τιμή και τη σύσταση του εκάστοτε μετάλλου. Αυτή η ενέργεια ευνοεί να κατανοήσουν οι χρήστες το πόσο οικολογικά είναι τα προϊόντα και εάν έχουν παραχθεί με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε δεύτερο χρόνο, δημιουργούνται τα eco-barcodes τα οποία όπως και τα συμβατικά barcodes θα αναγράφουν το ποσό οικολογικότητας αυτού του προϊόντος. Έτσι, θα συλλέγονται από τον τελικό χρήστη αυτόματα τα eco-points σε τράπεζες eco-points, οι οποίες μπορούν επίσης να συλλέγουν eco-points από τις δραστηριότητες ανακύκλωσης παρακινώντας τους χρήστες να δρουν καθημερινά σεβόμενοι το περιβάλλον και να δοθεί κάποιο χειροπιαστό κίνητρο να μειωθεί το αποτύπωμα στο περιβάλλον. Για να υποστηριχθούν τα eco-points θα υπάρχουν επιβραβεύσεις όπως φοροελάφρυνση και μετάδοση γνώσεων με π.χ. σεμινάρια.

6.8.3 Συνεργασία ανακύκλωσης / επαναχρησιμοποίησης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα eco-points μπορούν να ανταμείβουν τις επιχειρήσεις που ανακυκλώνουν τα μεταλλικά απόβλητά τους. Πιθανώς θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια πανευρωπαϊκή βάση δεδομένων για να παρακολουθούνται τα eco-points, κάτι που αναμφισβήτητα θα συμβάλει στην παρακίνηση της προώθησης της ανακύκλωσης. Με αυτό τον τρόπο αφού έχει αναπτυχθεί σύστημα για τη μέτρηση της κυκλικότητας ενός συστήματος, με τα eco-points θα μπορούν να συλλέγονται δεδομένα για το ποσό της κυκλικότητας ενός μηχανουργείου. Η ενέργεια αυτή θα διευκολύνει τη σύγκριση ενός συστήματος με κάποιο άλλο όσον αφορά την κυκλικότητα. Έτσι, όσο αυτό το νέο επιχειρησιακό μοντέλο αναπτύσσεται, θα εντοπίζεται πολύ εύκολα το πιο

αποδοτικό σύστημα και στη συνέχεια η γνώση αυτή θα μπορεί να μοιράζεται σε άλλες βιομηχανίες και στον ακαδημαϊκό τομέα.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω, όταν σταθεροποιηθεί το νέο επιχειρησιακό μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας με τη συλλογή πολλών οικολογικών πόντων θα υπάρχει επιβράβευση. Η επιβράβευση αυτή θα καθορίζεται από τη νομοθεσία και θα μπορεί να έχει φορολογικό αντίκτυπο.

7 Προκλήσεις

Υπάρχουν διάφορες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η συλλογή τεμαχίων στο τέλος του κύκλου ζωής τους ή των υπολειμμάτων μιας και αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για να επιτρέπεται η ανακύκλωση, αλλά δεν αρκεί. Το επόμενο βήμα είναι να διασφαλιστεί ότι για τα προϊόντα και τα υλικά γίνεται διαχείριση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση με διαδικασίες υψηλής ποιότητας σε ολόκληρη την επεξεργασία τους, ώστε να είναι σε θέση να ανακτηθεί ένα ευρύ φάσμα μετάλλων με καλές ενεργειακές αποδόσεις και με καλές περιβαλλοντικές επιδόσεις, συμπεριλαμβανομένης της ασφαλούς εξάλειψης των επικίνδυνων ουσιών.

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των προϊόντων γίνεται όλο και πιο δύσκολη, με βάση και την ύπαρξη ορισμένων περιορισμών της ανάκτησης όλων των μετάλλων από σύνθετα προϊόντα [93]. Καθώς οι επιμέρους κύκλοι παραγωγής είναι πολύπλοκοι και αλληλεξαρτώμενοι, είναι απαραίτητη αλλά και απαιτητική η καλή διαχείριση του συνολικού συστήματος. Για παράδειγμα, βασικά μέταλλα όπως ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος επιτελούν βασικές λειτουργίες σε ορισμένα προϊόντα δίχως να χρειάζεται ανάμιξή τους με άλλα μέταλλα. Όμως οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για βελτίωση των υλικών οδηγούν στην ανάγκη για τα σημερινά προϊόντα να αναμιγνύονται με άλλα βασικά μέταλλα, όπως χαλκό, νικέλιο και κοβάλτιο, και μια πληθώρα ειδικών και πολύτιμων μετάλλων. Στο τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανάκτηση πολύτιμων και ειδικών μετάλλων είναι επιτακτική καθώς επιτρέπει το κλείσιμο του κύκλου παραγωγής. Ως εκ τούτου η κατανόηση και μελέτη των διαδικασιών για την ανάκτηση αυτών των μετάλλων και η ύπαρξη μιας υπερσύγχρονης μεταλλουργικής υποδομής ανακύκλωσης, αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη μιας Κυκλικής οικονομίας [94].

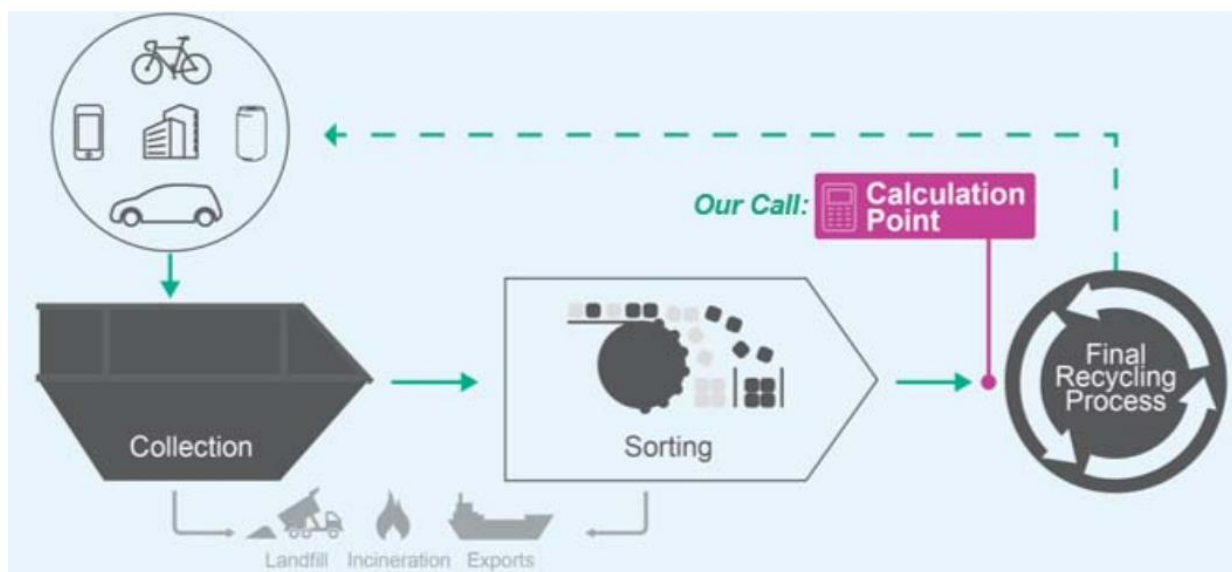
Εκτός από τους υλικοτεχνικούς, τεχνικούς και περιβαλλοντολογικούς περιορισμούς, υπάρχουν και οικονομικές προκλήσεις. Όταν γίνεται μελέτη για την αλλαγή σε επιχειρησιακό, βιομηχανικό και μηχανουργικό επίπεδο ένα από τα κύρια θέματα μελέτης είναι το κόστος. Για να είναι βιώσιμο ένα νέο επιχειρηματικό μοντέλο πρέπει να είναι βιώσιμη η επιχείρηση. Στοχεύοντας στη μετάβαση σε μια υγιή Κυκλική οικονομία, το κόστος ανακύκλωσης των υλικών είναι μεγάλο και χρειάζεται να απορροφηθεί. Στην ιδανική περίπτωση το κόστος επαναχρησιμοποίησης των υλικών θα ταυτίζεται με το κόστος των υλικών που έχουν εξορυχθεί και δεν έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής. Στην περίπτωση που περιλαμβάνεται μεγαλύτερο κόστος, το μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας δε θα έχει επιχειρηματικό ενδιαφέρον, και δε θα ευδοκιμήσει.

Το να γίνεται ανακύκλωση των υλικών στα μηχανουργεία θα μπορούσε να πει κανείς ότι είναι σαν να ιδρύονται άλλες δύο εργοστασιακές μονάδες. Η μία θα είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των μετάλλων και η άλλη για τον καθαρισμό των αποβλήτων, για παράδειγμα των υγρών αποβλήτων, ώστε να εξέρχονται καθαρά από το σύστημα και να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνεται επεξεργασία των αποβλήτων για να μπορούν να είναι επαναχρησιμοποιούμενα και θα απαιτείται κατάλληλη οργάνωση παραγωγής και επιπλέον εργατικό κόστος, ενέργεια, εξειδικευμένες εγκαταστάσεις κ.λπ. Προκειμένου να γεφυρωθεί το κόστος ολόκληρης της παραγωγής που ανακυκλώνει τα μέταλλα, φορείς όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση οφείλουν να εφαρμόσουν πολιτικές φοροελαφρύνσεων ή φοροαπαλλαγών σε καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα που εξασφαλίζουν ένα βιώσιμο μέλλον. Επίσης κρίνεται ότι θα είναι αναγκαίο να συνυπάρχουν πολλές ανεξάρτητες επιχειρήσεις σε ένα βιομηχανικό πάρκο ώστε να μοιράζονται τις εγκαταστάσεις για ανακύκλωση. Το βιομηχανικό πάρκο θα λειτουργεί με τις αρχές της Κυκλικής οικονομίας. Σε περίπτωση που προϋπάρχει ένα βιομηχανικό πάρκο δε θα απαιτείται μεγάλο κεφάλαιο για να μετατραπεί σε ένα σύστημα

Κυκλικής οικονομίας. Σε αντίθετη περίπτωση, θα απαιτείται προφανώς ένα πολύ μεγάλο αρχικό κεφάλαιο.

Κάποια μηχανουργεία και βιομηχανίες μετάλλων δεν έχουν, και πιθανότατα δε θα μπορούσαν να αποκτήσουν, μεγάλες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης, για παράδειγμα ειδικά διαμορφούμενους χώρους για να τηρούνται όλοι οι κανόνες ασφαλείας για την ανακύκλωση μετάλλων. Η ανακύκλωση μετάλλων απαιτεί πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις που μόνο με τη στήριξη μεγάλων φορέων, όπως το κράτος, μπορούν να κατασκευαστούν και να είναι βιώσιμες. Για παράδειγμα με τη στήριξη του κράτους στην Κίνα μετασηματίστηκε ένα υπάρχον βιομηχανικό πάρκο σε βιομηχανικό πάρκο ανακύκλωσης με επιτυχία. Επιπλέον, με τη στήριξη Ευρωπαϊκής Ένωσης προμοδοτείται η κατασκευή σταθμών ανακύκλωσης μετάλλων, έτσι ώστε να είναι αποδοτικότεροι ενεργειακά. Αυτή η πρωτοβουλία είναι ζωτικής σημασίας διότι οι πρώτες ύλες μετάλλων στερεύουν από το έδαφος, οπότε σε λίγο καιρό αν δεν προετοιμαστούν οι εγκαταστάσεις για να ανακυκλώνονται τα μέταλλα δε θα υπάρχει υλικό για τη βιομηχανία.

Αυτή η προσπάθεια για ανακύκλωση μετάλλων έχει μπει σε εφαρμογή και από Ελληνικές βιομηχανίες μετάλλων. Μια τέτοια κίνηση ήταν απαραίτητη γιατί οι φυσικές πηγές μετάλλων έχουν στερέψει και έχουν συγκεντρωθεί στους χώρους υγειονομικής ταφής μεγάλες ποσότητες μετάλλων που θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν. Δεν έχουν όλα τα μηχανουργεία τη δυνατότητα να έχουν εγκαταστάσεις ανακύκλωσης μετάλλων. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα διότι μπορεί να δημιουργηθεί νέα μορφή εμπορίου για την κάλυψη της ζήτησης στη μεταλλουργία μέσω της αποθεματοποίησης των μετάλλων σε αποθήκες που θα αντικαταστήσουν τα φυσικά ορυχεία. Με αυτά θα είναι δυνατή η κάλυψη των αναγκών σε τοπικό επίπεδο και θα περιορίζονταν στο μέγιστο βαθμό οι εισαγωγές.



Σχήμα 7.1: Διαδικασίες Κυκλικής οικονομίας.

Συνοπτικά, οι υπάρχουσες προκλήσεις και λύσεις που έχουν προταθεί από την ηγεσία της Ευρωπαϊκής Ένωση παρουσιάζονται στους πίνακες 7.1-7.4:

Προκλήσεις

Λύσεις

<p>Μέτρηση των ποσοστών ανακύκλωσης:</p> <p>Ποικίλει η ερμηνεία του τι σημαίνει «ανακύκλωση» και πώς πρέπει να μετρηθεί. Επί του παρόντος, τα κράτη μέλη ερμηνεύουν ποικιλοτρόπως τη λέξη «Ανακύκλωση» και υπολογίζουν διαφορετικά τα ποσοστά ανακύκλωσής τους, δημιουργώντας ασυνέπειες.</p>	<p>Μια μεμονωμένη μέθοδος για τη μέτρηση των ποσοστών ανακύκλωσης, κατά την είσοδο στην τελική διαδικασία ανακύκλωσης:</p> <p>Πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με τη μέθοδο υπολογισμού της επίτευξης της ανακύκλωσης.</p> <p>Οι στόχοι νοούνται ως «το βάρος των απορριμμάτων που εισέρχονται στην τελική διαδικασία ανακύκλωσης», η οποία ενθαρρύνει την ανακύκλωση.</p> <p>Η «τελική διαδικασία ανακύκλωσης» ορίζεται ως «η διαδικασία ανακύκλωσης που ξεκινά όταν δεν απαιτείται περαιτέρω διαλογή απορριμμάτων και εισέρχονται τα απόβλητα σε μια νέα διαδικασία παραγωγής και ανακυκλώνονται αποτελεσματικά σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες».</p> <p>Αυτό σημαίνει ότι μια τελική διαδικασία ανακύκλωσης παράγει αρκετά καθαρή ποιότητα, ικανή να αντικαταστήσει πρωτογενή υλικά.</p> <p>Ανεξάρτητα από το πού θα πραγματοποιηθεί το σημείο μέτρησης είναι ζωτικής σημασίας να διατηρηθεί ο ορισμός της τελικής διαδικασίας ανακύκλωσης προκειμένου να υπογραμμιστεί ότι ο κύκλος μπορεί να κλείσει μόνο εάν τα προϊόντα / τα υλικά έχουν φτάσει στο τέλος της αλυσίδας ανακύκλωσης.</p>
<p>Υποβέλτιστα συστήματα συλλογής στο τέλος του κύκλου ζωής:</p> <p>Η συλλογή είναι το πρώτο βήμα της αλυσίδας ανακύκλωσης. Εάν η συλλογή δεν πραγματοποιείται αποτελεσματικά, ο ρυθμός ανακύκλωσης δεν μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων της συλλογής ποικίλλει σε ολόκληρη την Ευρώπη.</p>	<p>Ελάχιστες απαιτήσεις για εκτεταμένη ευθύνη παραγωγών:</p> <p>Ως λύση σε αυτό το πρόβλημα προτάθηκε να γίνεται χωριστή συλλογή και να ορίζεται το ελάχιστο όριο για την εκάστοτε βιομηχανία.</p> <p>Η εκτεταμένη ευθύνη και οι απαιτήσεις για τη μετάβαση σε μια Κυκλική οικονομία που βαραίνουν τον παραγωγό θα συμβάλουν στη βελτίωση της συλλογής και διαλογής απορριμμάτων.</p> <p>Τα συστήματα EPR (enterprise resource planning) έχουν πληροφορίες για τη ροή υλικού εντός του συστήματος ενώ και η βιομηχανία πρέπει επίσης να καλύπτει ολόκληρο το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της τελικής διαδικασίας ανακύκλωσης.</p>

Πίνακας 7.1: Προκλήσεις και λύσεις για την Ευρωπαϊκή Ένωση 1.

Προκλήσεις	Λύσεις
<p>Υγειονομική ταφή και αποτέφρωση:</p> <p>Χώρος υγειονομικής ταφής και αποτέφρωση αγαθών μετά την κατανάλωση τους. Πολλά προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους που περιέχουν πολύτιμα υλικά, καταλήγουν χωματερές ή αποτεφρώνονται.</p>	<p>Στόχος να μειωθεί η υγειονομική ταφή στο 10%:</p> <p>Ο στόχος για τη μείωση της υγειονομικής ταφής των ανακυκλώσιμων αποβλήτων σε 10% απαιτεί την υποστήριξη ανακύκλωσης. Η επιβολή σε επίπεδο κρατών μελών είναι ζωτικής σημασίας. Η αποτέφρωση είναι μια συμπληρωματική επιλογή που είναι χαμηλότερη από την ανακύκλωση στην ιεραρχία αποβλήτων, αλλά αυτό έχει το πλεονέκτημα σε περιπτώσεις όπου η ανακύκλωση δεν είναι εφικτή.</p>
<p>Παράνομες εξαγωγές αποβλήτων:</p> <p>Πραγματοποιούνται εξαγωγές αποβλήτων λόγω υψηλής εγγενούς αξίας σε ορισμένα απορρίμματα και περιεκτικότητα σε ενέργεια. Εξαγωγές επικίνδυνων αποβλήτων χαρακτηρίζονται συχνά ως μεταχειρισμένα προϊόντα και απόβλητα προς διάθεση ή ως απόβλητα που προορίζονται για ανάκτηση ή ανακύκλωση.</p>	<p>Ισχυρότεροι έλεγχοι και απαίτηση για ανακύκλωση των εξαγόμενων αποβλήτων με «Ισοδύναμους όρους»:</p> <p>Η Ευρώπη αναγνωρίζει την ανάγκη καταπολέμησης της παράνομης μεταφοράς και επιβολής του αναθεωρημένου κανονισμού για τη μεταφορά αποβλήτων. Διαφορετικά μέτρα μπορούν να βοηθήσουν στην καταπολέμηση παράνομων αποστολών, συμπεριλαμβανομένου:</p> <ul style="list-style-type: none"> • του ελέγχου των αποστολών στα λιμάνια για να αποφεύγονται, οι παράνομες εξαγωγές. • της αναγνώρισης μεταχειρισμένων εμπορευμάτων στις τελωνειακές συνδιαλλαγές για διευκόλυνση ελέγχων. • στην περίπτωση σύνθετων ροών αποβλήτων (π.χ. απορριμμάτων μπαταριών) εισαγωγής μιας απαίτησης ότι τα δευτερεύοντα υλικά μπορούν να εξαχθούν μόνο εάν αναγνωρίζεται ο κατάλληλος τελικός επεξεργαστής.
<p>Όχι ισότιμους όρους για ανταγωνισμού ανακυκλωτές:</p> <p>Οι διαδικασίες ανακύκλωσης πρέπει να πληρούν τα ελάχιστα κριτήρια ποιότητας και αυτά πρέπει να ισχύουν σε όλη την αλυσίδα ανακύκλωσης στην Ευρώπη και αλλού.</p>	<p>Πιστοποίηση εγκαταστάσεων:</p> <p>Το πακέτο για την κυκλική οικονομία δεν είναι αρκετά φιλόδοξο καθώς απλώς προτείνει τη «προαγωγή της εθελοντικής πιστοποίησης των νέων εγκαταστάσεων υπό την ηγεσία της βιομηχανίας». Ένα υποχρεωτικό σύστημα πιστοποίησης θα διασφαλίζει ισοδύναμους και δίκαιους όρους.</p>

Πίνακας 7.2: Προκλήσεις και λύσεις για την Ευρωπαϊκή Ένωση 2.

Προκλήσεις	Λύσεις
<p>Η εστίαση στη μάζα όχι στην αξία:</p> <p>Δεδομένου ότι οι πολιτικές αποβλήτων επικεντρώνονται παραδοσιακά στον όγκο και το βάρος, σε ορισμένα πολύτιμα υλικά ή σε προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους δεν έχει ακόμη προχωρήσει επαρκώς η συλλογή και η ανακύκλωση.</p>	<p>Μια επικεντρωμένη στο προϊόν προσέγγιση:</p> <p>Το προτεινόμενο σχέδιο δράσης προσδιορίζει σωστά την ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στην ανάκτηση πολύτιμων και κρίσιμων πρώτων υλών από προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους.</p> <p>Είναι σημαντικό να αντιμετωπίζεται κάθε προϊόν σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητές του, συμπεριλαμβανομένων της σύνθεσης του υλικού και των τεχνοοικονομικών ευκαιριών από την ανακύκλωση.</p>
<p>Εμπόδια στη βιομηχανική συμβίωση και ανακύκλωση:</p> <p>Υπάρχουν ορισμένα εμπόδια στις ενδοκοινοτικές αποστολές αποβλήτων, προϊόντων και υποπροϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους για ανακύκλωση.</p> <p>Αυτό περιλαμβάνει τη μη εναρμονισμένη κατάσταση των αποβλήτων ώστε να τα διαχειριστούν τα κράτη μέλη. Οφείλεται στην έλλειψη κατάλληλων κωδικών για όλα τα είδη αποβλήτων.</p> <p>Υπερβολικά περίπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες μεταφοράς αποβλήτων.</p>	<p>Μέτρα για τη διευκόλυνση της μεταφοράς αποβλήτων στην Ευρώπη:</p> <p>Εναρμονισμένοι ορισμοί των αποβλήτων και των υποπροϊόντων και εναρμονισμένη χρήση EURAL κωδικών (χωρίς χωριστούς εθνικούς κωδικούς) στα κράτη μέλη είναι το κλειδί. Νέοι κωδικοί πρέπει να δημιουργηθούν για απόβλητα για τα οποία δεν υπάρχουν κωδικοί αποβλήτων.</p> <p>Ο κανονισμός αποστολής αποβλήτων παρέχει μια απλοποιημένη διαδικασία για τη «συγκατάθεση των εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων», αλλά στην πραγματικότητα δεν παρέχει μεγάλο όφελος. Θα έπρεπε να βελτιωθεί ώστε να επιτρέπει τη γρήγορη και άμεση μεταφορά αποβλήτων από και προς συγκατατεθείσες εγκαταστάσεις ανάκτησης μόλις ενημερωθούν οι αρμόδιες αρχές.</p> <p>Έλεγχος θα μπορεί να πραγματοποιηθεί ανά πάσα στιγμή χάρη στην εύκολη παρακολούθηση των αποστολών από τον αναγνωριστικό αριθμό τους. Ένα ηλεκτρονικό σύστημα θα διευκόλυνε επίσης τη διαδικασία.</p>

Πίνακας 7.3: Προκλήσεις και λύσεις για την Ευρωπαϊκή Ένωση 3.

Προκλήσεις	Λύσεις
<p>Αποτελεσματική διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών:</p> <p>Επειδή τα μέταλλα είναι φυσικές ουσίες δεν υφίσταται το περιβάλλον χωρίς αυτά. Μια ολική απαγόρευση επικίνδυνων ουσιών θα μείωνε την ποσότητα των αποβλήτων που ανακυκλώνονται και αποτελούν κίνητρο για υγειονομική ταφή και εισαγωγές περισσότερων υλικών και προϊόντων.</p>	<p>Αποτελεσματική και έξυπνη νομοθεσία:</p> <p>Τα προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες πρέπει να διαχειρίζονται σωστά. Η νομοθεσία πρέπει να είναι αποτελεσματική, έξυπνη και αναλογική.</p> <p>Δε θα πρέπει να αποθαρρύνει άσκοπα τη χρήση δευτερευόντων πόρων, ιδίως εντός του πλαισίου της κυκλικής οικονομίας και του παγκόσμιου ανταγωνισμού. Πρέπει να διασφαλιστεί η ορθή διαχείριση κινδύνων και αποφυγή άσκοπης επιβολής κυρώσεων στους ανακυκλωτές.</p>
<p>Τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις κατά την ανακύκλωση σύνθετων προϊόντων:</p> <p>Η τάση των αλλαγών στη σύνθεση και τον σχεδιασμό του προϊόντος δημιουργεί προκλήσεις από την άποψη της οικονομικής βιωσιμότητας της διαδικασίας ανακύκλωσης.</p> <p>Επιπλέον, μια ολοένα αυξανόμενη ποικιλία συνδυασμών στοιχείων σε εξαρτήματα και προϊόντα προκαλούν τεχνικές προκλήσεις και απαιτούν την ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων ανακύκλωσης.</p>	<p>Στοχευμένη υποστήριξη καινοτομίας:</p> <p>Μια στοχευμένη υποστήριξη στην καινοτομία για την υποστήριξη της ανακύκλωσης σύνθετων προϊόντων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας σε όλη την αλυσίδα αξίας, απαιτείται για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.</p> <p>Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δεσμευτεί να υποστηρίξει τις εξελίξεις στην Κυκλική οικονομία μέσω του προγράμματος χρηματοδότησης της έρευνας και της καινοτομίας, το πρόγραμμα που ονομάζεται «Ορίζοντας 2020».</p>

Πίνακας 7.4: Προκλήσεις που έχουν ανακύψει και λύσεις που έχουν προταθεί από την ηγεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 4.

8 ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ - ΣΥΝΟΨΗ

Η συγκεκριμένη εργασία είχε σαν στόχο τη διερεύνηση των αρχών της Κυκλικής οικονομίας για την αναδιαμόρφωση των γραμμικών διαδικασιών σε μηχανουργικές κατεργασίες. Διερευνήθηκαν και αναλύθηκαν νέα συστήματα, μεθοδολογίες και κατεργασίες οι οποίες με την εφαρμογή τους κλείνουν τον κύκλο των παραδοσιακών μεθόδων παραγωγής και επαναλαμβάνονται κυκλικά. Η υιοθέτηση αυτών των νέων συνηθειών έχουν ως στόχο τόσο την οικονομική βιωσιμότητα όσο και την περιβαλλοντολογική αειφορία στις μηχανουργικές επιχειρήσεις. Οι βιομηχανικές συνήθειες οφείλουν να μετασχηματιστούν για να διαχειρίζονται διαφορετικά τα απόβλητα μετάλλων που μέχρι τώρα τοποθετιόντουσαν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Μελλοντικά θα ελαχιστοποιούνται οι εισαγωγές μετάλλων στο σύστημα και θα διατηρούνται όσο το δυνατόν περισσότερο στην οικονομία οι πρώτες ύλες.

Η Κυκλική οικονομία είναι ένα καινοτόμο επιχειρησιακό μοντέλο το οποίο επαναπροσδιορίζει τα συστήματα παραγωγής. Πραγματοποιείται η κυκλική διαδικασία που ενσωματώνει τα στάδια «ελαττώνω, επισκευάζω, ανακυκλώνω και ανακτώ» όσον αφορά τις πρώτες ύλες. Επομένως μετασχηματίζονται οι βιομηχανικές κατεργασίες για να επαναχρησιμοποιούνται οι πρώτες ύλες, να ελαττώνονται οι βλαβερές ουσίες και να εξαλείφονται οι εκπομπές βλαβερών καυσαερίων. Αυτή η νέα οργάνωση στα μηχανουργία απαιτεί την υιοθέτηση πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον. Ενσωματώνει επίσης έννοιες όπως τη βιομηχανική οικολογία, το βιομηχανικό μεταβολισμό και τη βιομηχανική συμβίωση πολλών μονάδων παραγωγής. Επιχειρησιακά μοντέλα όπως αυτό της Κυκλικής οικονομίας, στοχεύουν στην οικονομική ανάπτυξη και τις πράσινες επενδύσεις έχοντας μεγάλο οικονομικό όφελος. Παρουσιάζει μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον για τις βιομηχανίες καθώς δίνει προτεραιότητα στην οικονομική ανάπτυξη χωρίς όμως να επιβαρύνεται το περιβάλλον, αποκτώντας έτσι πραγματικό ενδιαφέρον για την υλοποίηση του μοντέλου της Κυκλικής οικονομίας εξίσου για τις επιχειρήσεις, για το περιβάλλον και την κοινωνία.

Η συγκεκριμένη εργασία εξετάζει βιβλιογραφικά το νέο μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας, τους στόχους, τις αρχές της, την ιστορική εξέλιξη μέσα στις τελευταίες δεκαετίες και τη διαφοροποίησή του από άλλα βιομηχανικά μοντέλα που προηγούνται χρονικά και αφορούν το περιβάλλον. Αναπτύσσονται μεθοδολογίες οι οποίες αφορούν τις μηχανουργικές κατεργασίες και τις νέες συνήθειες που οφείλει να αναπτύξει μια βιομηχανία. Αρχικά, γίνεται ανασχεδιασμός των προϊόντων και των κατεργασιών που πραγματοποιούνται για να είναι ευκολότερη η ανακύκλωσή τους όταν περατωθεί ο χρόνος ζωής των τεμαχίων. Δεύτερον, προσαρμόζονται οι δραστηριότητες, οι συνήθειες και οι κατεργασίες των μηχανουργικών διαδικασιών όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων και της καταναλισκόμενης ενέργειας. Εξετάζεται η ιεραρχία των αποβλήτων με την κατανάλωση πόρων και ενέργειας από τις πιο ευνοϊκές έως τις λιγότερο ευνοϊκές δραστηριότητες αναφορικά με τη βιωσιμότητα. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε μια μαθηματική μέθοδος προκειμένου να είναι εφικτός ο μαθηματικός υπολογισμός του ποσοστού της κυκλικότητας ενός συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να είναι συγκρίσιμη η πρόοδος του μέσα στο χρόνο.

Μελετήθηκε η πρώτη μορφή οικολογικότερης παραγωγής, η οποία είναι το βιομηχανικό πάρκο της Δανίας. Στο παρελθόν ήταν πολύ ριζοσπαστική η ίδρυση ενός οικολογικού βιομηχανικού πάρκου και έθεσε τις βάσεις για όλα τα μεταγενέστερα οικολογικά μοντέλα. Έθεσε επίσης τα θεμέλια για την εφαρμογή της Κυκλικής οικονομίας στην Κίνα, η οποία

είναι η πρώτη χώρα που την εφάρμοσε. Το ριζοσπαστικό παράδειγμα της Κίνας μπήκε στο μικροσκόπιο για να διερευνηθούν ποια σημεία λειτουργούν και δυσλειτουργούν. Οι πολύτιμες πληροφορίες οφείλουν να μεταδοθούν και σε βιομηχανίες άλλων χωρών, οι οποίες εθελοντικά ή μετά από τη μεσολάβηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλούνται να αναμορφώσουν τις γραμμικές διαδικασίες σε κυκλικές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί έντονα το μοντέλο της Κυκλικής οικονομίας στη βιομηχανία. Παρουσιάζεται η θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία έχει σαν στόχο να ελαχιστοποιήσει τις εισαγωγές μετάλλων από άλλες χώρες ιδρύοντας αποθήκες μεταλλευμάτων για την αντικατάσταση των φυσικών ορυχείων πρώτων υλών. Τονίζονται οι προκλήσεις που υπάρχουν και οι πιθανές λύσεις στα προβλήματα που έχουν ανακύψει.

Τέλος, συνοψίζοντας τα συμπεράσματα από την ανασκόπηση που γίνεται σε όλα τα μοντέλα προκύπτει ότι πρέπει να ανασχεδιαστούν οι γραμμικές κατεργασίες σε κυκλικές.

Το πρώτο βήμα είναι να επανασχεδιαστούν τα τεμάχια των μηχανουργικών διαδικασιών έτσι ώστε να είναι εύκολη η συντήρησή τους και να μην αποτελούνται από πολλά διαφορετικά υλικά, έτσι ώστε να διανέμονται τα κράματα μετάλλων για ανακύκλωση και όχι να καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το δεύτερο βήμα είναι να προσαρμοστούν οι δραστηριότητες, οι συνήθειες και οι φάσεις των μηχανουργικών κατεργασιών όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων και της καταναλισκόμενης ενέργειας. Ανάλογα με το μέγεθος κάθε επιχείρησης θα πρέπει να αναπτυχθούν ροές υλικών εντός του μηχανουργείου για την κατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων, είτε με ανακύκλωση και αποθήκευση είτε με καθαρισμό και αποβολή στο περιβάλλον.

Ιδανικά οι βιομηχανίες είναι αποδοτικότερο να συνυπάρχουν σε βιομηχανικά πάρκα ανακύκλωσης για να μοιράζονται οι εγκαταστάσεις, η ενέργεια και η ροή υλικού. Στην περίπτωση που το μηχανουργείο δεν μπορεί να κατασκευάσει σταθμό ανακύκλωσης μετάλλων, τα απόβλητα πρέπει να διανέμονται σε άλλες εγκαταστάσεις που θα τα διαχειρίζονται κατάλληλα. Για κάθε κατασκευή πρέπει να εξετάζεται τόσο το κόστος υλικού όσο και το ενεργειακό κόστος.

Στη συνέχεια με τη μαθηματική μέθοδο μέτρησης της κυκλικότητας του συστήματος πρέπει να παρακολουθείται η απόδοσή του. Καθώς η Κυκλική οικονομία είναι μια νέα πρακτική, όταν παρατηρείται βελτίωση της απόδοσης του συστήματος πρέπει να διαμοιράζεται η γνώση, οι πρακτικές και η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε. Οι καλές επιδόσεις θα επιβραβεύονται από την Ευρώπη. Ωστόσο, για να ωριμάσει αυτό το μοντέλο θα πρέπει να αντιμετωπιστούν κάποιες προκλήσεις από την Ευρώπη, οι οποίες είναι ακόμα σε εκκρεμότητα. Μερικές από αυτές τις προκλήσεις είναι τα υποβέλτιστα συστήματα συλλογής στο τέλος του κύκλου ζωής, η παράνομη υγειονομική ταφή ή εξαγωγή σε αναπτυσσόμενες χώρες, η ποιότητα του τελικού προϊόντος, τα εμπόδια στη βιομηχανική συμβίωση, η αντιμετώπιση των επικίνδυνων ουσιών και κυρίως να μη γίνει η Κυκλική οικονομία μια εθελοντική επιλογή της κάθε βιομηχανίας αλλά και να νομοθετηθεί, όπως εφαρμόστηκε πρώτα στη Κίνα.

Συνοψίζοντας, η Κυκλική οικονομία στοχεύει στη διατήρηση της πρώτης ύλης όσο το δυνατόν περισσότερο στην οικονομία και την ελαχιστοποίηση της εισαγωγής μετάλλων. Παρουσιάζει εξίσου οικονομικό, περιβαλλοντολογικό και κοινωνικό ενδιαφέρον. Οπότε θα πρέπει το συντομότερο να επεκταθεί η εφαρμογή της για την αναμόρφωση γραμμικών διαδικασιών σε μηχανουργικές κατεργασίες με την εφαρμογή των αρχών της Κυκλικής οικονομίας.

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Julian Kircher, Denise Rieke, Marko Hecker, Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions, 2017.
- [2] Geissdoerfer et al. Schut et al., The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0 Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options, 2017.
- [3] Ghisellini, P. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems, 2016.
- [4] European Commission (2014a).
- [5] Song et al. (2015) and Allwood et al., (2011), Resending (2017).
- [6] Juan F. García-Barragán, Johan Eyckmans, Sandra Rousseau. Defining and Measuring the Circular Economy: A Mathematical Approach, 2018.
- [7] Ness and Xing (2017), Song et al. (2015) and Allwood et al. (2011), Full Access Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model.
- [8] Pearce et al., 1989, Blueprint for a green economy.
- [9] Barbier, E.B., 1987. The concept of sustainable economic development.
- [10] UNEP, 2011. Towards a Green Economy: pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.
- [11] European commission, 2020, i.e. natural capital3.
- [12] Georgescu-Roegen, N., 1975. Energy and economic myths. South. Econ.
- [13] Bugge, M.M., Hansen, T., Klitkou, A., 2016. What is the bioeconomy? A review of the literature.
- [14] Ollikainen, M., 2014. Forestry in bioeconomy e-Smart green growth for the humankind. Scand.
- [15] D. D'Amato, N. Droste, B. Allen, M. Kettunen, K. Lahtinen, J. Korhonen, P. Leskinen, B.D. Matthies, A. Toppinen, 2017 Green circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues
- [16] Taking stock of industrial ecology, 1989, Frosch, Gallopoulos & Naustdalslid J. Circular economy in China—the environmental dimension of the harmonious society. Int J Sustain Dev World Ecol
- [17] Christian Hagelüken, Ji Un Lee-Shin, Annick Carpentier and Chris Heron, 2018, The EU Circular Economy and Its Relevance to Metal Recycling.
- [18] K. Winans, 2017, A. Kendall, H. Deng, The history and current applications of the circular economy concept.
- [19] Authored by Thibaut Wautelet, 2018, Exploring the role of independent retailers in the circular economy: a case study approach.
- [20] Murray et al., 2015; Ellen MacArthur, 2012.

- [21] J. Kappes, B. Andres, F. Hamprecht, C. Schnorr, S. Nowozin, D. Batra, S. Kim, B. Kausler, J. Lellmann, N. Komodakis, C. Rother; Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2013, pp. 1328-1335 ,A Comparative Study of Modern Inference Techniques for Discrete Energy Minimization Problems.
- [22] Federica Cucchiella, alidiano D'Adamo, S.C. Lenny Kohb, Paolo Rosac), 2015, Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams.
- [23] Fahzy Abdul-Rahman, 2014, Reduce, Reuse, Recycle: Alternatives for Waste Management Guide.
- [24] Torkar et al., 2010; Brooks et al., 2019, Circular economy practice: From industrial metal waste to production of high wear resistant coatings.
- [25] Corder et al., 2015, Wealth from metal waste.
- [26] Regita Bendikiene, Antanas Ciuplys, Lina Kavaliauskiene, 2019, Circular economy practice: From industrial metal waste to production of high wear resistant coatings.
- [27] Mridha S., 2016, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering
- [28] Mohammadhosseini A, Fraser D, Masood SH, Jahedi M., 2018, A study of morphology of titanium powder used in electron beam melting.
- [29] Asgari H., Baxter C., Hosseinkhani K., Mohammadi M. ,2017, On microstructure and mechanical properties of additively manufactured AISi10Mg200C using recycled powder. Mater Sci Eng A 2017; 707:148–58.
- [30] Heiden MJ, Deibler LA, Rodelas JM, Koepke JR, Tung DJ, Saiz DJ, et al., 2019, Evolution of 316L stainless steel feedstock due to laser powder bed fusion process. Additive Manufacturing.
- [31] Chen X, Liu X, Childs P, Brandon N, Wu B., 2018, A low cost desktop electrochemical metal 3D printer. Adv. Mater. Technol.
- [32] Salehi M., Maleksaeedi S., Farnoush H., Nai ML S., Meenashisundaram GK., Gupta M. ,2017 ,An investigation into interaction between magnesium powder and Argon: implications for selective laser melting of magnesium.
- [33] Khazdozian HA, Manzano JS, Gandha K, Slowing II, Nlebedim IC. ,2018, Recycled Sm-Co bonded magnet filaments for 3D printing of magnets. AIP Adv 2018.
- [34] European Commission (EC). Communication from the Commission: Europe 2020, A Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth, COM (2010) 2020 Final; European Commission (EC): Brussels, Belgium, 2010.
- [35] European Commission (EC). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Roadmap to a Resource Efficient Europe, COM (2011) 0571 Final; European Commission (EC): Brussels, Belgium, 2011. Recycling 2016, 1, 242–253 253.
- [36] European Commission (EC). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Closing the Loop-An EU Action Plan for the Circular economy. COM (2015) 614/2; European Commission (EC): Brussels, Belgium, 2015.

- [37] European Commission (EC). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a Circular economy: A Zero Waste Programme for Europe. COM (2014) 0398; European Commission (EC): Brussels, Belgium, 2014.
- [38] European Commission (EC). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 2008/98/EC on Waste. COD 2015/0275; European Commission (EC): Brussels, Belgium, 2015.
- [39] Ayush Gautama, Ravi Shankar, Prem Vrat b., 2021, End-of-life solar photovoltaic e-waste assessment in India: a step towards a circular economy.
- [40] Regita Bendikiene, Antanas Ciuplys, Lina Kavaliauskiene, 2019, Submerged arc welding (SAW) Circular economy practice: From industrial metal waste to production of high wear resistant coatings.
- [41] Ahmed K., Alia Yi Wangb Jorge L.Alvaradocb, 2019, Facilitating industrial symbiosis to achieve circular economy using value-added by design: A case study in transforming the automobile industry sheet metal waste-flow into Voronoi facade systems .
- [42] Fugandes et al., 2016, Circular economy practice: From industrial metal waste to production of high wear resistant coatings.
- [43] Alwaeli and Nadziakiewicz, 2012, Recycling of scale and steel chips waste as a partial replacement of sand in concrete.
- [44] Li et al., 2018, Recovery and reutilization of high-quality boron carbide from sapphire wafer grinding-waste.
- [45] Gao et al., 2018, An economic and environmental friendly way of recycling boron carbide waste to prepare Al composite ceramic.
- [46] Aslan et al., 2019, Recycling of WC-TiC-TaC-NbC-Co by zinc melt method to manufacture new cutting tools.
- [47] Claudiney et al., 2018, A new method to recycle stainless – steel duplex UNS S31803 chips.
- [48] Ambroza et al., 2013; Bendikiene et al., 2016, Formation of buildup layers microstructure by arc automatic overlay welding using secondary raw material powders.
- [49] Abdel Mawla et al., 2019
- [50] Rojacz et al., 2014, Processing and wear of cast MMCs with cemented carbide scrap.
- [51] Regita Bendikiene* , Antanas Ciuplys, Lina Kavaliauskiene, 2019,Circular economy practice: From industrial metal waste to production of high wear resistant coatings Regita Bendikiene* , Antanas Ciuplys, Lina Kavaliauskiene.
- [52] Karadag et al., 2016, Cold pressing and sintering without melting.
- [53] Rahimi M, Esfahanian M, Moradi M., 2014, Effect of reprocessing on shrinkage and mechanical properties of ABS and investigating the proper blend of virgin and recycled ABS in injection molding. JMater Process Technol.
- [54] Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Νικόλαος Μπιλάλης
- [55] Majileino, Jonnas Pekkarinen, Risto Souk Ska, 2016, The role of laser additive manufacturing methods of metalsing repair, refurbishment and remanufacturing-anabling circular economy.

- [56] Ellen MacArthur Foundation, 2015, Implementing the Circular Economy for Sustainable Development.
- [57] Baumanns et al., 2010, Energy consumption optimization with geometric accuracy consideration for fused filament fabrication processes
- [58] Steinhilper & Hudelmaier, 1988, Erfolgreiches product recycling zur erneuten verwendung odre.
- [59] KAIERLE, 2012, Review on laser deposition welding.
- [60] Franz, 2014, Laser metal deposition welding in the field of tool and mould making.
- [61] Acharya & Bas 2015, Additive manufacture of IN100 Superalloy though scanning laser epitaxy for Turbine engine hot-section component repair.
- [62] Borrego et al., 2012, Moilud steels repaired by laser welding.
- [63] Clare et al., Laser cladding of rail steel with Co.
- [64] Lourenco et al., 2016, Fatigue and fracture behavior of laser clad repair of Aer.
- [65] Kohler et al., 2011, Influence of laser reconditioning on fatigue properties of crankshaft.
- [66] Wen et al., 2015, Microstructure and mechanical properties of hot laser clad lyers for repairing precipitation hardening martensitic stainless steel.
- [67] Wilson et al., 2014, Remanufacturing and mechanical properties of hot wire laser clad layers for repairing precipitation hardening martensitic stainless steel.
- [68] Liu Z, Jiang Q, Zhang Y, LiT, Zhang H-C, 2016, Sustainability of 3D printing: a critical review and recommendations. In: Vol. 2 Mater biomanufacturing; prop appl syst sustain manufacture. .
- [69] Garcia FL, da VA, Moris S, Nunes AO, Silva DAL. Environmental performance of additive manufacturing process—an overview.
- [70] Rastogi P, Kandasubramanian B., 2019 , Breakthrough in the printing tactics for stimuli-responsive materials: 4D printing.
- [71] Lunetto V, Catalano AR, Priarone PC, Settineri L., 2019, Comments about the human health risks related to additive manufacturing. Cham: Springer.
- [72] Hofstätter T, BeyN, Mischkot M, Lunzer A, Pedersen DB, Hansen HN. 2021, Comparison of conventional injection mould inserts to additively manufactured inserts using life cycle assessment. Proceedings Euspen's 16th int conf exhib.
- [73] HuangR, RiddleM, GrazianoD, WarrenJ, DasS, NimbalkarS, etal. ,2016, Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components.
- [74] Kafara M, Süchting M, Kemnitzer J, Westermann H-H, Steinhilper, 2017, R. Comparative life cycle assessment of conventional and additive manufacturing in mold core making for CFRP production.
- [75] Liu Z, Jiang Q, Cong W, Li T, Zhang H-C. ,2019, Comparative study for environmental performances of traditional manufacturing and directed energy deposition processes. Int J Environ Sci Technol.

- [76] Angelis-Dimakis et al. 2016, A web-based Toolbox to support the systemic eco-efficiency assessment in water use systems.
- [77] Pan et al., 2016, Greening of the Earth and its drivers.
- [78] Graedel et al., 2011, Challenges, Implementation Strategies and examples for a sustainable use of natural resource.
- [79] Huysman et al. 2017, Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste.
- [80] Juan F. García-Barragán, Johan Eyckmans, Sandra Rousseau, 2019, Defining and Measuring the Circular Economy: A Mathematical Approach
- [81] Haupt et al., Lebre et al., Linder et al., Tisserant et al., and Lonca et al., 2018, Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy?: Insight into the Swiss Waste Management System.
- [82] Μοντελοποίηση και παραγωγή προϊόντων, 2021 , κ. Αντωνιάδης, κ. Μπιλάλης.
- [83] Debo et al., Van Wassenhove, 2009, Sustainable operations management
- [84] Zhao et al., 2019, Semantic Understanding of Scenes Through the ADE20K Dataset
- [85] Sundin and Lee, 2012, In what way is remanufacturing good for the environment?
- [86] Chairman He Lifeng, 2019, NDRC.
- [87] Xueliang Yuan, Mengyue Liu , Qian Yuan, Xiaohan Fan , Yuqing Teng, Junhua Fu, Qiao Ma , Qingsong Wang, Jian Zuo, 2020 , Transition China to a circular economy through remanufacturing: A comprehensive review of the management institutions and policy systems.
- [88] Tianna Wang, 2021, How to promote industrial park recycling transformation in China. & Li Song, Does the green industry policy reduce industrial pollution emission;
- [89] EU Circular Economy Action Plan, A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe.
- [90] Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee the regions, Anew Circular Economy Action Plan, For a cleaner and more competitive Europe.
- [91] Michaela Dina Stanescu, 2020, State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestones
- [92] Markus Reuter, 2013, Metal Recycling-Opportunities, Limits, Infrastructure—A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel; United Nations Environment Program: Paris, France.
- [93] Reuter, M.A., Matusewicz, R., Van Schaik, A., 2015, Lead, 2015, Zinc and their Minor Elements: Enablers of a Circular economy. World Metal.