



## ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΜΣ «"Κατανεμημένα Συστήματα, Ασφάλεια και Αναδυόμενες Τεχνολογίες Πληροφορίας"»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής:	Σχεδιασμός Συστημάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας Κλειστού Βρόγχου: Προκλήσεις και Ευκαιρίες  Designing Closed-Loop Supply Chain Systems: Challenges and Opportunities
Όνοματεπώνυμο φοιτητή:	Ιωάννης Φάρκωνας
Πατρώνυμο:	Κωνσταντίνος
Αριθμός Μητρώου:	ΜΠΚΣΑ19027
Επιβλέπων:	Δρ. Κωνσταντίνος Λιαγκούρας, Διδάσκων ΠΜΣ

Σεπτέμβριος 2023

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Δρ. Κωνσταντίνος Λιαγκούρας  
Διδάσκων ΠΜΣ

Κωνσταντίνος Μεταξιώτης  
Καθηγητής

Δημήτριος Αποστόλου  
Καθηγητής

Σχεδιασμός Συστημάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας Κλειστού Βρόγχου: Προκλήσεις και Ευκαιρίες

## Περιεχόμενα

<b>Περίληψη</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Εισαγωγή</b> .....	8
<b>Κεφάλαιο 1: Η βιωσιμότητα και οι σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο</b> .....	11
<b>1.1.Η έννοια της βιωσιμότητας</b> .....	11
<b>1.1.1.Κυκλική Οικονομία</b> .....	12
<b>1.2.Βιώσιμοι στόχοι ανάπτυξης, ενίσχυση και χρηματοδότηση σε ευρωπαϊκό επίπεδο</b> .....	13
<b>1.2.1.Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και Βιωσιμότητα: Η Βιώσιμη Ευρωπαϊκή Εφοδιαστική Αλυσίδα</b> .....	19
<b>Κεφάλαιο 2: Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλειστού Βρόγχου</b> .....	22
<b>2.1.Ο ορισμός της έννοιας «Εφοδιαστική Αλυσίδα»</b> .....	22
<b>2.2. Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόγχου</b> .....	26

<b>2.3 Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόγχου και βιωσιμότητα ..</b>	<b>29</b>
<b>2.4. Bullwhip effect στην εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου .....</b>	<b>32</b>
<b>Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.Παρουσίαση εμπειρικής έρευνας για τη μοντελοποίηση συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.Η θεωρία παιγνίων στο σχεδιασμό αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόγχου .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.Μοντελοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου</b>	<b>46</b>
<b>3.3.1.Μεταχειρισμένα και ανακατασκευασμένα είδη στην πρωτογενή και δευτερογενή αγορά.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.2. Διάθεση απορριμμάτων και επανεπεξεργασία.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.3.Μαθηματικά μοντέλα αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόγχου.....</b>	<b>48</b>
<b>Κεφάλαιο 4 Μελέτη περίπτωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων ....</b>	<b>56</b>

<b>Συμπεράσματα</b> .....	64
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	67
<b>Παραρτήματα</b> .....	77
<b>Πηγαίος κώδικας</b> .....	77
<b>Διάγραμμα ροής</b> .....	81

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελείται από μία βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών μοντελοποίησης συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου και μίας μελέτης περίπτωσης. Η εργασία, δομήθηκε σε 4 εκτενή κεφάλαια, εκ των οποίων το πρώτο αφορά την έννοια της βιωσιμότητας, το δεύτερο παρουσιάζει σε θεωρητικό επίπεδο την εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου και το bullwhip effect ενώ το τρίτο αποτελεί μία βιβλιογραφική ανασκόπηση εμπειρικών ερευνών μοντελοποίησης συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο μέσα από ένα παράδειγμα σχεδιασμού και βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου ερευνούμε στην πράξη τα οικονομικά οφέλη που προσφέρονται αλλά και τα οφέλη που αποκομίζει το περιβάλλον .

**Abstract**

The present paper consists of a literature review of closed-loop supply chain system modeling research and a case study. The paper was structured in 4 extensive chapters, of which the first concerns the concept of sustainability, the second presents the closed-loop supply chain and the bullwhip effect at a theoretical level, while the third is a literature review of empirical research on modeling closed-loop supply chain systems.

In the 4th chapter, through an example of planning and optimization of a closed loop supply chain, we investigate in practice the economic benefits they offer us as well as the benefits for the environment.

## Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους Ozceylan et al. (2017), η ταχεία κατανάλωση των πόρων της γης από τον άνθρωπο προκαλεί σημαντική επιβάρυνση στο οικοσύστημα και οδηγεί σε πλεόνασμα, μη διαχειρίσιμων απορριμάτων. Οι αυξανόμενες ανησυχίες για την επιρροή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον έχουν οδηγήσει σε καταναλωτές που είναι περιβαλλοντικά ευαίσθητοι καθώς και στην εφαρμογή περιβαλλοντικής νομοθεσίας από την κυβέρνηση. Λόγω της φθίνουσας χωρητικότητας των χωματερών, ορισμένες κυβερνήσεις έχουν επίσης εγκρίνει νέα νομοθετήματα σχετικά με το περιβάλλον.

Οι πιο σημαντικές ανησυχίες που εκφράζονται αφορούν τον τρόπο προστασίας του περιβάλλοντος από τη μόλυνση που προκαλείται από επικίνδυνα απόβλητα, τη μεγιστοποίηση της αξίας που εξάγεται από τα χρησιμοποιημένα προϊόντα και τη μείωση της ποσότητας των επικίνδυνων αποβλήτων που παράγονται. Η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας (CE), είναι ένας τρόπος να λυθούν αυτά τα προβλήματα και η ανθρωπότητα να μπορέσει να προχωρήσει προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον. Ο στόχος της CE είναι να εγκαινιάσει έναν νέο κύκλο οικονομίας στον οποίο τα εμπορεύματα που έχουν φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους μετατρέπονται σε πόρους για την επόμενη γενιά αγαθών. Η κυκλική οικονομία βασίζεται στην έννοια του "make-remake-use-return", σε αντίθεση με τη γραμμική μέθοδο, η οποία βασίζεται στο "take-make-use-dispose". Η κυκλική οικονομία ενθαρρύνει τη μείωση των απορριμμάτων μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανακατασκευής υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Λόγω των πολυάριθμων εγγενών πλεονεκτημάτων, η CE έχει λάβει μια αυξανόμενη προσοχή από την επιστημονική κοινότητα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου, επίσης γνωστή ως CLSC, μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη των στόχων της κυκλικής οικονομίας. Η CLSC (Close Loop Supply Chain) αναφέρεται στον σχεδιασμό, τον έλεγχο και τη λειτουργία ενός συστήματος για τη μεγιστοποίηση της δημιουργίας αξίας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος με δυναμική ανάκτηση αξίας από διαφορετικούς τύπους και όγκους επιστροφών με την πάροδο του χρόνου. Ο όρος CLSC είναι ένας γενικός όρος που ενσωματώνει τον συνδυασμό διαδικασιών ανακατασκευής, ανακαίνισης και ανακύκλωσης και αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για επιχειρήσεις που παράγουν αγαθά που μπορούν να ανακατασκευαστούν ή να ανακαινιστούν.

Η CLSC δίνει έμφαση στην ανακύκλωση υλικών από προηγούμενα χρησιμοποιημένα προϊόντα, η οποία συμβάλλει στη μείωση της ποσότητας νέων, μη επεξεργασμένων υλικών που χρησιμοποιούνται, συμβάλλοντας στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Η CLSC είναι σε θέση να βοηθήσει στην επίτευξη ταυτόχρονων υψηλών επιπέδων οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής απόδοσης και έχει δει ευρεία εφαρμογή, ιδιαίτερα στον επιχειρηματικό τομέα των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου περίπου 73.000 επιχειρήσεις έχουν δημιουργήσει διαδικασίες ανακατασκευής. Η ανακύκλωση, η ανακατασκευή και η ανακαίνιση είναι μερικές μόνο από τις λειτουργίες που έχουν υιοθετηθεί από διάφορες εταιρείες στον Καναδά και την Ευρώπη.

Η σύγχρονη έρευνα, έχει εστιάσει σε εξαιρετικά σημαντικό βαθμό στις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου, με τον αριθμό των ερευνών που τις αφορούν να αυξάνεται διαρκώς. Όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα, ο αριθμός των άρθρων τα οποία αφορούν τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου και ανεβαίνουν στο google scholar, αυξάνεται διαρκώς κατά 1% με 2%:





**Άρθρα για τις αλυσίδες κλειστού βρόγχου μεταξύ των ετών 2017 και 2022 στο Google Scholar — (σχήμα 1)**

Αντίστοιχη άνοδος, παρατηρείται και στο science direct, δείχνοντας και εκεί σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών για το συγκεκριμένο ζήτημα:



**Άρθρα για τις αλυσίδες κλειστού βρόγχου μεταξύ των ετών 2017 και 2022 στο Scindedirect— (σχήμα 2)**

Η αύξηση αυτή, όσον αφορά τις δημοσιεύσεις που αφορούν τη διαχείριση αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόγχου, παρατηρείται και στην πλατφόρμα ResearchGate:



**Άρθρα για τις αλυσίδες κλειστού βρόγχου μεταξύ των ετών 2017 και 2022 στο Researchgate— (σχήμα 3)**

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση σύγχρονων ερευνών να εξετάσει ποιες είναι οι επικρατέστερες τάσεις στον τομέα της μοντελοποίησης συστημάτων εφοδιαστικής κλειστού βρόγχου και να παρουσιάσει τα οφέλη τους για την κυκλική οικονομία. Για την επίτευξη των στόχων, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά και εγκεκριμένες πλατφόρμες εντοπισμού ερευνών, όπως το Google Scholar και το Science Direct, με συγκεκριμένες λέξεις κλειδιά και έχοντας ως στόχο την ανάδειξη όσο το δυνατόν περισσότερων προτάσεων. Η εργασία δομείται σε τρία κεφάλαια και αναπτύσσεται με τη μέθοδο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, περνώντας από μία ευρύτερη παρουσίαση των εννοιών της κυκλικής οικονομίας και της εφοδιαστικής αλυσίδας, στην εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου και συγκεκριμένα, στις μελέτες μοντελοποίησης που έχουν προταθεί από πλήθος ερευνητών κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

## **Κεφάλαιο 1: Η βιωσιμότητα και οι σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο**

### **1.1.Η έννοια της βιωσιμότητας**

Όλο και περισσότεροι άνθρωποι συνειδητοποιούν ότι η αύξηση της κατανάλωσης υλικών, σε συνδυασμό με τα αυξανόμενα ποσοστά σπανιότητας πόρων και σπατάλης πόρων, είναι υπεύθυνα για εκτεταμένη περιβαλλοντική ζημιά και θέτει σε κίνδυνο το μέλλον της ανθρωπότητας (Pegels, 2020).

Οι πόροι εγείρουν ερωτήματα σχετικά με τη βιωσιμότητα του υπάρχοντος οικονομικού μας συστήματος, το οποίο είναι κυρίως γραμμικό. Σε ένα γραμμικό μοντέλο κατανάλωσης πόρων, νέοι πόροι εξάγονται συνεχώς και χρησιμοποιούνται ως εισροές για την παραγωγή αγαθών. Μόλις αυτά τα αγαθά φτάσουν στο τέλος της παραγωγικής τους χρήσης, αφαιρούνται από τον κύκλο και απορρίπτονται. Για να παραμείνει η ανθρώπινη δραστηριότητα εντός των βιώσιμων ορίων, η οικονομική δραστηριότητα πρέπει να αποσυνδεθεί από την εξόρυξη πόρων και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και πρέπει να υπάρχει σημαντική αύξηση στην αποτελεσματικότητα με την οποία χρησιμοποιούνται οι πόροι (Altenburg & Rodrik, 2017; OECD, 2019).

Σε αυτό το πλαίσιο, η ιδέα μιας κυκλικής οικονομίας, γνωστής και ως CE, κερδίζει γρήγορα την προσοχή ως ένας τρόπος αποσύνδεσης της οικονομικής ανάπτυξης από τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων. Η ανακύκλωση, και η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων και υλικών, εκτός από το σχεδιασμό προϊόντων που χρησιμοποιούν λιγότερα υλικά και λιγότερους πόρους, αποτελούν μέρος του σχεδίου της πρωτοβουλίας για μείωση της ποσότητας απορριμμάτων που παράγονται. Τα απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε πόρους καθώς και σε εισροή για παραγωγή όταν ανακυκλώνονται. Αυτή η μέθοδος εξετάζει το σύνολο του κύκλου ζωής ενός πόρου, ξεκινώντας από την εξόρυξη των πρώτων υλών του και συνεχίζοντας μέχρι τα στάδια σχεδιασμού, κατασκευής και κατανάλωσης της ανάπτυξης του προϊόντος, καθώς και δραστηριότητες διαχείρισης απορριμμάτων όπως συλλογή και ανακύκλωση. Υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις για τη μείωση της κατανάλωσης πόρων: η πρώτη είναι η χρήση λιγότερου υλικού βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των πόρων και την πρόληψη της σπατάλης μέσω βελτιωμένου οικολογικού σχεδιασμού προϊόντων και διαδικασιών, η δεύτερη είναι η χρήση υλικών περισσότερες από μία φορές αυξάνοντας τη χρήση δευτερογενών πρώτων υλών μέσω βελτιωμένης επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της κατανάλωσης πόρων (Neligan, 2016; Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company, 2014).

Η ιεραρχία της βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων δίνει προτεραιότητα στη μείωση των αποβλήτων, στην επαναχρησιμοποίηση υπάρχοντων υλικών, στην ανακύκλωση υπάρχοντων υλικών και στην ανάκτηση απορριμμάτων, με αυτή τη σειρά, έναντι της διάθεσης των απορριμμάτων. Η διάθεση των απορριμμάτων έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια οικονομικής αξίας που σχετίζεται με τα απόβλητα, η οποία, ανεβάζοντας την ιεραρχία, συνεπάγεται την επανεισαγωγή πόρων στην οικονομία (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018). Ελλείψει κοινωνιών που δεν παράγουν απόβλητα, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για περιβαλλοντικά υπεύθυνες μεθόδους διαχείρισης και ανακύκλωσης απορριμμάτων. Δίνεται μεγάλη έμφαση στην ιδέα της βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων, η οποία επιδιώκει να μεγιστοποιήσει την ανάκτηση επαναχρησιμοποιήσιμων και ανακυκλώσιμων υλικών και, με τον τρόπο αυτό, προστατεύει τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον (Medina, 2010).

Στόχος της βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων είναι, εκτός από τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των αποβλήτων, να καταστήσει τη διαδικασία διαχείρισης των απορριμμάτων πιο φιλική προς το περιβάλλον (Pegels, 2020).

Οι εργαζόμενοι στα απόβλητα στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι συχνά ανοργάνωτοι φορείς που ζουν στο όριο της φτώχειας ή κάτω από αυτό και δεν έχουν πρόσβαση σε προστατευτικό εξοπλισμό. Ενώ οι νόμοι και οι κανονισμοί για την προστασία της εργασίας για την εργασία στον τομέα των απορριμμάτων είναι σχετικά προηγμένοι στην πλειονότητα των βιομηχανικών χωρών, αυτοί οι νόμοι και οι κανονισμοί γενικά λείπουν στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ως εκ τούτου, η εξέταση της κοινωνικής πτυχής της βιωσιμότητας έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία στο πλαίσιο των εννοιών που διέπουν τις κυκλικές οικονομίες στις αναπτυσσόμενες χώρες.

### **1.1.1.Κυκλική Οικονομία**

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, τόσο οι επιχειρηματίες στην πράξη όσο και οι οικονομολόγοι στον ακαδημαϊκό χώρο εργάζονται για να αναπτύξουν την ιδέα μιας κυκλικής οικονομίας (Ίδρυμα Ellen MacArthur, 2013). Παρόλο που η κυκλική οικονομία αποτελεί αντικείμενο μεγάλου αριθμού ερευνητικών εργασιών και συζητείται ευρέως τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο τομέα, υπάρχουν πολλά διαφορετικά σκέλη έρευνας που ακολουθούν ποικίλες προσεγγίσεις για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Αρκετές σχολές σκέψης, συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανικής οικολογίας, της οικονομίας απόδοσης και της έρευνας για το προϊόν, βοήθησαν να τελειοποιηθεί και να αναπτυχθεί η γενική έννοια της κυκλικής οικονομίας (Ίδρυμα Ellen MacArthur, 2013).

Ο όρος «κυκλική οικονομία» δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως μέχρι τη δεκαετία του 1970. Το 1981, ο Stahel και ο Reday παρουσίασαν ένα πρώιμο όραμα μιας κυκλικής ή οικονομίας βρόγχου, προτείνοντας ότι οι πόροι μπορούν, σε κάποιο βαθμό, να αντικαταστήσουν το ανθρώπινο δυναμικό μέσω της διαδικασίας επισκευής και επαναχρησιμοποίησης προϊόντων (Pegels, 2020).

Σε στενή σύνδεση με τον τομέα της βιομηχανικής οικολογίας, οι Braungart και McDonough (2002) συνέχισαν να αναπτύσσουν το πλαίσιο, το οποίο είναι μια νέα προσέγγιση στο σχεδιασμό προϊόντων. Το πλαίσιο δίνει έμφαση στο σχεδιασμό προϊόντων που είναι αποτελεσματικά όσον αφορά τον θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Υπήρξε μια σημαντική έλλειψη προσπάθειας για την εφαρμογή της έννοιας της κυκλικής οικονομίας στις αναπτυσσόμενες και αναδυόμενες οικονομίες, παρά το γεγονός ότι η κυκλική οικονομία αναδείχθηκε και επεκτάθηκε γρήγορα ως κυρίαρχη αφήγηση και πολιτική επιταγή στην Ευρώπη και στις χώρες υψηλού εισοδήματος. αλλού στον κόσμο (Βελής, 2017). Αν και η CE δίνει έμφαση στον επανασχεδιασμό των διαδικασιών και στην ανακύκλωση υλικών, τα οποία μπορεί να συμβάλλουν σε πιο βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα, σπάνια περιλαμβάνει την κοινωνική ή, πιο συγκεκριμένα, τη διάσταση της φτώχειας που είναι εγγενής στη βιώσιμη ανάπτυξη (Murray, Skene, & Haynes, 2017). Ενώ το CE δίνει έμφαση στον επανασχεδιασμό των διαδικασιών και στην ανακύκλωση υλικών, τα οποία και τα δύο μπορούν να συμβάλλουν σε πιο βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Υπάρχει άμεση ανάγκη για κοινωνικά προσαρμοσμένα μοντέλα κυκλικής οικονομίας σε έθνη με ομάδες χαμηλού εισοδήματος που βασίζονται στην αστική ανακύκλωση για τα μέσα επιβίωσής τους (Gutberlet, Carenzo, Kain, & Mantovani Martiniano de Azevedo, 2017; Gutberlet & Carenzo, 2020).

Είναι απολύτως απαραίτητο να παρέχεται σταθερή κατανόηση των παραγόντων κατά μήκος του βρόγχου της κυκλικής οικονομίας προκειμένου να αναπτυχθούν για προσαρμοσμένα

μοντέλα. Η συζήτηση επικεντρώνεται συχνά στις τεχνολογικές εξελίξεις, οι οποίες περιστασιακά οδηγούν στην ανάπτυξη σχεδίων συστημάτων που καθοδηγούνται από την υποδομή και όχι από τα κοινωνικά πλαίσια. Αυτή η αναντιστοιχία μπορεί να οδηγήσει τόσο σε κοινωνικό κόστος όσο και σε υψηλά ποσοστά απορριμμάτων που απορρίπτονται μετά την ολοκλήρωση του κύκλου των υλικών (Chaturvedi, Guarev, & Gupta, 2017; Velis, 2017). Επιπλέον, αγνοεί το θετικό κοινωνικό δυναμικό μιας βιομηχανίας διαχείρισης απορριμμάτων που τυγχάνει αποτελεσματικής διαχείρισης. (Binion & Gutberlet, 2012) Η ανάκτηση πόρων μπορεί να δημιουργήσει θέσεις εργασίας για ανειδίκευτους εργάτες, να μειώσει τη φτώχεια και να μειώσει τις δημοτικές δαπάνες για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, εκτός από τη διατήρηση των φυσικών πόρων. Οι αστικοί ανακυκλωτές μπορούν να εξαγάγουν τα στερεά απόβλητα ως πόρο, πηγή εισοδήματος και, επομένως, ως μέσο διατήρησης του βιοπορισμού (Medina, 2008). Ως εκ τούτου, οι ανακυκλωτές, πολλοί από τους οποίους λειτουργούν σε άτυπη βάση, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα συστήματα διακυβέρνησης των αστικών απορριμμάτων των αναπτυσσόμενων και των αναδυόμενων χωρών. Είναι σε θέση να βελτιώσουν τη διαπραγματευτική τους ισχύ με τη βιομηχανία και την κυβέρνηση, να ενισχύσουν την ένταξή τους στην αλυσίδα αξίας της ανακύκλωσης και να οδηγήσουν νέες μορφές της επιχειρηματικότητας και της καινοτομίας εάν οργανωθούν μέσω συνεταιρισμών (Medina, 2008; Gregson, Crang, Fuller, & Holmes, 2015; Gutberlet & Carenzo, 2020). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την οργάνωση, όπως μέσω συνεταιρισμών. Ωστόσο, οι συνθήκες εργασίας είναι συχνά ασταθείς επειδή δεν υπάρχει ούτε οργάνωση ούτε υποστήριξη πολιτικής που να στοχεύει συγκεκριμένα (Pegels, 2020).

## **1.2.Βιώσιμοι στόχοι ανάπτυξης, ενίσχυση και χρηματοδότηση σε ευρωπαϊκό επίπεδο**

Η Πράσινη Ευρωπαϊκή Συμφωνία βασίζεται σε ένα επενδυτικό στοιχείο που είναι γνωστό ως Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας (EGDIP), ή Επενδυτικό Σχέδιο για την Αειφόρο Ευρώπη (SEIP). Κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα ετών, το Σχέδιο θα συγκεντρώσει βιώσιμες επενδύσεις αξίας τουλάχιστον ενός τρισεκατομμυρίου ευρώ προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία. Ένα μέρος του σχεδίου που ονομάζεται Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης θα προσανατολιστεί προς την επίτευξη μιας δίκαιης μετάβασης σε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον οικονομία. Θα κινητοποιήσει επενδύσεις τουλάχιστον εκατό δισεκατομμυρίων ευρώ κατά τη διάρκεια των ετών 2021-2027, προκειμένου να παράσχει στήριξη στους εργαζόμενους και τους κατοίκους των περιοχών που θα επηρεαστούν περισσότερο από τη μετάβαση (Euroopa, 2022).

Το Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας επικεντρώνεται κυρίως στους ακόλουθους τρεις στόχους:

Πρώτον, θα αυξήσει τα κονδύλια για τη μετάβαση και θα κινητοποιήσει τουλάχιστον ένα τρισεκατομμύριο ευρώ την επόμενη δεκαετία για την προώθηση βιώσιμων επενδύσεων μέσω του προϋπολογισμού της ΕΕ και άλλων μέσων, κυρίως του InvestEU.

Δεύτερον, θα αναπτύξει ένα πλαίσιο που θα επιτρέπει στους ιδιώτες επενδυτές και στον δημόσιο τομέα να ενθαρρύνουν βιώσιμες επενδύσεις. Τρίτον, θα παρέχει βοήθεια στις δημόσιες διοικήσεις και τους φορείς υλοποίησης έργων στη διαδικασία εύρεσης, διάρθρωσης και υλοποίησης βιώσιμων έργων.

Προκειμένου να χρηματοδοτηθεί επαρκώς η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, θα απαιτηθούν συνεισφορές από τον προϋπολογισμό της ΕΕ, μεμονωμένα κράτη μέλη και ιδιώτες φορείς. Δεν είναι δυνατόν ο προϋπολογισμός της ΕΕ να επαρκεί από μόνος του για την καταπολέμηση της

κλιματικής αλλαγής ή την κάλυψη των τεράστιων παγκόσμιων επενδυτικών αναγκών (Euroora, 2022).

Ο επόμενος πολυετής προϋπολογισμός για την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) θα διαρκέσει επτά χρόνια, από το 2021 έως το 2027, και θα πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις για την επιδίωξη στόχων που σχετίζονται με το κλίμα και το περιβάλλον. Η Επιτροπή πρότεινε να διατεθεί το είκοσι πέντε τοις εκατό του συνολικού προϋπολογισμού της για τη δράση για το κλίμα και τις δαπάνες για το περιβάλλον σε διάφορα προγράμματα (π.χ. Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης, Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Εγγυήσεων, Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Ταμείο Συνοχής, Horizon Europe και Ταμεία ζωής). Λαμβάνοντας υπόψη τα πάντα και προβάλλοντάς τα για τα επόμενα επτά έως δέκα χρόνια, καθώς και κάνοντας την υπόθεση ότι ο στόχος για το κλίμα που τέθηκε για μετά το 2027 θα τηρηθεί, ο προϋπολογισμός της ΕΕ θα συνεισφέρει 503 δισεκατομμύρια ευρώ στο Ευρωπαϊκό Πράσινο Επενδυτικό σχέδιο συμφωνίας. Αυτό θα οδηγήσει σε αυξημένη κρατική συγχρηματοδότηση για πρωτοβουλίες για το κλίμα και το περιβάλλον ύψους περίπου 114 δισεκατομμυρίων ευρώ κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού πλαισίου.

Κατά την περίοδο 2021-2030, η InvestEU θα είναι υπεύθυνη για τη μόχλευση περίπου 279 δισεκατομμυρίων ευρώ εταιρικών και κυβερνητικών επενδύσεων που σχετίζονται με το κλίμα και το περιβάλλον. Θα παρέχει εγγύηση χρηματοδότησης για την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία θα επιτρέπει στον Όμιλο της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων και σε άλλους εταίρους υλοποίησης να συμμετέχουν σε περισσότερα έργα με υψηλότερους κινδύνους, προσελκύοντας έτσι ιδιώτες επενδυτές (Euroora, 2022).

Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης θα κινητοποιήσει επενδύσεις τουλάχιστον 100 δισ. ευρώ την περίοδο 2021-2027, με χρηματοδότηση από τον προϋπολογισμό της ΕΕ, συγχρηματοδότηση από τα κράτη μέλη, καθώς και συνεισφορές από την InvestEU και την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων. Αυτό θα διασφαλίσει ότι κανείς δεν θα μείνει πίσω στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (ΕΤΕπ). Όταν προβλεφθεί σε μια περίοδο δέκα ετών, ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης αναμένεται να συγκεντρώσει περίπου 143 δισεκατομμύρια ευρώ.

Τέλος, τα ταμεία Καινοτομίας και Εκσυγχρονισμού, τα οποία δεν αποτελούν μέρος του προϋπολογισμού της ΕΕ αλλά χρηματοδοτούνται από ένα μέρος των εσόδων από ένα βασικό εργαλείο πολιτικής - τον πλειστηριασμό δικαιωμάτων άνθρακα στο πλαίσιο του συστήματος εμπορίας εκπομπών της ΕΕ - θα παρέχουν περίπου 25 δισ. ευρώ για τη μετάβαση της ΕΕ στην κλιματική ουδετερότητα, με ιδιαίτερη έμφαση στα κράτη μέλη με χαμηλότερο εισόδημα στην περίπτωση του Ταμείου Εκσυγχρονισμού. Συνολικά, τα κονδύλια θα παράσχουν περίπου 50 δισεκατομμύρια ευρώ για τη μετάβαση της ΕΕ στο κλίμα (Euroora, 2022).

Η σύσταση που έκανε η Επιτροπή για τον επερχόμενο μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό 2021-2027 χρησιμεύει ως βάση για το Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας. Θα ισχύει για επτά χρόνια και θα κινητοποιήσει το είκοσι πέντε τοις εκατό του προϋπολογισμού της ΕΕ για χρηματοδότηση για το κλίμα. Επιπλέον, θα επενδύσει σε περιβαλλοντικούς στόχους μέσω μιας σειράς διαφορετικών προγραμμάτων της ΕΕ. Τα στατιστικά στοιχεία έχουν προεκταθεί για να καλύπτουν μια περίοδο δέκα ετών, ωστόσο αυτό δεν επηρεάζει την έκβαση των διαπραγματεύσεων για τον επόμενο μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό που θα ακολουθήσει το 2027.

Επιπλέον, το Σχέδιο βασίζεται στις οικονομικές συνεισφορές που έχουν κάνει οι εθνικές κυβερνήσεις σε προγράμματα της ΕΕ, καθώς και στις δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις που έχουν διευκολυνθεί μέσω του InvestEU και των ταμείων ETS (Ταμεία Εκσυγχρονισμού και Καινοτομίας).

Η σύσταση που έκανε η Επιτροπή το 2018 για τον μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό θα συμπληρωθεί με πρόσθετη χρηματοδότηση ύψους 7,5 δισ. ευρώ από τον προϋπολογισμό της ΕΕ, η οποία θα διατεθεί στο Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης (Europa, 2022).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δεσμευτεί να ενθαρρύνει επενδύσεις συνολικού ύψους τουλάχιστον ενός τρισεκατομμυρίου ευρώ κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας, προκειμένου να υποστηρίξει μια δίκαιη και φιλική προς το περιβάλλον μετάβαση. Από αυτή την άποψη, το InvestEU θα είναι εξαιρετικά σημαντικό. Η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων θα συμβάλει επίσης σε αυτόν τον στόχο ως μέρος του προγράμματος InvestEU. Αυτή η συνεισφορά θα περιλαμβάνει χρηματοδότηση για το ειδικό πρόγραμμα δίκαιης μετάβασης που είναι ο πυλώνας 2 του μηχανισμού δίκαιης μετάβασης, καθώς και χρηματοδότηση για τον πυλώνα 3 του μηχανισμού με τη μορφή δανειακής διευκόλυνσης για τον δημόσιο τομέα. Αναμένεται ότι η συνεισφορά της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων στο Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας θα ανέλθει σε περίπου 250 δισεκατομμύρια ευρώ όσον αφορά τις επενδύσεις που κινητοποιούνται σύμφωνα με τις εντολές της ΕΕ (δηλαδή βάσει των μέσων της ΕΕ και μέσω του προϋπολογισμού της ΕΕ).

Επιπλέον, η ΕΤΕπ δήλωσε ότι θα αυξήσει τη δέσμευσή της για το κλίμα από το υπάρχον 25 τοις εκατό σε 50 τοις εκατό μέχρι το έτος 2025. Αυτό θα οδηγήσει σε επενδύσεις συνολικής αξίας ενός τρισεκατομμυρίου ευρώ κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας.

Τον Ιούνιο του 2018, προτάθηκε ότι το Πρόγραμμα InvestEU θα συμπεριληφθεί στον επερχόμενο μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό της Ε.Ε. Αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο του Ευρωπαϊκού Επενδυτικού Σχεδίου Πράσινης Συμφωνίας καθώς και σημαντικό συμπληρωματικό στοιχείο.

Τουλάχιστον το τριάντα τοις εκατό του κεφαλαίου που συγκεντρώνει η InvestEU θα διατεθεί σε έργα που αφορούν το περιβάλλον και το κλίμα. Επιπλέον, συμβάλλει στον Μηχανισμό Δίκαιης Μετάβασης εισάγοντας ένα νέο εξειδικευμένο πρόγραμμα InvestEU με στόχο τη συγκέντρωση βιώσιμων επενδύσεων αξίας 45 δισ. ευρώ στις περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο από τις δυσκολίες της μετάβασης. Το InvestEU θα διαδραματίσει επίσης σημαντικό ρόλο στην προώθηση πρακτικών βιωσιμότητας μεταξύ των δημοσίων και ιδιωτικών χρηματοδότην και των υποστηρικτών έργων, θέτοντας πρότυπα για την παρακολούθηση των επενδύσεων που σχετίζονται με το κλίμα και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων των έργων (Europa, 2022).

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, η πρωτοβουλία InvestEU, μέσω του συμβουλευτικού κόμβου InvestEU, θα προσφέρει υποστήριξη με τη μορφή συμβουλευτικών υπηρεσιών και τεχνικής βοήθειας. Θα βοηθήσει τους δημοτικούς και ιδιωτικούς φορείς υλοποίησης έργων στον εντοπισμό πράσινων επενδυτικών πρωτοβουλιών, στην ανάπτυξη τέτοιων έργων και στην εφαρμογή τους. Ταυτόχρονα, η πύλη InvestEU θα συνεχίσει να παρέχει μια δωρεάν, διαδικτυακή πλατφόρμα φιλική προς τον χρήστη, προσφέροντας ορατότητα σε επιχειρήσεις και φορείς υλοποίησης έργων της ΕΕ που αναζητούν χρηματοδότηση, καθώς και ευκαιρίες δικτύωσης με επενδυτές από όλο τον κόσμο.

Τα έργα που χρηματοδοτούνται μέσω του Ευρωπαϊκού Επενδυτικού Σχεδίου Πράσινης Συμφωνίας θα συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, στην ανάδυση νέων βιομηχανιών που εστιάζουν στην καθαρή ενέργεια και την κυκλική οικονομία και θα δημιουργήσουν θέσεις εργασίας υψηλής ποιότητας για μια ανταγωνιστική οικονομία στην Ευρώπη που είναι κατάλληλη για τον 21ο αιώνα.

Μια μεγάλη ποικιλία έργων θα έχει πρόσβαση σε εξατομικευμένη χρηματοδότηση χάρη στα κεφάλαια και τα προγράμματα που συμβάλλουν στη συμβολή στο Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας. Μερικά παραδείγματα αυτών των κεφαλαίων και προγραμμάτων είναι το InvestEU και το Just Transition Fund. Μέσω της χρήσης εξειδικευμένων προγραμμάτων

και αγαθών, τόσο μικρότερα έργα (όπως η ενεργειακή ανακαίνιση μεμονωμένης κατοικίας) όσο και μεγαλύτερα έργα (όπως η κατασκευή δικτύου σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων) θα έχουν την ευκαιρία να αποκομίσουν κέρδος. Το ποσό της χρηματοδοτικής ενίσχυσης που παρέχεται για επενδύσεις θα τροποποιηθεί ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου που ενέχουν μεμονωμένα έργα (Europa, 2022).

Το είδος των έργων που θα μπορούσαν να υποστηριχθούν στο πλαίσιο του InvestEU ως μέρος του Ευρωπαϊκού Επενδυτικού Σχεδίου Πράσινης Συμφωνίας μπορούν να αποκτηθούν με μια ματιά σε ορισμένα παραδείγματα βιώσιμων επενδυτικών σχεδίων που έχουν υποστηριχθεί από το Επενδυτικό Σχέδιο για την Ευρώπη. Τέτοια έργα περιλαμβάνουν τον εκσυγχρονισμό των υπηρεσιών τηλεθέρμανσης στη Βουδαπέστη, την υποστήριξη της εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών σε ιδιωτικές κατοικίες και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των βιομηχανικών επιχειρήσεων στη Λιθουανία και τον εκσυγχρονισμό της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας στο Ζάγκρεμπ. Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης θα επικεντρωθεί στο κοινωνικό και οικονομικό κόστος της μετάβασης στις περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο από αυτόν. Θα χρηματοδοτήσει επίσης έργα που κυμαίνονται από τη δημιουργία νέων χώρων εργασίας μέσω της υποστήριξης σε εταιρείες, της αναζήτησης εργασίας και της βοήθειας για επανεκπαίδευση σε άτομα που αναζητούν εργασία των οποίων η απασχόληση χάθηκε ως αποτέλεσμα της μετάβασης, καθώς και την ανακαίνιση κτιρίων και τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δίκτυα τηλεθέρμανσης και βιώσιμες μεταφορές.

Η δημιουργία ενός αγωγού επενδυτικών σχεδίων που να είναι σύμφωνα με τους στρατηγικούς στόχους της ΕΕ θα είναι μία από τις πιο δύσκολες πτυχές της εφαρμογής του Ευρωπαϊκού Επενδυτικού Σχεδίου Πράσινης Συμφωνίας. Ο αριθμός των ευκαιριών για τέτοιες επενδύσεις που είναι διαθέσιμες επί του παρόντος δεν επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση. Η βοήθεια στον εντοπισμό και η προετοιμασία βιώσιμων έργων, καθώς και η παροχή οικοδόμησης ικανοτήτων στους φορείς υλοποίησης έργων, θα απαιτήσει βοήθεια με τη μορφή τόσο συμβουλευτικής υποστήριξης όσο και τεχνικής βοήθειας σε όλα τα επίπεδα της δημόσιας διοίκησης.

Ως στοιχείο αυτών των προσπαθειών, το Πρόγραμμα Υποστήριξης Διαρθρωτικών Μεταρρυθμίσεων θα προσφέρει στα κράτη μέλη τη βοήθεια και την καθοδήγηση που απαιτούνται για να σχεδιάσουν και να θέσουν σε εφαρμογή μεταρρυθμίσεις που θα προωθήσουν την οικονομική επέκταση. Στο επίπεδο του φορέα υλοποίησης του έργου, ο συμβουλευτικός κόμβος InvestEU και οι συμβουλευτικές πρωτοβουλίες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος InvestEU θα παρέχουν υποστήριξη για τον προσδιορισμό, προετοιμασία, ανάπτυξη, διάρθρωση και προμήθεια επενδυτικών σχεδίων, καθώς και την υλοποίηση των έργων αυτών. Επιπλέον, η Επιτροπή θα διασφαλίσει ότι η βοήθεια που παρέχεται στη δημόσια διοίκηση και η βοήθεια που παρέχεται σε κάθε έργο συγχρονίζονται μεταξύ τους.

Όσον αφορά τον μηχανισμό δίκαιης μετάβασης, η Επιτροπή θα παράσχει, στην αρχή, βοήθεια στα κράτη μέλη και τις περιφέρειες προκειμένου να τα βοηθήσει στην προετοιμασία εδαφικών σχεδίων δίκαιης μετάβασης. Μετά από αυτό, μια πλατφόρμα δίκαιης μετάβασης θα χρησιμεύσει για τη δημιουργία του αγωγού έργων στις περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στις δυσκολίες της μετάβασης. Ένα βελτιωμένο και αυστηρό σύστημα υποβολής εκθέσεων και παρακολούθησης, το οποίο θα βασίζεται σε συγκεκριμένες διαδικασίες που έχουν εφαρμοστεί στο πλαίσιο των σχετικών προγραμμάτων, θα στηρίξει την Ένωση στην επιδίωξή της για τους φιλόδοξους κλιματικούς στόχους που έχει θέσει για τον εαυτό της. Με μια ευρύτερη έννοια, η Επιτροπή θα διεξάγει μια Σύνοδο Κορυφής για τις Βιώσιμες Επενδύσεις με όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη κάθε χρόνο. Αυτή θα είναι μια ευκαιρία να γίνει απολογισμός της προόδου



που έχει σημειωθεί σε όλα τα μέτωπα του Επενδυτικού Σχεδίου της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και να προτείνουμε πρόσθετες οδούς για δράση που ενδέχεται να αναληφθούν.

Καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) εργάζεται προς τον στόχο της να είναι κλιματικά ουδέτερη, δεν θα ξεκινήσει κάθε κράτος μέλος ή περιοχή από το ίδιο σημείο. Άλλοι έχουν ακόμη ένα μεγαλύτερο ταξίδι μπροστά τους προτού μπορέσουν να επιτύχουν τους κλιματικούς στόχους. Επιπλέον, η μετατόπιση θα έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο σε ορισμένους τομείς από ό,τι σε άλλους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι θέσεις εργασίας εξαρτώνται από ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, ο λιγνίτης, η τύρφη και ο σχιστόλιθος πετρελαίου ή από βιομηχανικές διεργασίες έντασης άνθρακα που απελευθερώνουν αέρια θερμοκηπίου.

Ο μετασχηματισμός αυτών των τόπων θα είναι απολύτως απαραίτητος προκειμένου να επιτευχθεί ουδετερότητα άνθρακα. Η μετάβαση σε μια πιο φιλική προς το περιβάλλον οικονομία πρέπει να βάλει πρώτα τους ανθρώπους και να δώσει προσοχή στις περιφέρειες, τις βιομηχανίες και τους εργαζόμενους που θα βρεθούν αντιμέτωποι με τις μεγαλύτερες δυσκολίες. Εάν δεν λειτουργεί για όλους, τότε δεν πρόκειται να λειτουργήσει καθόλου (Euroora, 2022).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τη δημιουργία ενός μηχανισμού δίκαιης μετάβασης προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η μετάβαση θα πραγματοποιηθεί με δίκαιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τις ανησυχίες εκείνων των κρατών μελών, των περιφερειών, των επιχειρήσεων και των εργαζομένων που θα επηρεαστούν περισσότερο από αλλαγή. Ο μηχανισμός δίκαιης μετάβασης θα έχει ως στόχο την παροχή στοχευμένης υποστήριξης.

Το Ευρωπαϊκό Επενδυτικό Σχέδιο Πράσινης Συμφωνίας εξετάζει τον τρόπο παροχής βοήθειας για την Πράσινη Συμφωνία στο σύνολό της, ενώ ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης κατευθύνεται κυρίως προς γεωγραφικές περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο από τη μετάβαση. Ο Μηχανισμός Δίκαιης Μετάβασης είναι οργανωμένος με τρόπο που επικεντρώνεται σε αυτούς τους τρεις οικονομικούς πυλώνες:

**Ταμείο Just Transition:** Το νέο Ταμείο θα λάβει τη δική του πίστωση εντός του προϋπολογισμού της ΕΕ, την οποία η Επιτροπή προτείνει να ισούται με 7,5 δισεκατομμύρια ευρώ επιπλέον της πρότασής της για μακροπρόθεσμο προϋπολογισμό. Σε συνδυασμό με την παρουσίαση του Ευρωπαϊκού Επενδυτικού Σχεδίου Πράσινης Συμφωνίας, πραγματοποιήθηκε μια νέα νομοθετική πρόταση που απευθύνεται στο ταμείο. Κάθε ευρώ που συνεισφέρει το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης θα αντιστοιχίζεται με τουλάχιστον 1,5 ευρώ και μέγιστο 3 ευρώ από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο Plus, αντίστοιχα, από τα κράτη μέλη. Αυτοί οι χρηματοδοτικοί πόροι από τον προϋπολογισμό της ΕΕ θα συμπληρωθούν περαιτέρω με εθνική συγχρηματοδότηση σύμφωνα με τους κανονισμούς της στρατηγικής συνοχής (Euroora, 2022). Κατά τη διάρκεια του έτους 2021-2027, η συνολική χρηματοδότηση θα ανέλθει κάπου μεταξύ τριάντα και πενήντα δισεκατομμυρίων ευρώ. Η πλειονότητα των περιουσιακών στοιχείων του ταμείου θα διανεμηθεί με τη μορφή επιχορηγήσεων σε γεωγραφικές περιοχές που είτε έχουν υψηλή συγκέντρωση βιομηχανιών έντασης αερίων θερμοκηπίου είτε φιλοξενούν μεγάλο αριθμό ατόμων που απασχολούνται στην παραγωγή ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας, λιγνίτης, σχιστόλιθος πετρελαίου και τύρφη. Θα βοηθήσει, για παράδειγμα, τους εργαζόμενους να αναπτύξουν δεξιότητες και ικανότητες για την αγορά εργασίας του μέλλοντος και τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ). Επιπλέον, θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη νέων οικονομικών προοπτικών για τη δημιουργία θέσεων εργασίας σε αυτές τις περιοχές. Επιπλέον, θα ενθαρρύνει τις επενδύσεις στη στροφή προς καθαρότερη ενέργεια, όπως αυτές που γίνονται για την ενεργειακή απόδοση.

Το InvestEU θα χρησιμοποιήσει ένα ειδικό πρόγραμμα δίκαιης μετάβασης για να συμβάλει στην εισαγωγή νέων επενδύσεων έως και 45 δισεκατομμυρίων ευρώ. Θα ενθαρρύνει τις ιδιωτικές επενδύσεις που είναι προς όφελος αυτών των περιοχών και θα βοηθήσει αυτές τις οικονομίες να βρουν νέους δρόμους για επέκταση. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να

περιλαμβάνει προγράμματα για απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές, οικονομική διαφοροποίηση των περιοχών, ενεργειακή υποδομή, υποδομή μεταφορών και κοινωνική υποδομή. Το σχέδιο θα λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές που ορίζουν το InvestEU, πράγμα που σημαίνει ότι ένα ποσοστό της χρηματοδότησης που εμπίπτει στο InvestEU θα κατευθυνθεί προς τους στόχους μιας δίκαιης μετάβασης. Η πίστωση περίπου 1,8 δισ. ευρώ από τον προϋπολογισμό της ΕΕ για το πρόγραμμα InvestEU ισοδυναμεί με τον στόχο δημιουργίας επενδύσεων έως και 45 δισ. ευρώ.

Ο σκοπός αυτής της δανειοδοτικής διευκόλυνσης του δημόσιου τομέα με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων, η οποία χρηματοδοτείται από τον προϋπολογισμό της ΕΕ, είναι να κινητοποιήσει επενδύσεις αξίας μεταξύ 25 και 30 δισεκατομμυρίων ευρώ. Τα δάνεια με ευνοϊκούς όρους προς το δημόσιο τομέα, όπως επενδύσεις σε υποδομές ενέργειας και μεταφορών, δίκτυα τηλεθέρμανσης, αποκατάσταση ή μόνωση κτιρίων κ.λπ. και ούτω καθεξής, θα καταστούν δυνατά με τα έσοδα αυτής της πώλησης. Η χρηματοδότηση της δανειακής διευκόλυνσης θα προέλθει από δέσμευση 1,5 δισ. ευρώ από τον προϋπολογισμό της ΕΕ και δανεισμό 10 δισ. ευρώ από την ΕΤΕπ κατά την κρίση της τράπεζας (Eurora, 2022).

Αφού εγκριθούν τα σχέδια από την Επιτροπή, θα διατεθούν ειδικά χρήματα από το Ταμείο Just Transition (πυλώνας 1 του Μηχανισμού Just Transition), καθώς και από το InvestEU (πυλώνας 2) και τη δανειοδοτική διευκόλυνση του δημόσιου τομέα που διαχειρίζεται η ΕΤΕπ. πυλώνας 3). Έργα σε περιφέρειες που έχουν εγκριθεί στο σχέδιο δίκαιης μετάβασης ή έργα που ωφελούν άμεσα αυτές τις περιφέρειες (ακόμα και αν δεν είναι που βρίσκονται στις ίδιες τις περιφέρειες), είναι επιλέξιμοι να επωφεληθούν από το ειδικό πρόγραμμα InvestEU και τη δανειακή διευκόλυνση του δημόσιου τομέα, αλλά μόνο εάν η χρηματοδότηση εκτός των εδαφών δίκαιης μετάβασης υποστηρίζει τη μετάβασή τους.

Η κατανομή των χρηματοδοτικών μέσων του Ταμείου Δίκαιης Μετάβασης θα αντικατοπτρίζει την ικανότητα των κρατών μελών να χρηματοδοτούν επενδύσεις που είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση της μετάβασης προς την κλιματική ουδετερότητα. Αυτή η μέθοδος διανομής λαμβάνει υπόψη το μέγεθος της μεταβατικής πρόκλησης που θέτουν οι περιοχές με την υψηλότερη ένταση άνθρακα και τις σχετικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου· τις κοινωνικές προκλήσεις που δημιουργούνται από την προοπτική πιθανών απωλειών θέσεων εργασίας στη βιομηχανία, τον πετρελαϊκό σχιστόλιθο, την εξόρυξη άνθρακα και λιγνίτη, καθώς και την παραγωγή τύρφης, και την απαίτηση για μετέπειτα επανεκπαίδευση των εργαζομένων προκειμένου να βρουν απασχόληση· το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης και τη σχετική επενδυτική ικανότητα που διαθέτουν τα κράτη μέλη· και τέλος, το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης και τη σχετική επενδυτική ικανότητα που διαθέτουν τα κράτη μέλη.

Μέσω της χρήσης ενός μηχανισμού μεταφοράς, τα κράτη μέλη θα συμπληρώσουν το χρηματικό ποσό που τους χορηγείται από το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης με κεφάλαια που λαμβάνονται από τις ποσοστώσεις τους στο Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και στο Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο Plus. Σύμφωνα με τους κανονισμούς της πολιτικής συνοχής, θα παρέχουν επίσης εθνικούς πόρους με τη μορφή συγχρηματοδότησης για να συμπληρώσουν αυτούς που παρέχει η Ένωση. Η κατηγορία της περιφέρειας στην οποία εμπίπτουν τα εδάφη που έχουν χαρακτηριστεί θα καθορίσει το επίπεδο συγχρηματοδότησης που θα παράσχει η Ένωση για αυτές τις περιοχές. Ως αποτέλεσμα, οι συνολικοί πόροι που διατίθενται στο Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης θα αυξηθούν σε εύρος μεταξύ 30 και 50 δισεκατομμυρίων ευρώ (Eurora, 2022).

Στο πλαίσιο του Invest EU θα εφαρμοστεί ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα δίκαιης μετάβασης, το οποίο θα συμπληρώσει την υποστήριξη που προσφέρεται μέσω του Ταμείου Just Transition. Αυτό το πρόγραμμα θα βοηθήσει μια ευρύτερη ποικιλία επενδύσεων, κυρίως βοηθώντας στη μετάβαση παρέχοντας οικονομική βοήθεια σε δραστηριότητες με χαμηλές

εκπομπές άνθρακα και ανθεκτικές στο κλίμα. Μερικά παραδείγματα αυτού του είδους δραστηριοτήτων περιλαμβάνουν επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και προγράμματα που βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση. Αυτό το πρόγραμμα θα μπορεί επίσης να παρέχει χρηματοδότηση για υποδομές ενέργειας και μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών φυσικού αερίου και της τηλεθέρμανσης, καθώς και για έργα απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές, οικονομική διαφοροποίηση των περιφερειακών οικονομιών και κοινωνικές υποδομές. Επιπλέον, μια νέα πιστωτική διευκόλυνση του δημόσιου τομέα θα παρέχει επιδοτούμενη χρηματοδότηση στις τοπικές αρχές προς όφελος των περιοχών που εμπλέκονται. Αυτή η διευκόλυνση θα δημιουργηθεί σε συνεργασία με την ΕΤΕπ. Όχι μόνο το πρόγραμμα InvestEU και η δανειοδοτική διευκόλυνση του δημόσιου τομέα θα ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε έργα που βρίσκονται σε μόλις μεταβατικές περιοχές, αλλά θα υποστηρίξουν επίσης επενδύσεις σε πρωτοβουλίες που βοηθούν άμεσα τη μετάβαση που συμβαίνει σε αυτές τις περιοχές (Europa, 2022).

### **1.2.1. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία και Βιωσιμότητα: Η Βιώσιμη Ευρωπαϊκή Εφοδιαστική Αλυσίδα**

Το 2011, λίγο μετά την επικύρωση των Κατευθυντήριων Αρχών των Ηνωμένων Εθνών για τις Επιχειρήσεις και τα Ανθρώπινα Δικαιώματα, προτάθηκε για πρώτη φορά η έννοια της πράξης της αλυσίδας εφοδιασμού για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ως μέρος της διαδικασίας εφαρμογής των Κατευθυντήριων Αρχών των Ηνωμένων Εθνών, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο πρότεινε στην Επιτροπή της ΕΕ να αναπτύξει ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού έως το έτος 2021. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια σειρά από αποτελέσματα, ένα από τα οποία ήταν η έγκριση εθνικών σχεδίων δράσης σε εθνικό επίπεδο από 18 κράτη μέλη της ΕΕ, πέρα από μια σειρά μεμονωμένων νομοθετικών μέτρων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Παραδείγματα είναι το γαλλικό «Loi de vigilance» του 2017 ή το γερμανικό «Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten in Lieferketten – Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz», το οποίο εγκρίθηκε για τελευταία φορά το 2021.

Τα ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα έχουν εκπονήσει σχέδια για την ανάπτυξη νομοθετικού πλαισίου για την αλυσίδα εφοδιασμού για την Ευρώπη. Τόσο η προώθηση της λεγόμενης Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, που είναι το πρόγραμμα βιωσιμότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και η πρόληψη πιθανών στρεβλώσεων του ανταγωνισμού στην εσωτερική αγορά που προκαλούνται από την κρατική νομοθεσία είναι οι στόχοι αυτής της πρωτοβουλίας (Campors & Bauer, 2022).

Ως συνέπεια αυτού, ο Επίτροπος Δικαιοσύνης της ΕΕ έκανε μια ανακοίνωση τον Απρίλιο του 2020 σχετικά με ιδέες για μια ολοκληρωμένη πράξη ευρωπαϊκής αλυσίδας εφοδιασμού, η οποία εγκρίθηκε στη συνέχεια από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2020. Με την υποστήριξη της συντριπτικής πλειοψηφίας των μελών του, το Κοινοβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποστήριξε τη νομοθετική πρωτοβουλία ζητώντας από την Επιτροπή να εκπονήσει σχέδιο κανονισμού για τη δέουσα επιμέλεια στην αλυσίδα εφοδιασμού έως τις 10 Μαρτίου 2021 (Campors, 2022).

Όταν το προγραμματισμένο και αδημοσίευτο σχέδιο οδηγίας του Επιτρόπου Δικαιοσύνης απορρίφθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης τον Μάιο του 2021, η νομοθετική διαδικασία εντός της ΕΕ σταμάτησε. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης ζήτησε επίσης να αναθεωρηθεί η νομοθετική πρόταση. Η επιτροπή καταδικάστηκε από τα μέσα ενημέρωσης επειδή επέκρινε το προσχέδιο ως δυσανάλογο. Μεταξύ άλλων, η επιτροπή επέκρινε το προσχέδιο για το εκτεταμένο πεδίο εφαρμογής του, το οποίο περιελάμβανε μια μεγάλη ποικιλία θεμάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, το περιβάλλον, τα

ανθρώπινα δικαιώματα, τα κοινωνικά ζητήματα και την υγεία (Campors & Bauer, 2022). Επιπλέον, η επιτροπή υποστήριξε ότι η προϋπάρχουσα νομοθεσία σε επίπεδο ΕΕ και οι πρωτοβουλίες από τον επιχειρηματικό τομέα δεν έλαβαν επαρκή προσοχή. Ο κανονισμός της ΕΕ για το εμπόριο ξυλείας, ο κανονισμός της ΕΕ για τα ορυκτά συγκρούσεων και η οδηγία ΕΚΕ είναι μερικά παραδείγματα κανονισμών αυτού του είδους. Ωστόσο, αυτή η λίστα δεν είναι εξαντλητική. Στη συνέχεια, το έργο της σύνταξης νέας πρότασης της Επιτροπής δόθηκε όχι μόνο στον Επίτροπο Δικαιοσύνης της ΕΕ αλλά και στον Επίτροπο της ΕΕ για την Εσωτερική Αγορά.

Το σχέδιο της Επιτροπής είναι το πρώτο βήμα στην ευρωπαϊκή νομοθετική διαδικασία. Σε αυτό το βήμα, η Επιτροπή υποβάλλει τη νομοθετική πρόταση στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (το οποίο αποτελείται από βουλευτές των κρατών μελών) και στο Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (το οποίο αποτελείται από αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων όλων των κρατών μελών). Τυχόν προτεινόμενες προσαρμογές, καθώς και η διαδικασία λήψης αποφάσεων που ακολουθεί, υπόκεινται στην επιρροή πολιτικών στόχων. Το τελευταίο βήμα στη διαδικασία είναι τα κράτη μέλη να θέσουν σε ισχύ τη νομοθετική πράξη.

Ο πιο σημαντικές πτυχές του νόμου της ΕΕ για την αλυσίδα εφοδιασμού, σύμφωνα με το προσχέδιο που εκπόνησε η Επιτροπή αφορούν εταιρείες που έχουν περισσότερους από 500 εργαζομένους και έσοδα άνω των 150 εκατομμυρίων ευρώ και θεωρούνται ότι εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της Οδηγίας της ΕΕ για την Εφοδιαστική Αλυσίδα (εταιρείες του Ομίλου 1). Η πιθανότητα πρόκλησης ζημιών σε εταιρείες λαμβάνεται υπόψη στη λεγόμενη κατηγορία Group 2. Σύμφωνα με αυτή την ταξινόμηση, οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε περιοχές έντασης πόρων και έχουν περισσότερους από 250 υπαλλήλους και έσοδα άνω των 40 εκατομμυρίων ευρώ, υποχρεούνται ήδη να συμμορφωθούν με τον νόμο της ΕΕ για την αλυσίδα εφοδιασμού.

Η ενσωμάτωση της προστασίας του κλίματος και του περιβάλλοντος στον κατάλογο δέουσας επιμέλειας αντιπροσωπεύει μια σημαντική επέκταση του νόμου της ΕΕ για την αλυσίδα εφοδιασμού. Ενώ ο γερμανικός νόμος για την αλυσίδα εφοδιασμού ασχολείται πρωτίστως με τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα ανθρώπινα δικαιώματα και αγγίζει μόνο την προστασία του περιβάλλοντος κυκλικά, ο νόμος της ΕΕ για την αλυσίδα εφοδιασμού καθιστά σαφές ότι οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως αυτές που προκαλούνται από την περιβαλλοντική ρύπανση ή μείωση της βιοποικιλότητας, περιλαμβάνονται ρητά στο πεδίο προστασίας που προσφέρει ο νόμος. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη Συμφωνία του Παρισιού, οι εταιρείες του Ομίλου 1 υποχρεούνται να ενσωματώσουν στην εταιρική τους στρατηγική τον στόχο του περιορισμού της αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας στους 1,5 βαθμούς Κελσίου (Campors & Bauer, 2022).

Η ευθύνη για τη διασφάλιση της υλοποίησης και μονη διαχείριση των καθηκόντων φροντίδας, καθώς και η ενσωμάτωση δραστηριοτήτων βιωσιμότητας στο επιχειρηματικό σχέδιο, εναπόκειται στη διοίκηση. Κάθε επιχειρηματική επιλογή πρέπει να αξιολογείται υπό το φως των πιθανών επιπτώσεών της σε θέματα όπως τα ανθρώπινα δικαιώματα και η κλιματική αλλαγή, καθώς και το φυσικό περιβάλλον. Η μεταβλητή αμοιβή των στελεχών θα επηρεαστεί, είτε θετικά είτε αρνητικά, από το επίπεδο επιτυχίας τους στην εκπλήρωση των καθηκόντων δέουσας επιμέλειας.

Σε αντίθεση με τον γερμανικό νόμο περί δέουσας επιμέλειας για την αλυσίδα εφοδιασμού, ο νόμος για την ευρωπαϊκή αλυσίδα εφοδιασμού επιβάλλει την απεριόριστη επιτήρηση του συνόλου της αλυσίδας αξίας. Αυτή η απόφαση ενάντια σε μια στρατηγική που βασίζεται στον κίνδυνο επιβάλλει τεράστιο βάρος παρακολούθησης και γραφειοκρατίας για τις επιχειρήσεις, παρά το γεγονός ότι οι διαδικασίες που προσφέρονται για τη συμμόρφωση με τις

υποχρεώσεις δέουσας επιμέλειας παρουσιάζουν παραλληλισμούς με τον γερμανικό νόμο για την αλυσίδα εφοδιασμού.

Οι παραβάσεις των ευθυνών που σχετίζονται με τη δέουσα επιμέλεια μπορεί να επιφέρουν πρόστιμα, το ύψος των οποίων εξαρτάται από τον κύκλο εργασιών του οργανισμού. Επιτρέπεται επίσης η αστική ευθύνη σε περίπτωση που παραβιάζονται οι ευθύνες δέουσας επιμέλειας. Ωστόσο, δεν είναι ακόμη σαφές εάν ο δασμός μπορεί να μεταβιβαστεί συμβατικά στους προμηθευτές (Campors & Bauer, 2022).

Το επόμενο βήμα είναι το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο να δώσουν τη σφραγίδα έγκρισης του σχεδίου οδηγίας. Μετά από αυτό, τα κράτη μέλη θα πρέπει να επικυρώσουν την οδηγία για να μπορέσει να μεταφερθεί στο εθνικό δίκαιο εντός δύο ετών.

Ο αντίκτυπος, ιδίως στις μικρότερες επιχειρήσεις, θα είναι σημαντικός εάν η προτεινόμενη νομοθεσία εγκριθεί με την τρέχουσα μορφή της και τεθεί σε ισχύ. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πιέζει ώστε η Ευρωπαϊκή Ένωση να αναλάβει ηγετικό ρόλο στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ζητημάτων, και υποστηρίζει αυτόν τον ισχυρισμό με έναν κατάλογο υποχρεωτικών μέτρων που, στην πράξη, συχνά μπορούν να εφαρμοστούν μόνο από μικρές εταιρείες με δυσανάλογο κόστος. Παρόλα αυτά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή καλεί την Ευρωπαϊκή Ένωση να διαδραματίσει ηγετικό ρόλο στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ζητημάτων (Campors, 2022).

## Κεφάλαιο 2: Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλειστού Βρόγχου

### 2.1.0 ορισμός της έννοιας «Εφοδιαστική Αλυσίδα»

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο ατόμων και επιχειρήσεων που εμπλέκονται στην παραγωγή ενός προϊόντος και στην παράδοση αυτού του προϊόντος στον τελικό χρήστη. Όταν το φορτηγό παραδίδει το τελικό προϊόν στον τελικό χρήστη, ο τελευταίος κρίκος της αλυσίδας έχει ολοκληρωθεί. Οι παραγωγοί των πρώτων υλών είναι ο πρώτος κρίκος της αλυσίδας. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια σημαντική διαδικασία για τον απλό λόγο ότι μια αλυσίδα εφοδιασμού που έχει βελτιστοποιηθεί έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος και έναν κύκλο παραγωγής που είναι πιο αποτελεσματικός. Οι επιχειρήσεις εργάζονται συνεχώς για να ενισχύσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τους με την ελπίδα να μειώσουν τα έξοδά τους και να παραμείνουν ανταγωνιστικές στις αντίστοιχες αγορές τους. Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο εταιρειών και ανθρώπων που εμπλέκονται στην παραγωγή και την παράδοση ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας. Το μήκος των αλυσίδων ανεφοδιασμού μπορεί να κυμαίνεται από μερικά βήματα έως αρκετές χιλιάδες. Οι εταιρείες παραγωγής, οι χονδρέμποροι, οι λιανοπωλητές, οι μεσάζοντες (πωλητές και χονδρέμποροι), οι πάροχοι logistics και οι κόμβοι διανομής είναι όλα στοιχεία που συνθέτουν μια αλυσίδα εφοδιασμού. Η ανάπτυξη προϊόντων, το μάρκετινγκ, οι λειτουργίες, η διανομή, η οικονομική διαχείριση και η εξυπηρέτηση πελατών είναι μερικές από τις λειτουργίες που συνθέτουν μια αλυσίδα εφοδιασμού (Hayes, 2022) (Henrich et al. 2022).

Σήμερα, πολλές διαφορετικές αλυσίδες εφοδιασμού λειτουργούν σε παγκόσμια κλίμακα. Το αποτέλεσμα της αποτελεσματικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μείωση του κόστους παραγωγής και η επιτάχυνση των χρόνων του κύκλου.

Μια αλυσίδα εφοδιασμού αποτελείται από όλα τα στάδια που πρέπει να ολοκληρωθούν προκειμένου να παραδοθεί ένα τελικό προϊόν ή υπηρεσία στον τελικό καταναλωτή. Η απόκτηση των πρώτων υλών μπορεί να είναι το πρώτο βήμα, ακολουθούμενη από τη μεταφορά τους στην παραγωγή και, τέλος, τη μεταφορά των τελικών προϊόντων είτε σε κέντρο διανομής είτε σε κατάστημα λιανικής, από όπου μπορούν να παραδοθούν στον πελάτη (Liang et al. 2006, Henrich et al. 2022).

Οι όροι "παραγωγοί", "πωλητές", "αποθήκες", "μεταφορικές εταιρείες", "κέντρα διανομής" και "πωλητές λιανικής" χρησιμοποιούνται για να αναφέρονται στις διάφορες οντότητες που απαρτίζουν το "προμήθεια

Όταν ένας πελάτης υποβάλλει μια παραγγελία σε μια εταιρεία, αυτό ενεργοποιεί την αρχή της διαδικασίας που είναι γνωστή ως αλυσίδα εφοδιασμού. Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη προϊόντων, το μάρκετινγκ, οι λειτουργίες, τα δίκτυα διανομής, η οικονομική διαχείριση και η εξυπηρέτηση πελατών είναι μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του.

Όταν μια εταιρεία έχει αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής της αλυσίδας, είναι σε θέση να μειώσει το συνολικό της κόστος, γεγονός το οποίο με τη σειρά του ενισχύει την κερδοφορία της. Εάν ένας κρίκος στην αλυσίδα σπάσει, έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει τους άλλους κρίκους καθώς και να προκαλέσει πρόσθετα έξοδα (Hayes, 2022).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία μοντέλων που διατίθενται για αλυσίδες εφοδιασμού. Το μοντέλο που θα επιλέξει να χρησιμοποιήσει μια εταιρεία θα αποφασιστεί από τη δομή της εταιρείας καθώς και από τις ιδιαίτερες απαιτήσεις που έχει η εταιρεία. Τα μοντέλα τα οποία επικρατούν είναι τα ακόλουθα:

### Continuous Flow Model

Αυτό το διαχρονικό μοντέλο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι γνωστό ως μοντέλο συνεχούς ροής. Είναι χρήσιμο για επιχειρήσεις που κατασκευάζουν προϊόντα με ελάχιστο χώρο για προσαρμογή. Αναμένεται ότι τα προϊόντα θα έχουν μεγάλη ζήτηση και απαιτούν ελάχιστο έως καθόλου επανασχεδιασμό. Ως αποτέλεσμα της απουσίας διακυμάνσεων, οι διευθυντές είναι σε θέση να εξορθολογίσουν τους χρόνους παραγωγής και να ασκούν αυστηρό έλεγχο στο απόθεμα. Σε ένα μοντέλο με συνεχή ροή, θα είναι απαραίτητο για τους διαχειριστές να αναπληρώνουν τακτικά τις πρώτες ύλες, προκειμένου να αποφύγουν τα σημεία συμφόρησης στη διαδικασία παραγωγής.

### Fast Chain Model

Το μοντέλο Fast Chain είναι αυτό που είναι πιο επιτυχημένο για επιχειρήσεις που πωλούν προϊόντα που βασίζονται στις πιο πρόσφατες τάσεις. Προκειμένου να επωφεληθούν από την τρέχουσα μόδα, οι εταιρείες που ακολουθούν αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο πρέπει να διαθέσουν τα προϊόντα τους στην αγορά το συντομότερο δυνατό. Πρέπει να περάσουν γρήγορα από το στάδιο της ιδέας στο στάδιο του πρωτοτύπου, μετά στο στάδιο της παραγωγής και τελικά στον καταναλωτή. Ένας τομέας που εφαρμόζει αυτό το μοντέλο οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η βιομηχανία γρήγορης μόδας.

### Flexible Model

Το ευέλικτο μοντέλο χρησιμοποιείται συχνά από επιχειρήσεις που παράγουν προϊόντα για συγκεκριμένες εποχές ή γιορτές, όπως τα Χριστούγεννα ή το Halloween. Αυτές οι επιχειρήσεις περνούν από εκρήξεις αυξημένης ζήτησης για τα προϊόντα τους, ακολουθούμενες από μεγάλα χρονικά διαστήματα με πολύ μικρό έως καθόλου ενδιαφέρον πελατών. Λόγω του προσαρμόσιμου μοντέλου, είναι σε θέση να αυξάνουν αποτελεσματικά την παραγωγή όταν υπάρχει άνοδος της ζήτησης και να διακόπτουν τις λειτουργίες τους όταν υπάρχει μείωση της ζήτησης. Πρέπει να έχουν ακριβή πρόβλεψη της ανάγκης τους για πρώτες ύλες, απόθεμα και εργατικό δυναμικό προκειμένου η επιχείρησή τους να είναι κερδοφόρα.

(Hayes, 2022) (Swaminathan & Tayur, 2003)

Τα παρακάτω είναι μερικά παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών που μπορούν να βρεθούν σε συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι επιτυχημένα:

- Ενθαρρύνουν τη συνεχή πρόοδο και ανάπτυξη.
- Στόχος τους είναι να επιτύχουν μεγαλύτερη ταχύτητα.
- Ενθαρρύνουν τη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων επιχειρήσεων που αποτελούν μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού.
- Αναζητούν καινοτόμες τεχνολογίες που μπορούν να κάνουν τις διαδικασίες τους πιο αποτελεσματικές.
- Διαθέτουν μετρήσεις που επιτρέπουν στους εργαζόμενους να αξιολογήσουν το επίπεδο επιτυχίας ή αποτυχίας που έχει επιτύχει κάθε βήμα στην αλυσίδα εφοδιασμού.

(Liang et al. 2006)

Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, γνωστή και ως SCM (Supply Chain Management), και η διαχείριση επιχειρησιακών logistics, είναι όροι που συχνά εναλλάσσονται μεταξύ τους. Η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και τη διαχείριση της ροής αγαθών και υπηρεσιών, καθώς και την αποθήκευσή τους, από το σημείο προέλευσης έως τον τόπο στον οποίο τελικά καταναλώνονται. Μια επιτυχημένη στρατηγική διαχείρισης logistics θα εγγυηθεί ότι δεν θα υπάρξουν καθυστερήσεις στην παράδοση σε οποιοδήποτε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού και ότι όλα τα αγαθά και οι υπηρεσίες θα παραδοθούν σε ικανοποιητική κατάσταση. Αυτό, με τη σειρά του, συμβάλλει στη συνολική εξοικονόμηση κόστους της εταιρείας (Hayes, 2022).

Τα συστήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι αποτελεσματικά διασφαλίζουν ότι κάθε στοιχείο του προϊόντος παραδίδεται ακριβώς όπου και όταν απαιτείται. Αυτό συνεπάγεται τη διατήρηση αυστηρού ελέγχου στη ροή του κόστους παραγωγής. Η ροή του κόστους κατασκευής είναι πολύ σημαντικό να ληφθεί υπόψη για εταιρείες που παράγουν αγαθά που απαιτούν μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων που προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία προμηθευτών (Swaminathan & Tayur, 2003).

Μια αποτελεσματική διαδικασία διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί αξιόπιστους προμηθευτές. Αυτό δείχνει ότι είναι σε θέση να παράγουν ένα προϊόν που πληροί τα πρότυπα του κατασκευαστή και να το παραδώσουν έγκαιρα.

Η σημαντική μείωση του ρυθμού πληθωρισμού μπορεί να αποδοθεί, σε μεγάλο βαθμό, στην αυξημένη αποτελεσματικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού. Ως αποτέλεσμα της αυξημένης αποτελεσματικότητας, το κόστος που σχετίζεται με τη μεταφορά προϊόντων από το σημείο Α στο σημείο Β μειώνεται, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε μείωση της συνολικής τιμής που καταβάλλει ο καταναλωτής. Η αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μία από τις λίγες περιπτώσεις στις οποίες ο αποπληθωρισμός θεωρείται αρνητικός (Hayes, 2022).

Ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας παράλληλα με την αυξανόμενη παγκοσμιοποίηση, η πίεση στις τιμές των εισροών θα συνεχιστεί. Η πανδημία του COVID-19 προκάλεσε μια σειρά σοβαρών προβλημάτων στην οικονομία, αλλά ένα από τα πιο σοβαρά ήταν η δυσλειτουργία που προκάλεσε στην αλυσίδα εφοδιασμού (Negrutiu, 2021).

Οι επιπτώσεις του έγιναν αισθητές σχεδόν σε κάθε τμήμα της οικονομίας. Οι συνεχώς μεταβαλλόμενοι περιορισμοί στα εθνικά σύνορα και οι μεγάλες ουρές που σχηματίστηκαν στα λιμάνια προκάλεσαν καθυστέρηση στην παράδοση προϊόντων κάθε είδους. Παράλληλα, υπήρξε ξαφνική μετατόπιση στη ζήτηση προϊόντων. Οι καταναλωτές άρχισαν να αποθηκεύουν είδη πρώτης ανάγκης όπως χαρτί υγείας και βρεφική φόρμουλα, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την έλλειψη αυτών των ειδών. Υπήρξε μια απροσδόκητη αύξηση της ζήτησης για μάσκες προσώπου, απολυμαντικό χεριών και μαντηλάκια καθαρισμού. Επειδή υπήρχε έλλειψη τσιπ υπολογιστών, η παράδοση μιας μεγάλης ποικιλίας προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρονικών, παιχνιδιών, ακόμη και αυτοκινήτων, καθυστέρησε (Hayes, 2022) (Negrutiu, 2021).

Η πανδημία επιτάχυνε την κίνηση προς την ψηφιοποίηση και η πλειοψηφία των ερωτηθέντων πιστεύει ότι αυτή η τάση, μαζί με την αυξημένη αυτοματοποίηση, θα επιταχυνθεί κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών.

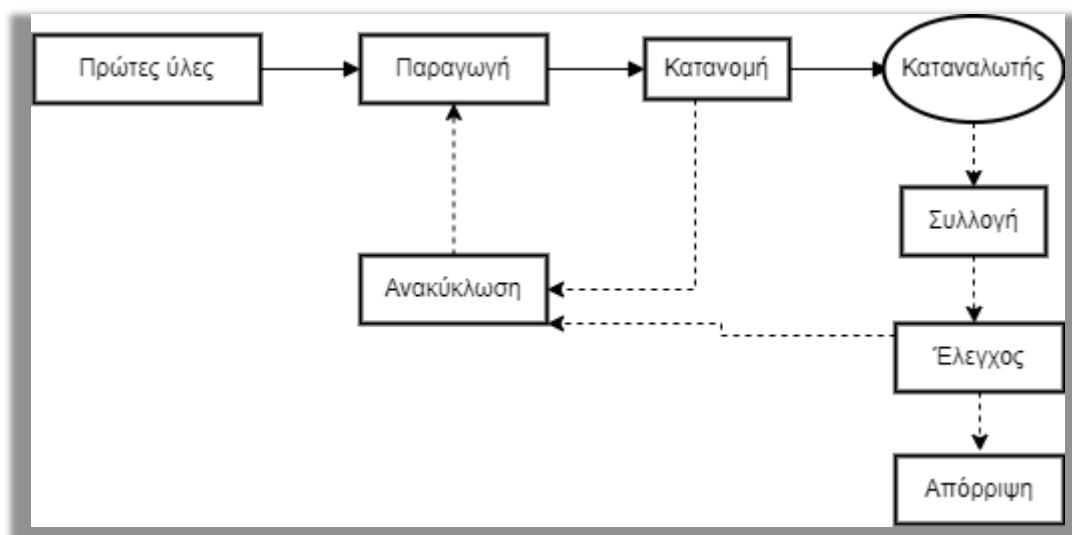
Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, γνωστή και ως SCM, αναφέρεται στη διαδικασία παρακολούθησης και ελέγχου όλων των δραστηριοτήτων που είναι απαραίτητες για μια εταιρεία να μετατρέψει τις πρώτες ύλες σε τελικά προϊόντα που μπορούν στη συνέχεια να πωληθούν στους τελικούς χρήστες.



Η SCM παρέχει σε μια εταιρεία κεντρικό έλεγχο στις φάσεις παραγωγής και διανομής προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της κατασκευής, της διαχείρισης αποθεμάτων και της διανομής των τελικών προϊόντων (Swaminathan & Tayur, 2003).

Η βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας με το συγχρονισμό των δραστηριοτήτων των πολλών διαφορετικών μερών που εμπλέκονται σε μια αλυσίδα εφοδιασμού είναι ένας από τους στόχους της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια επιχείρηση να αποκτήσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών της και να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων που κατασκευάζει, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες πωλήσεις και έσοδα για την επιχείρηση (Hayes, 2022).

Το δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να θεωρείται ως σύνολο προκειμένου να διασφαλιστεί ότι είναι εύκολα προσβάσιμο, καθώς και ότι λαμβάνει υπόψη τους τομείς αγοράς, παραγωγής, απογραφής και εφοδιαστικής. Ενώ η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει είναι σε θέση πάντα να επιτύχει τις δραστηριότητες και τον προγραμματισμό που εμπλέκονται στη διαδικασία αγορών της εταιρείας και την επιμελητεία της. Τα δίκτυα αλυσίδων εφοδιασμού μπορούν επίσης να διευκολύνουν τον συντονισμό και την ανάπτυξη σχέσεων με επιχειρηματικούς εταίρους, συμπεριλαμβανομένων των πελατών και των προμηθευτών (Grant, 2017).

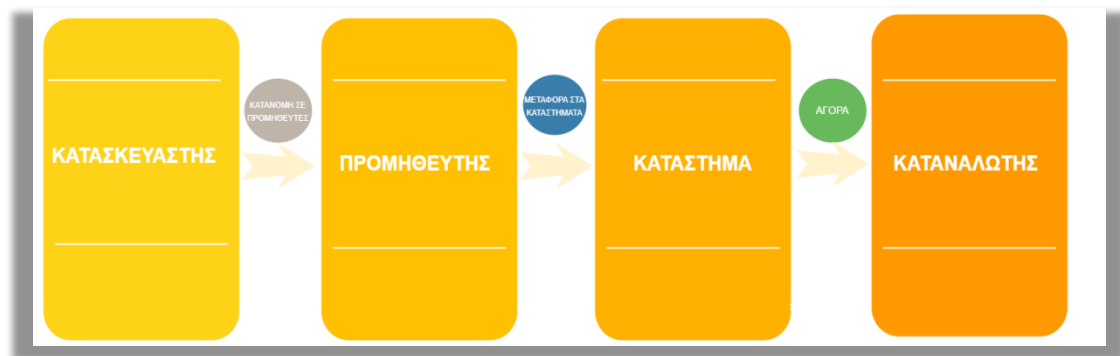


**Forward και reverse πορεία εφοδιαστικής αλυσίδας (— σχήμα 4)**

Το δίκτυο των τοποθεσιών που απαρτίζουν την αλυσίδα εφοδιασμού περιλαμβάνει τμήματα και γραφεία που μπορούν να επηρεάσουν τις παραγγελίες των πελατών, όπως το μάρκετινγκ, την ανάπτυξη νέων προϊόντων και τη λογιστική. Προμηθευτές, κατασκευαστές, έμποροι λιανικής, πελάτες, αποθήκες, χειριστές και άλλοι τύποι μερών εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία με πολλαπλές ιδιότητες. Η τεχνολογία επιτρέπει τη συνδεσιμότητα δεδομένων και την ενοποίηση επιχειρήσεων και οργανισμών, η οποία με τη σειρά της επιτρέπει την κατασκευή δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι συνεπή για τις επιχειρήσεις (Radzhabova et al, 2019).

Η αξιοποίηση πόρων όπως π.χ το ERP (Enterprise Resource Planning) είναι μια λύση που μπορεί να διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων που είναι τόσο αποτελεσματική όσο και αποδοτική στα δίκτυα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία μπορεί να αποθηκεύσει σημαντικές ποσότητες επιχειρηματικών πληροφοριών και δεδομένων (Hazen et al, 2014). Η χρήση αυτού του λογισμικού βελτιστοποίησης ως απόλυτης προϋπόθεσης για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την υλοποίηση καινοτόμων δομημένων δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας (Eskandarpour et al., 2015) είναι η λύση που επιλέγουν πολλές επιχειρήσεις.

Στην τρέχουσα εποχή, σίγουρα η βελτίωση γίνεται ήδη αισθητή σε κάποιους ανθρώπους, ιδιαίτερα εκείνους που μπορούν να αγοράσουν προϊόντα μέσω διαδικτύου μέσω της χρήσης εφαρμογών λογισμικού που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για ηλεκτρονικές αγορές και εφαρμογών λογισμικού που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών μεταφοράς. Λόγω της εφαρμογής, οι αλυσίδες διανομής έχουν μετακινηθεί. Οι αρχικοί κατασκευαστές ενός προϊόντος έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν απευθείας τα προϊόντα τους στους τελικούς καταναλωτές ή στους τελικούς χρήστες, γεγονός που επιτρέπει στους παραγωγούς να μην χρειάζεται να επικεντρώνονται τόσο στη μεταφορά των προϊόντων. Αυτό είναι δυνατό επειδή η αγορά ή η παραγγελία προϊόντων ηλεκτρονικά απαιτεί τη χρήση υπηρεσιών αποστολής που επικεντρώνονται στη μετακίνηση στον τομέα της ναυτιλίας. Αυτό το σύστημα είναι επωφελές για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη: τους καταναλωτές, τους παραγωγούς και την υπηρεσία αποστολής (Basuki, 2021).



Παράδειγμα παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας (— σχήμα 5)

## 2.2. Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόγχου

Μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου είναι ουσιαστικά ο συνδυασμός μιας παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας (forward logistics) και της αντίστροφης εφοδιαστικής, η οποία λαμβάνει υπόψη την πορεία ενός προϊόντος αφού έχει εκπληρώσει την κύρια λειτουργία του. Ο κατασκευαστής θα καταβάλει προσπάθεια να ενθαρρύνει την επιστροφή ενός αντικειμένου αφού έχει κατασκευαστεί, αποσταλεί και διανεμηθεί μέσω μεταπωλητή. Αυτό θα συμβεί όταν το αντικείμενο δεν είναι πλέον απαραίτητο ή δεν λειτουργεί. Αμέσως μετά ξεκινά η διαδικασία της αντίστροφης εφοδιαστικής, κατά την οποία τα είδη μπορούν είτε να επισκευαστούν και να μεταπωληθούν είτε να αποσυναρμολογηθούν για μεταγενέστερη χρήση στην παραγωγή άλλων

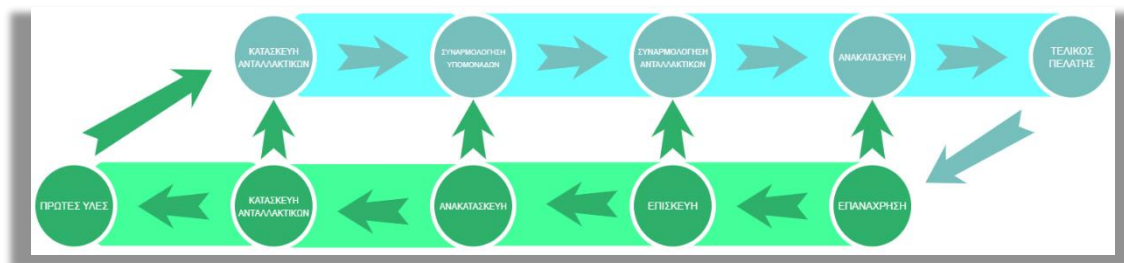
αγαθών. Ο όρος "κλειστός βρόχος" αναφέρεται στο γεγονός ότι η αλυσίδα έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί και να ανακτά την αξία από τα χρησιμοποιημένα προϊόντα, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη δημιουργία όσο το δυνατόν λιγότερων απορριμμάτων (Brooke, 2022).

Μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, οι επιχειρήσεις παράγουν περίπου 7,6 δισεκατομμύρια τόνους απορριμμάτων κάθε χρόνο με τη μορφή στερεών αποβλήτων. Αυτά τα απόβλητα μπορούν να μειωθούν σε σημαντικό βαθμό με τη βοήθεια αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Για παράδειγμα, η παραγωγή της συντριπτικής πλειονότητας των προϊόντων απαιτεί τη χρήση πρώτων υλών, αλλά ορισμένα ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή νέων καταναλωτικών αγαθών. Ακόμη και αν χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες, ο πρωταρχικός στόχος της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου είναι να μειώσει τον συνολικό αριθμό των πρώτων υλών που απαιτούνται με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων απορριμμάτων μετά την κατανάλωση.

Μετά την κατασκευή της πρώτης έκδοσης του προϊόντος, οι επόμενες εκδόσεις του προϊόντος συνεχίζουν το τυπικό ταξίδι τους στην αλυσίδα εφοδιασμού, ξεκινώντας από τον διανομέα και συνεχίζοντας μέχρι τον πωλητή λιανικής. Ωστόσο, για να ολοκληρωθεί η εφοδιαστική αλυσίδα, πρέπει να εφαρμοστούν νέα αντίστροφα logistics. Είτε το εν λόγω προϊόν πρέπει να είναι ανακυκλώσιμο είτε οι κατασκευαστές του προϊόντος πρέπει να εφαρμόζουν προγράμματα επιστροφών.

Οι πελάτες συχνά επιστρέφουν προϊόντα επειδή ανακαλύπτουν ότι το προϊόν που αγόρασαν δεν λειτουργεί όπως προβλέπεται ή δεν πληροί τις απαιτήσεις τους. Στη συνέχεια, ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος να καθορίσει εάν το προϊόν μπορεί να επισκευαστεί και να μεταπωληθεί ή όχι ή εάν θα πρέπει να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας αντίστροφης εφοδιαστικής. Εάν συμβεί αυτό, το προϊόν μπορεί να ανακυκλωθεί μαζί με τα προϊόντα που άλλοι πελάτες στέλνουν πίσω στον κατασκευαστή μέσω προγραμμάτων ανάληψης, εάν ο κατασκευαστής διαθέτει αντίστοιχο πρόγραμμα. Οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνουν δυνητικά επικίνδυνα αντικείμενα, όπως παρωχημένο ή χαλασμένο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, μέσω αυτών των προγραμμάτων, τα οποία επιτρέπουν την απόρριψη και την ανακύκλωση των αντικειμένων με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο (Brooke, 2022).

Αφού επαναχρησιμοποιηθούν μέσω της διαδικασίας ανακύκλωσης, αυτά τα είδη θα μπορούσαν να καταλήξουν στα χέρια της επόμενης γενιάς κατασκευαστών. Το 2014, η Dell ήταν ένας από τους πρώτους κατασκευαστές που εφάρμοσε αυτή την πρακτική, συμπεριλαμβάνοντας τουλάχιστον 10% ανακυκλωμένο πλαστικό μετά την κατανάλωση σε μια σειρά από τους υπολογιστές τους. Αυτό ήταν ένα επαναστατικό βήμα και η Dell συνεχίζει να προσφέρει προγράμματα ανάκτησης για να υποστηρίξει το περιβάλλον και να τροφοδοτήσει την αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου.



Σχεδιασμός Συστημάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας Κλειστού Βρόχου: Προκλήσεις και Ευκαιρίες

**Forward και backward logistics (— σχήμα 6)**

Η ποσότητα των απορριμμάτων που δεν είναι βιοαποδομήσιμα, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών, των βαρέων μετάλλων και άλλων υλικών, συσσωρεύεται σε χώρους υγειονομικής ταφής σε όλο τον κόσμο. Αυτά τα «ηλεκτρονικά απόβλητα» και άλλα απόβλητα από καταναλωτικά προϊόντα μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμη πηγή υλικών για τη δημιουργία νέων προϊόντων. Ωστόσο, αποτελούν επίσης απειλή για τη δημόσια υγεία και ασφάλεια, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου απορρίπτεται συχνά. Επειδή η σύγχρονη κοινωνία προβάλλει έντονα την έννοια της προγραμματισμένης απαξίωσης, όλο και περισσότερο ασήμι, χρυσός και πλαστικό εξορύσσονται για χρήση στην παραγωγή νέων αγαθών. Με την ανακύκλωση ορισμένων από αυτά τα υλικά, μπορεί να μειωθεί το ανθρώπινο αποτύπωμα στο περιβάλλον με δύο διαφορετικούς τρόπους: πρώτον, μειώνοντας την ποσότητα των απορριμμάτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και δεύτερον, μειώνοντας την ποσότητα των επιπτώσεων που προκαλούνται από εξόρυξη νέων φυσικών πόρων για τη μεταποίηση (Brooke, 2022).

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα της βιωσιμότητας εκτείνονται πέρα από τις θετικές επιπτώσεις που έχει στην κοινωνία. Οι επιχειρήσεις μπορούν να πραγματοποιήσουν εξοικονόμηση κόστους μεταπωλώντας προϊόντα που απαιτούν κάτι περισσότερο από μια απλή ανακαίνιση πριν διατεθούν ξανά στην αγορά. Θα μπορούσαν να εξοικονομήσουν ακόμη περισσότερα χρήματα εάν χρησιμοποιούσαν ανακυκλωμένα υλικά, τα οποία είναι συνήθως λιγότερο ακριβά από τις πρώτες ύλες.

Οι εταιρείες που κατασκευάζουν προϊόντα οποιουδήποτε είδους θα πρέπει να δώσουν προσοχή σε αυτήν την αναδυόμενη τάση και να καθορίσουν εάν μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου προσφέρει ή όχι τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος και να κερδίσει την ευνοία των καταναλωτών (Brooke, 2022).



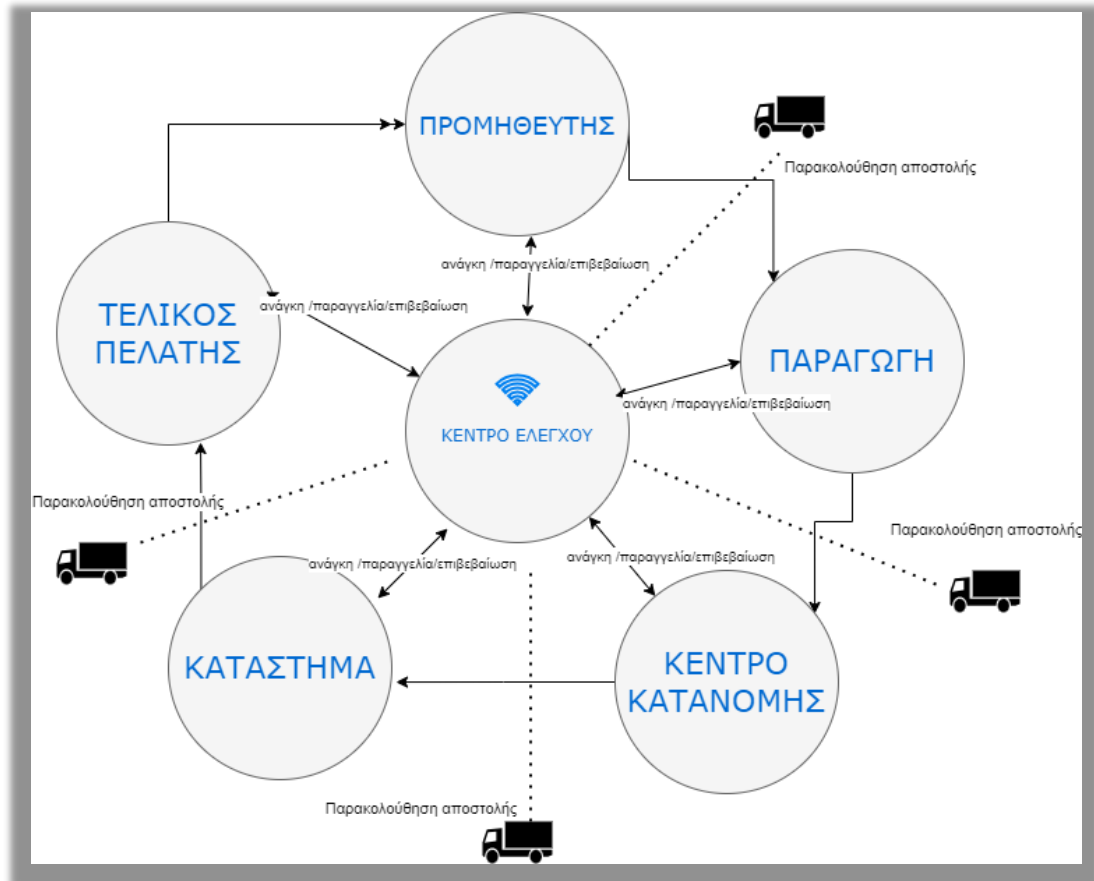
Εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου (— σχήμα 7)

### 2.3 Αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόγχου και βιωσιμότητα

Πολλές βιομηχανίες έχουν παρακινηθεί να υιοθετήσουν αλυσίδες εφοδιασμού τους (SC) κλειστού βρόγχου ως αποτέλεσμα των ανησυχιών για τη βιωσιμότητα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εξέλιξη μιας διαδικασίας που είναι πιο περίπλοκη, με πολλούς κινδύνους λόγω της κυκλικής ή πολυκυκλικής δομής με πολλές αντίστροφες ροές αγαθών, εξαρτημάτων και υλικών. Επιπλέον, τα επίπεδα ολοκλήρωσης μεταξύ των εταιρών καθώς και τα επίπεδα ψηφιοποίησης στις Εφοδιαστικές Αλυσίδες κλειστού βρόγχου (CLSC) εξακολουθούν να είναι χαμηλά, παρά το γεγονός ότι τα οφέλη για την κοινωνία είναι εξαιρετικά σημαντικά. Οι τεχνολογίες ενεργοποίησης που εμπίπτουν στην κατηγορία του Industry 4.0 έχουν δείξει ότι μπορούν να έχουν θετικό αντίκτυπο, κυρίως στο κατασκευαστικό επίπεδο. Ωστόσο, μόνο ένας μικρός αριθμός ερευνητών έχει διερευνήσει τις επιπτώσεις που έχουν αυτές οι τεχνολογίες σε επίπεδο SC (Simonetto et al. 2022).

Το Industry 4.0 είναι μια ιδέα που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο κοινό το 2011 από τη γερμανική κυβέρνηση ως στοιχείο του σχεδίου υψηλής τεχνολογίας της χώρας για τη βελτίωση της βιομηχανικής της ικανότητας μέσω της εφαρμογής ψηφιακά ελεγχόμενης κατασκευής. Το I4.0 επιτρέπει την πιο αποτελεσματική διαχείριση πολύπλοκων συστημάτων καθιστώντας τα ευαίσθητα σε συμβάντα σε πραγματικό χρόνο και ενσωματώνοντας την εφαρμογή μεγάλης κλίμακας διαδικασιών μηχανής με μηχανή (M2M), Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και υπολογιστικού νέφους. Αυτές οι ενσωματώσεις λειτουργούν προς την αύξηση της αυτοματοποίησης, τη βελτιωμένη επικοινωνία και την παρακολούθηση χωρίς την

ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Το I4.0 είναι ένα μοντέλο εκβιομηχάνισης που προτάθηκε από τους Kagermann et al. (2013). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, οι άνθρωποι, οι μηχανές, οι αλγόριθμοι μάθησης και τα προϊόντα θα επικοινωνούσαν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας τόσο φυσικά όσο και κυβερνητικά μέσα (Kagermann et al., 2013). Αυτό το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την απόδοση σε διάφορες διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της βιωσιμότητας. Το 2017, οι οργανισμοί Plattform Industrie 4.0, Alliance Industrie du Futur και Piano Impresa 4.0 ενώθηκαν για να σχηματίσουν μια τριμερή συνεργασία με σκοπό την προώθηση της βιομηχανικής ψηφιοποίησης στην Ευρώπη (I4.0, 2020) (Simonetto et al. 2022).



**Παράδειγμα εφοδιαστικής αλυσίδας με τη συμβολή της τεχνολογίας (— σχήμα 8)**

Ταυτόχρονα, η ερευνητική κοινότητα έχει διερευνήσει τα οφέλη και τους περιορισμούς που σχετίζονται με «τεχνολογίες ενεργοποίησης» όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων, η έξυπνη κατασκευή, τα συστήματα εκτέλεσης κατασκευής, η ψηφιακή επιμελητεία και η αποθήκευση, η ρομποτική, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPSs), δίνοντας μεγάλη έμφαση σε επίπεδο παραγωγής και όχι σε επίπεδο SC. Παραδείγματα τέτοιων «τεχνολογιών ενεργοποίησης» περιλαμβάνουν το Διαδίκτυο των πραγμάτων, την έξυπνη κατασκευή, τα συστήματα εκτέλεσης κατασκευής, την ψηφιακή εφοδιαστική και αποθήκευση, τη ρομποτική και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Govindan et al., 2022, Panetto et al., 2019) (Simonetto et al. 2022).

Το παράδειγμα της κυκλικής οικονομίας, το οποίο περιλαμβάνει το σχεδιασμό και τη διαχείριση των CLSCs, είναι ένα παράδειγμα του δεύτερου σημαντικού παραδείγματος ανάπτυξης, που αφορά τη βιωσιμότητα. Τα CLSC ασχολούνται με «τη μεγιστοποίηση της δημιουργίας αξίας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος με δυναμική ανάκτηση αξίας από διαφορετικούς τύπους και όγκους επιστροφών με την πάροδο του χρόνου», όπως αναφέρουν οι Guide και Van Wassenhove (2009). Από την άλλη πλευρά, ο στόχος του I4.0 είναι να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός λειτουργικής αποτελεσματικότητας και παραγωγικότητας, καθώς και μεγαλύτερος βαθμός αυτοματοποίησης (Thames and Schaefer, 2016). Οι προηγμένες τεχνολογίες του Industry 4.0 μπορούν επίσης να είναι χρήσιμες σε επίπεδο SC, και συγκεκριμένα, μπορούν να καταστήσουν δυνατή τη δημιουργία ενός συστήματος που είναι πιο ακριβές (De Sousa Jabbour et al., 2018; Ivanov et al., 2019). Η χρήση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να είναι για τη συλλογή, αποθήκευση και διάθεση εκτεταμένων δεδομένων σε ολόκληρο το SC για τη διόρθωση σφαλμάτων που γίνονται από ανθρώπους, την παρακολούθηση της ποσότητας και των τοποθεσιών αποθήκευσης του προϊόντος και τη μείωση της ζημιάς και της απώλειας του προϊόντος (Zhou και Piramuthu, 2012· Lopez Research, 2014· Niaki et al., 2019) (Simonetto et al. 2022).

Η διαχείριση της ηλεκτρονικής αλυσίδας εφοδιασμού και οι λύσεις Industry 4.0 έχουν εφαρμοστεί σε πολλές ευρωπαϊκές αλυσίδες εφοδιασμού γαλακτοκομικών προϊόντων για τη συλλογή μεγάλης ποσότητας προϊόντος, την επεξεργασία δεδομένων και την εγγύηση ότι οι πελάτες θα λαμβάνουν γάλα που δεν έχει νοθευθεί (Mania et al., 2018). Στην πράξη, το η εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου είναι μια πολύ περίπλοκη διαδικασία και προκύπτουν πολλοί κίνδυνοι όταν μια μη γραμμική δομή αντικαθίσταται από μια κυκλική ή πολυκυκλική δομή με πολλές αντίστροφες ροές αγαθών, εξαρτημάτων ή υλικών. Σύμφωνα με τους Ostlin et al. (2008), η ανακατασκευή έχει ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά που κάνουν την εφοδιαστική αλυσίδα και το σύστημα παραγωγής πιο περίπλοκα. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι συγκρίσιμα με εκείνα της κατασκευής. Στο παρελθόν, έχουν γίνει μερικές διαφορετικές προσπάθειες ανάλυσης της διαχείρισης κινδύνου στο πλαίσιο της αντίστροφης εφοδιαστικής (Simonetto et al. 2022).

Οι Yan et al. (2009) συνέταξαν μια λίστα με πιθανούς κινδύνους που μπορεί να προκύψουν κατά τη διαδικασία της αντίστροφης εφοδιαστικής στον κλάδο λιανικής. Λόγω των υψηλών επιπέδων αβεβαιότητας ως προς τον χρόνο επιστροφής, την ποσότητα, την ποιότητα και την τοποθεσία, οι ενέργειες που σχετίζονται με τον προγραμματισμό των δραστηριοτήτων εφοδιαστικής και το επίπεδο αποτελεσματικότητας απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα. Ο Senthil et al. (2018) πραγματοποίησε μια ανάλυση σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους που θέτει η αντίστροφη εφοδιαστική και κατέταξε αυτούς τους κινδύνους χρησιμοποιώντας μια υβριδική μορφή λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων. Ως αποτέλεσμα της ανάλυσης που παρασχέθηκε από τους συγγραφείς, είναι σαφές ότι ο κίνδυνος αποθεμάτων έχει προτεραιότητα ως εκείνος που είναι ο πιο σοβαρός και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή. Τόσο οι Govindan et al. (2015) όσο και οι Battini et al. (2017) προσφέρουν επισκόπηση των χαρακτηριστικών των CLSC καθώς και των δύσκολων ζητημάτων που αντιμετωπίζουν (Simonetto et al. 2022).

Παρά το γεγονός ότι πολυάριθμες αναφορές έχουν ήδη δημοσιευθεί για τα CLSC (Battini et al., 2017; Bressanelli et al., 2019) και I4.0 (δηλαδή, Culot et al., 2020), μόνο λίγες μελέτες συζητούν τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ I4.0 και CLSC. Ωστόσο, τις περισσότερες φορές, είναι εννοιολογικοί στην προσέγγισή τους και δεν επικεντρώνονται στους κινδύνους CLSC (Kazancoglu et al., 2021; Awan et al., 2021). Εναλλακτικά, βασίζονται σε συγκεκριμένα βιομηχανικά δεδομένα και τομείς και δεν είναι εύκολα γενικεύσιμα (de Sousa Jabbour et al., 2018; Bag et al., 2022; Kurniawan et al., 2022).

## 2.4. Bullwhip effect στην εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου

Το φαινόμενο bullwhip παρατηρείται στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπου μικρές διακυμάνσεις στη ζήτηση των καταναλωτών σε επίπεδο λιανικής έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένες διακυμάνσεις στη ζήτηση σε επόμενα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων χονδρικής, διανομέα, κατασκευαστή και προμηθευτή πρώτων υλών (Cachon et al., 2017). Το φαινόμενο αναφέρεται συνήθως με το όνομα bullwhip effect που σχετίζεται με τις αρχές της φυσικής που διέπουν τη διαδικασία της κίνησης του μαστίγιου. Όταν το άτομο που κρατά το μαστίγιο εκτελεί μια γρήγορη κίνηση του καρπού, η επακόλουθη αλυσιδωτή αντίδραση οδηγεί σε μια προοδευτική ενίσχυση των κυματομορφών του μαστίγιου (Daniel, 2023).

Στο πεδίο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρατηρείται ότι άτομα όπως πελάτες, προμηθευτές, κατασκευαστές και πωλητές κατέχουν περιορισμένη κατανόηση της ζήτησης και ασκούν αποκλειστική επιρροή σε συγκεκριμένα τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, κάθε τμήμα εντός της αλυσίδας ασκεί επιρροή σε ολόκληρο το σύστημα επηρεάζοντας την πρόβλεψη, με αποτέλεσμα είτε υπερβολικό είτε ανεπαρκή αριθμό παραγγελιών. Οποιαδήποτε αλλαγή σε μια συγκεκριμένη σύνδεση εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να ασκήσει σημαντικό αντίκτυπο στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το φαινόμενο bullwhip στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και αιτίες (Wang & Disney, 2016).

Το συγκεκριμένο φαινόμενο εμφανίζεται συχνά όταν οι λιανοπωλητές επιδεικνύουν αυξημένη ανταπόκριση στις αλλαγές στη ζήτηση, μεγεθύνοντας έτσι τις προσδοκίες τους σχετικά με τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Κατά συνέπεια, αυτό το φαινόμενο κυματισμού διαδίδεται σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Σε ένα υποθετικό σενάριο, ένας έμπορος λιανικής διατηρεί σταθερά ένα απόθεμα 100 εξάδων μιας συγκεκριμένης μάρκας αναψυκτικού. Εάν οι μέσες ημερήσιες πωλήσεις των εξάδων ανέρχονται σε 20 μονάδες, ο λιανοπωλητής θα προμηθεύεται την αντίστοιχη ποσότητα από τον διανομέα για λόγους αναπλήρωσης. Ωστόσο, μια συγκεκριμένη ημέρα, ο λιανοπωλητής πουλά με επιτυχία συνολικά 70 συσκευασίες και κάνει την υπόθεση ότι αυτή η αύξηση στις πωλήσεις υποδηλώνει μια πιθανή τάση πελατών που αγοράζουν μεγαλύτερη ποσότητα του προϊόντος. Ως απάντηση στην αυξημένη προβλεπόμενη ζήτηση, προχωρά σε παραγγελία για εκατό εξάδων (Bhattacharya et al., 2011).

Στη συνέχεια, ο διανομέας μπορεί να επιλέξει να παραγγείλει διπλάσια ποσότητα, ισοδύναμη με 200 εξάδες, από τον κατασκευαστή ως προληπτικό μέτρο για να μετριάσει τον κίνδυνο εξάντλησης στο απόθεμά του. Για τον μετριάσιμο των πιθανών κινδύνων, ο κατασκευαστής προχωρά στην παραγωγή ποσότητας 250 συσκευασιών. Τελικά, η αυξημένη ζήτηση έχει κλιμακωθεί σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, με αποτέλεσμα την αύξηση από 70 εξάδες σε επίπεδο πελάτη σε 250 σε επίπεδο κατασκευαστή (Daniel, 2023).

Αυτή η επεξηγηματική περίπτωση είναι σημαντικά απλοποιημένη, αλλά επικοινωνεί αποτελεσματικά την έννοια μιας προοδευτικής κλιμακούμενης απόκλισης που εμφανίζεται με εκθετικό τρόπο καθώς οι ενέργειες και οι αντιδράσεις επιμένουν σε όλη την ιεραρχική δομή. Το φαινόμενο γνωστό ως φαινόμενο bullwhip μπορεί να προκύψει λόγω της μειωμένης ζήτησης σε επίπεδο πελάτη, οδηγώντας σε ελλείψεις που προκαλούνται από ανακρίβειες και μπορεί να αποδοθεί σε διάφορα σημεία της αλυσίδας εφοδιασμού (Wu & Katok, 2006).

Το φαινόμενο bullwhip είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας όπου μικρές διακυμάνσεις στη ζήτηση των καταναλωτών μπορούν να οδηγήσουν σε ενισχυμένες διακυμάνσεις στις δραστηριότητες της αλυσίδας εφοδιασμού ανάντη. Αυτή η επίδραση προκαλείται από διάφορους παράγοντες που συμβάλλουν στην παραμόρφωση και την ενίσχυση της πληροφορίας της ζήτησης (Dejoncheere et al., 2003)



Οι οργανισμοί υποχρεούνται να προβλέπουν τη ζήτηση των πελατών χρησιμοποιώντας περιορισμένα δεδομένα και να προσπαθούν να προβλέψουν την ακριβή ποσότητα προϊόντων που θα επιθυμούν οι πελάτες, λαμβάνοντας υπόψη τις περίπλοκες μεταβλητές που διευκολύνουν την ακριβή και έγκαιρη παράδοση της εν λόγω ποσότητας (Zhang, 2004). Οι διακυμάνσεις και οι διακοπές σε διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τις πολυάριθμες παραγγελίες προμηθευτών. Η ζήτηση των πελατών έχει άμεσο αντίκτυπο σε διάφορους διασυνδεδεμένους παράγοντες εντός της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης αποθεμάτων. Ωστόσο, το φαινόμενο που είναι γνωστό ως φαινόμενο bullwhip μπορεί να εκδηλωθεί ακόμη και σε αγορές που είναι σχετικά σταθερές, που χαρακτηρίζονται από μια σταθερή και αμετάβλητη ζήτηση (Fransoo & Wooters, 2000).

Η πρόβλεψη της ζήτησης αποτελεί σταθερά ένα δύσκολο εγχείρημα. Η κλιμακούμενη πολυπλοκότητα των σύγχρονων παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού επιδεινώνει αυτήν την πρόκληση, παράλληλα με την αυξανόμενη κλίση των καταναλωτών προς το πολυκαναλικό και το ηλεκτρονικό εμπόριο (Daniel, 2023).

Οι έμπροσθεν αλυσίδες εφοδιασμού περιλαμβάνουν τη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων από τους παραγωγούς στους τελικούς χρήστες. Αντίθετα, οι αντίστροφες αλυσίδες περιλαμβάνουν την κίνηση των προϊόντων προς την αντίθετη κατεύθυνση, ξεκινώντας από τους τελικούς χρήστες. Ακολουθεί μια σειρά διαδικασιών, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή, η ανακατασκευή και η ανακύκλωση, για τη μετατροπή των προϊόντων στο τέλος του κύκλου ζωής τους σε μια νέα και λειτουργική κατάσταση. Ο συνδυασμός της προς τα εμπρός και της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου (Govindan et al., 2015). Η εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου περιλαμβάνει το σύνολο του λειτουργικού κύκλου, ξεκινώντας από την απόκτηση πρώτων υλών έως την παράδοση των τελικών προϊόντων στους πελάτες και στη συνέχεια, από τους πελάτες στο στάδιο της επανεπεξεργασίας και, τέλος, από την επανεπεξεργασία πίσω στους πελάτες. Ως εκ τούτου, το κλείσιμο των αλυσίδων εφοδιασμού μπορεί να αποφέρει ευνοϊκά περιβαλλοντικά αποτελέσματα μέσω του μετριασμού της παραγωγής απορριμμάτων και του περιορισμού της κατανάλωσης πρώτων υλών και ενέργειας (Zhao et al., 2018). Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον από ακαδημαϊκούς, διευθυντές, επιχειρηματίες και υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη γνώσεων και διοικητικής κατεύθυνσης σχετικά με την αποτελεσματική εφαρμογή και διαχείριση αυτού του συγκεκριμένου μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ο αντίκτυπος της αβεβαιότητας της ζήτησης των πελατών σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού θεωρείται ευρέως ως ένα κρίσιμο φαινόμενο στον τομέα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αναφερόμενο ως φαινόμενο bullwhip, αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται όταν οι διακυμάνσεις της ζήτησης ενισχύονται καθώς διαδίδονται ανάντη. Πολυάριθμοι μελετητές έχουν αναλάβει έρευνες για τις υποκείμενες αιτίες και τους πιθανούς ελαφρυντικούς παράγοντες του φαινομένου του bullwhip στις μελλοντικές αλυσίδες εφοδιασμού. Παρά την ύπαρξη ενός σημαντικού όγκου βιβλιογραφίας σχετικά με το φαινόμενο bullwhip στις προς τα εμπρός αλυσίδες εφοδιασμού, υπάρχει μια εκπληκτική έλλειψη έρευνας σχετικά με το φαινόμενο bullwhip στις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Παρά την αναγνώριση από τους μελετητές της πιθανής σημασίας του φαινομένου του bullwhip ως ουσιαστικό εμπόδιο για τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου, το συγκεκριμένο θέμα δεν έχει αντιμετωπιστεί ή διερευνηθεί επαρκώς.

Οι πρόσφατες εξελίξεις έχουν δείξει ότι το πεδίο παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό απόκλισης παρά σύγκλισης. Πολλαπλές μελέτες έχουν δημιουργήσει μια συσχέτιση μεταξύ της

πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας, της βιώσιμης ή κυκλικής οικονομίας και των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου, όπως υποδεικνύεται από τους Govindan et al. (2015). Επιπλέον, υπάρχει περιορισμένη κατανόηση σχετικά με τους υποκείμενους παράγοντες και τις αποτελεσματικές στρατηγικές για τον μετριασμό του φαινομένου του bullwhip στις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Αρκετοί συγγραφείς έχουν εξετάσει το φαινόμενο bullwhip και τα χαρακτηριστικά του, όπως αιτίες και συνέπειες, και στους δύο τύπους αλυσίδων εφοδιασμού (Hosoda and Disney, 2018). Ωστόσο, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τύπων (Adenso-Díaz et al., 2012). Η έλλειψη συναίνεσης στο υπάρχον σώμα της βιβλιογραφίας σχετικά με τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου μπορεί να εμποδίσει την πρόοδο αυτού του τομέα, ιδιαίτερα σε σχέση με την κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του bullwhip και την επινόηση αποτελεσματικών στρατηγικών για τον μετριασμό του αντίκτυπού του (Braz et al., 2018).

Παρά το γεγονός ότι υπάρχει έλλειψη εκτενούς έρευνας στον συγκεκριμένο τομέα, έχουν γίνει κάποιες αξιοσημείωτες προσπάθειες για τη διερεύνηση του φαινομένου του φαινομένου Bullwhip εντός των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Σημαντικές γνώσεις για τη δυναμική αυτών των συστημάτων έχουν παρασχεθεί μέσω μιας σειράς μελετών, ξεκινώντας από την αρχική εξερεύνηση που συνήθως αποδίδεται στους Tang και Naim (2004) και φτάνοντας σε πιο πρόσφατη έρευνα που διεξήχθη από τους Hosoda and Disney (2018). Ωστόσο, τα ευρήματά τους έχουν αποφέρει κάπως αποκλίνοντα αποτελέσματα. Δεδομένων των περιστάσεων, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη συνολικής κατανόησης σχετικά με την επίδραση της αντίστροφης ροής υλικού στη δυναμική των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου.

Παρόμοια με τις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού, οι ακαδημαϊκές εργασίες που εξετάζουν το πρόβλημα του Bullwhip σε αλυσίδες κλειστού βρόχου συνήθως αξιολογούν το επίπεδο μεταβλητότητας στις παραγγελίες και τα αποθέματα. Αυτές οι μεταβλητές είναι ενδεικτικές της υποβέλτιστης δυναμικής συμπεριφοράς και των υπερβολικών λειτουργικών εξόδων. Σύμφωνα με τους Goltsos et al. (2019), το υπάρχον σώμα έρευνας για το φαινόμενο Bullwhip σε συστήματα κλειστού βρόχου επικεντρώνεται κυρίως σε τρεις βασικούς τομείς. Πρώτον, εξετάζει τον αντίκτυπο του ποσοστού απόδοσης, επιτρέποντας τη σύγκριση της απόδοσης μεταξύ συστημάτων κλειστού βρόχου και παραδοσιακών συστημάτων. Δεύτερον, διερευνά την επίδραση των χρόνων παράδοσης τόσο στην εμπρόσθια όσο και στην αντίστροφη ροή των υλικών, οδηγώντας στον εντοπισμό του χρόνου παράδοσης. Τέλος, διερευνά την αξία της διαφάνειας των πληροφοριών για την ενίσχυση της δυναμικής αυτών των αλυσίδων εφοδιασμού, τονίζοντας την αναγκαιότητα επανεκτίμησης και τροποποίησης των συμβατικών μοντέλων αποθεμάτων.

Το υπάρχον σώμα της βιβλιογραφίας συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό για τα ευνοϊκά αποτελέσματα που σχετίζονται με υψηλότερα ποσοστά απόδοσης στη δυναμική της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου, ειδικά όσον αφορά τη μειωμένη διακύμανση παραγγελιών και αποθεμάτων. Σύμφωνα με τη μελέτη που διεξήχθη από τους Adenso-Díaz et al. (2012), αποδεικνύεται ότι ο μετριασμός του Bullwhip μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας τα χαμηλά ποσοστά απόδοσης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κλιμάκωση των υψηλών ποσοστών απόδοσης μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες. Αυτή η παρατήρηση υποδεικνύει την παρουσία μιας συσχέτισης μεταξύ του φαινομένου Bullwhip και του ρυθμού επιστροφής. Σύμφωνα με τους Zhou et al. (2017), τα ευρήματα της μελέτης τους για ένα σύστημα τριών βαθμίδων υποδηλώνουν ότι η δυναμική των αλυσίδων εφοδιασμού συχνά παρουσιάζει πλεονεκτήματα από την αντίστροφη ροή υλικών, αν και αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Σε αυτό το πλαίσιο, παρατηρείται ότι το κλείσιμο του βρόχου επιδεινώνει το φαινόμενο Bullwhip υπό ορισμένες συνθήκες. Με βάση τις προαναφερθείσες παρατηρήσεις, μπορεί να συναχθεί ότι τα συστήματα κλειστού βρόχου τείνουν να παρουσιάζουν ενισχυμένη δυναμική σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αντίστοιχα. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες παρουσιάζουν ένα αντεπιχείρημα σε

αυτήν την ανακάλυψη. Σύμφωνα με τους Hosoda et al. (2015), υποστηρίζεται ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι επιρρεπείς στο να αντιμετωπίσουν το φαινόμενο Bullwhip λόγω του αυξημένου εύρους αβεβαιοτήτων που αντιμετωπίζουν. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να διαλευκανθεί μέσα από το πρίσμα των Ponte et al. (2019), οι οποίοι σημειώνουν ότι τα αυτόνομα και εξαιρετικά συσχετισμένα στοιχεία του συνόλου των αποδόσεων (σε σχέση με τη ζήτηση) ασκούν αντίθετες επιρροές στη δυναμική του συστήματος. Οι διακυμάνσεις στη σειρά και τα επίπεδα αποθέματος εντός των αλυσίδων κλειστού βρόχου είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε αβεβαιότητες σχετικά με τις μελλοντικές αποδόσεις. Κατά συνέπεια, αυτή η αβεβαιότητα επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργική απόδοση τέτοιων συστημάτων. Συνολικά, τα ποικίλα συμπεράσματα που προέκυψαν από προηγούμενες μελέτες δείχνουν ότι η επίδραση των ποσοστών απόδοσης στη συμπεριφορά των συστημάτων κλειστού βρόχου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις υποθέσεις που έγιναν κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης. Όσον αφορά τον χρόνο παράδοσης, η μείωση των χρόνων παράδοσης χρησιμεύει στη διευκόλυνση των αποδοτικών διαδικασιών παραγωγής και στην αποτελεσματική κάλυψη των απαιτήσεων των πελατών με παράλληλη βελτιστοποίηση του κόστους. Ωστόσο, η εξέταση των επιπτώσεων του χρόνου παράδοσης που σχετίζονται με την αντίστροφη ροή των υλικών, ειδικά σε σχέση με τους χρόνους παράδοσης ανακατασκευής, έχει δώσει ενδιαφέροντα αποτελέσματα, καθώς ορισμένες μελέτες έχουν τεκμηριώσει τα λειτουργικά πλεονεκτήματα που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της μείωσης των χρόνων παράδοσης στη διαδικασία ανακατασκευής, ενώ άλλες μελέτες έχουν εντοπίσει μια αντίστροφη σχέση γνωστή ως παράδοξο χρόνο παράδοσης. Αυτό το παράδοξο αναφέρεται σε καταστάσεις στις οποίες η μείωση των χρόνων παράδοσης για ανακατασκευή έχει πράγματι αρνητικές συνέπειες και μπορεί να επιτείνει το bullwhip effect (Ponte et al., 2020).

## **Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου**

### **3.1. Παρουσίαση εμπειρικής έρευνας για τη μοντελοποίηση συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών, τα ζητήματα σχεδιασμού της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Κλειστού Βρόχου (CLSC) έχουν λάβει μεγάλη επιστημονική προσοχή. Ιστορικά, οι βιομηχανικές κοινωνίες λειτουργούσαν σύμφωνα με ένα μοντέλο «χρήσης και διάθεσης», στο οποίο οι λύσεις στο τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων συμπίπτουν κυρίως με την υγειονομική ταφή και την αποτέφρωση (Andrews, 2015). Στον σύγχρονο κόσμο, είναι απολύτως απαραίτητο να παρέχονται καινοτόμα πρότυπα κατανάλωσης και παραγωγής προκειμένου να ολοκληρωθεί η επιτυχής μετάβαση σε ένα μοντέλο ανάπτυξης που να είναι βιώσιμο (Rezaei and Kheirkhah, 2018).

Η Κυκλική Οικονομία (CE) είναι ένα εναλλακτικό παράδειγμα που στοχεύει να ξεπεράσει το υπάρχον μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης «take-make-dispose» κάνοντας πιο αποτελεσματική χρήση των πόρων. Αυτό γίνεται για να επιτευχθεί καλύτερη ισορροπία μεταξύ της οικονομίας, του περιβάλλοντος και της κοινωνίας (Ghisellini et al., 2016). Στόχος της Κυκλικής Οικονομίας είναι η προώθηση περιβαλλοντικά και κοινωνικά βιώσιμων βιομηχανικών συστημάτων (Miller, 2013). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2015), σε μια κυκλική

οικονομία (CE), η αξία των υλικών και των προϊόντων διατηρείται για όσο διάστημα είναι πρακτικά δυνατό. Τα απόβλητα και η χρήση πόρων μειώνονται και οι πόροι διατηρούνται εντός της οικονομίας ακόμη και αφού ένα προϊόν έχει φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του μέσω των διαδικασιών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης.

Παρά το γεγονός ότι η νομοθεσία και οι οδηγίες εκδίδονται από κυβερνήσεις και υπερεθνικούς φορείς σε μια προσπάθεια επιτάχυνσης της μετάβασης προς μια CE, οι αυξημένες προσπάθειες από τους βιομηχανικούς οργανισμούς είναι επίσης σημαντικές (Bressanelli et al., 2019). Ως συνέπεια αυτού, ο σχεδιασμός κατάλληλων αλυσίδων εφοδιασμού αποτελεί σημαντικό στοιχείο στη διαδικασία εφαρμογής των πρακτικών της κυκλικής οικονομίας (Genovese et al., 2017). Στο επίπεδο της εφοδιαστικής αλυσίδας (SC), είναι δυνατή η εφαρμογή των αρχών CE χρησιμοποιώντας μια ποικιλία διαφορετικών διαμορφώσεων, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- Προσεγγίσεις που ονομάζονται reverse SC, στις οποίες η έμφαση δίνεται αποκλειστικά στη ροή προϊόντων και υλικών προς την αντίθετη κατεύθυνση, χωρίς καμία ενοποίηση ή συντονισμό με δραστηριότητες παραγωγής.
- Προσεγγίσεις εφοδιαστικής αλυσίδας ανοιχτού βρόχου, οι οποίες ασχολούνται τόσο με τις μελλοντικές όσο και με τις αντίστροφες ροές προϊόντων, με τρίτους (εκτός από τους αρχικούς κατασκευαστές) που είναι υπεύθυνοι για τις αντίστροφες λειτουργίες (Genovese et al., 2017).
- Προσεγγίσεις SC κλειστού βρόχου, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ενσωμάτωση τόσο των προωθητικών όσο και των αντίστροφων δικτύων σε ένα ενιαίο, κεντρικά διαχειριζόμενο σύστημα (Rezpour et al., 2014).

Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού, οι Εφοδιαστικές Αλυσίδες κλειστού βρόχου (CLSCs), οι οποίες επιτρέπουν την επανεπεξεργασία των ροών προϊόντων και τις εργασίες ανάκτησης μετά την αγορά, μπορούν να αναγνωριστούν από μια σειρά διακριτικών χαρακτηριστικών (Van Engeland et al., 2020). Οι οργανισμοί που αποφασίζουν να υιοθετήσουν προσεγγίσεις CLSC και να αναδιαμορφώσουν τις δραστηριότητες για πρακτικές κυκλικής οικονομίας CE έχουν τη δυνατότητα να αποκομίσουν οφέλη στους τομείς του περιβάλλοντος, της κοινωνίας και της οικονομίας. Ο σχεδιασμός των CLSCs είναι πράγματι μια πολύ σημαντική στρατηγική απόφαση λόγω των μακροχρόνιων επιπτώσεων τέτοιων επιλογών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υιοθέτηση των διαμορφώσεων CLSC μπορεί να συνδέεται με μεγάλες αρχικές επενδύσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν ειδικές εγκαταστάσεις για τη συλλογή και την επανεπεξεργασία προϊόντων στο τέλος της παραδοσιακής ζωής τους (Nagasawa et al., 2017). Επομένως, απαιτούνται κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού προκειμένου να αξιολογηθεί προσεκτικά η βιωσιμότητα των διαφορετικών διαμορφώσεων CLSC (Gonbadi et al. 2021) (Tavana et al. 2022).

Οι στρατηγικές για την ανάκτηση προϊόντων, την ανακατασκευή, την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση είναι τα συστατικά της αντίστροφης εφοδιαστικής. Αυτές οι στρατηγικές χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μείωση της ποσότητας πρώτων υλών που καταναλώνονται από τα συστήματα μελλοντικής εφοδιαστικής (Govindan et al., 2020; Azadnia et al., 2021). Η έννοια του CLSC προκύπτει ως αποτέλεσμα της ταυτόχρονης συνεκτίμησης τόσο της έμπροσθεν, όσο και της αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας (Govindan et al., 2015, Marcos et al., 2021). Για την αποτελεσματική διαχείριση της ροής των υλικών σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, τα σημερινά CLSC χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία στρατηγικών εξοικονόμησης χρόνου, όπως η παραλαβή και παράδοση πακέτων ταυτόχρονα με τη διασταύρωση (Marcos et al., 2021). Εάν αυτές οι στρατηγικές τεθούν σε εφαρμογή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι αλυσίδες εφοδιασμού να παρουσιάσουν σημαντική αύξηση στην ευελιξία και την. Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον σχετικά με την επιτυχή ενσωμάτωση μεθόδων δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη παραλαβή και παράδοση (Michaud and

Llerena, 2011). Οι εκπομπές που παράγονται από τις αστικές εμπορευματικές μεταφορές μπορούν να μειωθούν σημαντικά μέσω της εφαρμογής στρατηγικών πρωτοβουλιών (για παράδειγμα, ταυτόχρονη παραλαβή και παράδοση) (Kancharla and Ramadurai, 2018). Η αποτελεσματικότητα της αντίστροφης εφοδιαστικής πολλών επιχειρήσεων μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά με την εφαρμογή στρατηγικών ανακατασκευής. Η ανακατασκευή προϊόντων που έχουν ήδη πουληθεί μειώνει τη χρήση των πόρων και επιτρέπει τη μείωση των δυνητικά επιζήμιων επιπτώσεων στο περιβάλλον (Zhang et al., 2021).

Το έργο της διασφάλισης ότι τα αγαθά διανέμονται εντός των αλυσίδων εφοδιασμού με αποτελεσματικό τρόπο θεωρείται δύσκολο και προκλητικό (Dulebenets, 2019). Το cross-docking είναι μια στρατηγική διανομής που χρησιμοποιείται συνήθως για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αλυσίδων εφοδιασμού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταφορά εμπορευμάτων που έχουν εισαχθεί από τους προμηθευτές στο cross-dock καθώς και σε άλλο όχημα που θα παραδώσει τα εμπορεύματα. Η ενσωμάτωση της δρομολόγησης και της διασταύρωσης οχημάτων επιτρέπει τον εντοπισμό ενός συνόλου διαδρομών που είναι αποτελεσματικές για την ικανοποίηση των απαιτήσεων για τη μεταφορά μεταξύ των σημείων παραλαβής και παράδοσης (Tavana et al. 2022). Ως άμεση συνέπεια αυτού, το κόστος διατήρησης του αποθέματος περιορίζεται στο ελάχιστο και το cross-dock δεν απαιτεί την κατασκευή εκτεταμένων εγκαταστάσεων αποθήκευσης. Επιπλέον, η διαδικασία ενοποίησης που λαμβάνει χώρα στο cross-dock βοηθά στη μείωση του κόστους διανομής που προκύπτει σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού (Baniamerian et al., 2019; Abad et al., 2018).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο σχεδιασμός ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί από τον κατασκευαστή να κάνει μεγάλο αριθμό στρατηγικών και επιχειρησιακών επιλογών. Η επιλογή των προμηθευτών και η διανομή των παραγγελιών είναι δύο από τα πιο κοινά ζητήματα που προκύπτουν στα δίκτυα της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα οποία μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στους χρόνους παράδοσης και στο κόστος (Lo et al., 2018). Το πρόβλημα δρομολόγησης τοποθεσίας-αποθέματος-δρομολόγησης (LIR) είναι ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που έχει σημαντικό αντίκτυπο στις συνολικές εκπομπές και στο κόστος που σχετίζεται με την απογραφή σε δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας (Saragih et al., 2019). Σε παρόμοιο πνεύμα, οι λειτουργίες και οι στρατηγικές cross-docking που συνδυάζουν την παραλαβή και την παράδοση μπορούν να μειώσουν άμεσα τόσο τις εκπομπές όσο και το κόστος μεταφοράς (Abad et al., 2018).

Η αμφίδρομη ροή είναι μια άλλη στρατηγική που χρησιμοποιείται συνήθως για τον περιορισμό των αποβλήτων και τη βελτίωση της βιωσιμότητας των αλυσίδων εφοδιασμού (Tavana et al. 2022). Οι αποφάσεις σχετικά με το χρονικό παράθυρο που λαμβάνονται αποτελεσματικά στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν επίσης να οδηγήσουν στην ιεράρχηση των πελατών και στην ικανοποίησή τους. Τα μοντέλα που έχουν προταθεί για το σχεδιασμό δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας είναι πολύπλοκα και περιλαμβάνουν πολλές παραμέτρους. Ένα από τα πιο κοινά ζητήματα που ανακύπτουν με τη μοντελοποίηση είναι η έλλειψη προσβασιμότητας σε δεδομένα του πραγματικού κόσμου για σκοπούς επικύρωσης. Η πλειοψηφία των σχεδιαστών αλυσίδων εφοδιασμού καταφεύγει στη χρήση προσομοιωμένων δεδομένων για να λύσει αυτό το πρόβλημα. Το πρόβλημα με τα δεδομένα προσομοίωσης είναι ότι δεν είναι πάντα εφικτό να ανακτηθούν.

Συμπερασματικά, μία από τις πιο δύσκολες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές όταν προσπαθούν να λύσουν δύσκολα ζητήματα σχεδιασμού δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η επιλογή μιας κατάλληλης προσέγγισης λύσης πολλαπλών στόχων.

Μερικές από τις πιο επιζήμιες επιπτώσεις των μελλοντικών συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν την αύξηση της ποσότητας των προϊόντων που έχουν φτάσει στο τέλος χρήσης ή στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Συλλέγοντας δυνητικά επικίνδυνα προϊόντα ΕΟУ/ΕΟL μέσω

αντίστροφης εφοδιαστικής και στη συνέχεια επαναχρησιμοποιώντας αυτά τα προϊόντα σε μελλοντική εφοδιαστική, το CLSC παρέχει μια αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα των επικίνδυνων προϊόντων EOU/EOL. Τα δίκτυα CLSC προορίζονται για τη συλλογή, ταξινόμηση, επισκευή, ανακαίνιση ή ανακατασκευή προϊόντων EOU/EOL προτού τα αφαιρέσουν τελικά από την κυκλοφορία με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο (Shaharudin et al., 2019).

Ο Soysal (2016) εξέτασε ένα πρόβλημα που αφορούσε τη δρομολόγηση παραλαβών και παραδόσεων αποθεμάτων εντός χρονικών παραθύρων και σε έναν ορίζοντα προγραμματισμού. Πρότειναν τη χρήση ενός MILP (Tavana et al. 2022). Ομοίως, οι Lassinovskaia et al. (2017) διερεύνησαν το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων σε ένα CLSC και εστίασαν στα επιστρεφόμενα αντικείμενα σε χρονικά παράθυρα ενώ πρότειναν ένα μεταερευτικό μοντέλο ως λύση στο πρόβλημα. Στη μελέτη τους για ένα δίκτυο CLSC, οι Soleimani et al. (2017) ανέπτυξαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο γενετικού αλγορίθμου που περιλάμβανε κατασκευαστές, πελάτες, προμηθευτές, αποθήκες, κέντρα διανομής και κέντρα επιστροφής και ανακύκλωσης. Σε παρόμοιο πνεύμα, οι Chen et al. (2017) πρότειναν ένα μοντέλο πολλαπλών στόχων για τη βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους καθώς και των εκπομπών άνθρακα στα CLSC που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ηλιακής ενέργειας. Οι Jiao et al. (2018) ερεύνησαν ένα σχέδιο CLSC λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα αβεβαιότητας και πρότεινε μια προσαρμοστική, βασισμένη σε δεδομένα, ισχυρή στρατηγική για τη βελτιστοποίηση των εκπομπών άνθρακα (Tavana et al. 2022).

Ένα στοχαστικό μοντέλο MILP δύο σταδίων με αβέβαιη ποιότητα και ποσότητα των επιστρεφόμενων προϊόντων προτάθηκε από τους Zeballos et al. (2018) αφού εξέτασαν ένα πρόβλημα σχεδιασμού δικτύου πολλαπλών προϊόντων, πολλαπλών κλιμακίων και πολλών περιόδων σε ένα CLSC. Το μοντέλο τους λαμβάνει υπόψη το σχεδιασμό δικτύων που παράγουν νέα προϊόντα ή ανακατασκευάζουν υπάρχοντα, καθώς και νέες ή ανακτημένες πηγές πρώτων υλών. Επιπλέον, στη λειτουργία του δικτύου συνυπολογίστηκαν οι ανάγκες των πελατών της πρώτης και δεύτερης αγοράς, καθώς και των κέντρων ανάκτησης και ανακύκλωσης. Ελήφθησαν επίσης υπόψη οι προμηθευτές πρώτων υλών, οι εγκαταστάσεις παραγωγής και οι κόμβοι διανομής. Οι Noh and Kim (2019) διεξήγαγαν έρευνα σε μια συνεργατική πράσινη εφοδιαστική αλυσίδα που υπόκειτο σε κανονισμούς ελέγχου των εκπομπών. Αυτή η αλυσίδα αποτελούνταν από έναν κατασκευαστή που διέθετε πολλά προϊόντα και πολλούς λιανοπωλητές που είχαν περιορισμένους πόρους. Ξεκίνησαν διατυπώνοντας το υπό εξέταση ζήτημα και στη συνέχεια διερεύνησαν δύο πιθανές λύσεις σε αυτό: ένα μοντέλο γενετικού αλγορίθμου και μια υβριδική αναζήτηση γενετικού αλγορίθμου-μοτίβου. Οι Zhen et al. (2019) πρότειναν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης δύο στόχων για την ανάπτυξη ενός πράσινου και βιώσιμου δικτύου CLSC. Οι Mardan et al. (2019) δημιούργησαν ένα πράσινο δίκτυο CLSC που ήταν πολλαπλών περιόδων, πολλαπλών προϊόντων και πολλαπλών μέσων. Προτείναν τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο αποσύνθεσης επιταχυνόμενων καμπτήρων. Επικύρωσαν τα μοντέλα τους εφαρμόζοντας τα προτεινόμενα μοντέλα τους στη βιομηχανία καλωδίων και πραγματοποιώντας μια ανάλυση ευαισθησίας (Tavana et al. 2022). Οι Yavari και Geraeli (2019) εστίασαν στην ανάπτυξη ενός πράσινου δικτύου CLSC παρά την παρουσία αβεβαιότητας και πρότειναν ένα μοντέλο MILP καθώς και ένα νέο ευρετικό για την επίλυση προβλημάτων σε μεγάλη κλίμακα. Λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές άνθρακα και έναν ετερογενή στόλο, οι De and Giri (2020) ανέπτυξαν ένα μοντέλο μη γραμμικού προγραμματισμού μικτού ακέραιου αριθμού (MINLP) σε ένα δίκτυο CLSC. Το μοντέλο τους εστιάζει ταυτόχρονα στη μείωση τόσο του συνολικού κόστους του δικτύου όσο και της ποσότητας των εκπομπών άνθρακα που παράγονται. Λαμβάνοντας υπόψη την ταυτόχρονη παραλαβή και παράδοση, την έλλειψη, το πρόβλημα LIR και τον προγραμματισμό οχημάτων, οι Parast et al. (2021) πρότειναν ένα μοντέλο MILP με δύο στόχους για το σχεδιασμό μιας πράσινης αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας για τα ευπαθή

προϊόντα. Έλυσαν το πρόβλημα του προτεινόμενου μοντέλου παρουσία αβεβαιότητας χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση ασαφούς λύσης πολλαπλών στόχων και αξιολόγησαν την απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου στο πλαίσιο της βιομηχανίας διανομής ψωμιού. Ένα μοντέλο MINLP προτάθηκε από τους Poursoltan et al. (2021) για ένα δίκτυο CLSC δύο επιπέδων, λαμβάνοντας υπόψη το μαθησιακό αποτέλεσμα και τη σύμβαση αποθέματος που διαχειρίζεται ο προμηθευτής. Ανέπτυξαν έναν ισχυρό μετα-ευρετικό αλγόριθμο προκειμένου να λύσουν το πρόβλημα που τους παρουσιάστηκε. Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο MILP που βασίστηκε σε μια προσέγγιση ασαφούς προγραμματισμού, οι Sadeghi Ahangar et al. (2021) σχεδίασαν ένα βιώσιμο δίκτυο CLSC για τη διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων. Το δίκτυο προοριζόταν να είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Το μοντέλο τους αναπτύχθηκε για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης όσον αφορά το συνολικό κόστος, τον αριθμό των εργαζομένων και την ποσότητα των εκπομπών. Η έρευνα που δημοσιεύεται στους τομείς της αντίστροφης εφοδιαστικής και του CLSC είναι εκτενής και περιλαμβάνει μελέτες για τη διαχείριση των απορριμάτων, την ανακύκλωση (Saragih et al., 2019; Govindan et al., 2020), ανακατασκευή (Zhang et al., 2020) και επαναχρησιμοποίηση (Tavana et al. 2022).

Μια ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι μια ποικιλία στρατηγικών λύσεων πολλαπλών στόχων έχουν εφαρμοστεί στη διαδικασία σχεδιασμού αντίστροφης αλυσίδας εφοδιασμού και δικτύων CLSC προκειμένου να λυθούν μαθηματικά μοντέλα πολλαπλών στόχων. Οι ερευνητές στρέφονται συχνά στον προγραμματισμό στόχων ως μία από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για την επίλυση περίπλοκων μοντέλων με περισσότερες από δύο αντικειμενικές συναρτήσεις (Zandkarimkhani et al., 2020). Στη μελέτη τους του 2018, οι Bal και Satoglu παρουσίασαν ένα μοντέλο προγραμματισμού στόχων για τη βιώσιμη διαχείριση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών απορριμμάτων σε μια αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αντιμετώπισης της μη προβλεψιμότητας σε βιώσιμα δίκτυα CLSC, οι Nayeri et al. (2020) ανέπτυξαν ένα πολλαπλών στόχων μαθηματικό μοντέλο που λειτουργεί υπό αβεβαιότητα και ενσωματώνει ένα ισχυρό ασαφές στοιχείο. Οι Nasr et al. (2021) παρουσίασαν μια νέα ολοκληρωμένη προσέγγιση βασισμένη στη μέθοδο καλύτερο-χειρότερο και το MOMILP για το σχεδιασμό ενός βιώσιμου δικτύου CLSC με πρόβλημα LIR, επιλογή προμηθευτή, κατανομή παραγγελιών, προγραμματισμό οχημάτων και cross-docking (Tavana et al. 2022).

Η υιοθέτηση ευέλικτων τεχνολογιών και η μαζική παραγωγή που κατέστη δυνατή μέσω της διαχείρισης γνώσης, της μηχανογράφησης και των γρήγορων αναδιαρθρώσεων για γενιές προϊόντων είναι μερικά μόνο παραδείγματα των απίστευτων τεχνολογικών προόδων που έχουν σημειωθεί στην αλυσίδα εφοδιασμού της παραγωγής τις τελευταίες δεκαετίες. Επειδή οι κύκλοι ζωής των προϊόντων γίνονται συνεχώς μικρότεροι, οδηγώντας σε αύξηση τόσο της ανταγωνιστικότητας όσο και του ανταγωνισμού, οι κατασκευαστές αναγκάζονται να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού τους προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικοί (SC) (Baghizadek et al. 2021). Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη ροών που πρέπει να αντιμετωπιστούν: το πρώτο είδος ονομάζεται μελλοντική εφοδιαστική αλυσίδα (SC) και περιλαμβάνει τα πάντα, από την απόκτηση πρώτων υλών έως τη μεταφορά προϊόντων ή/και υπηρεσιών στους πελάτες, το δεύτερο είδος ονομάζεται backward/reverse εφοδιαστική αλυσίδα (SC) και αναφέρεται στη διαδικασία με την οποία ελαττωματικά προϊόντα ή προϊόντα που έχουν παραδοθεί στον κατασκευαστή από πελάτες αφού τα έχουν χρησιμοποιήσει αποσυναρμολογούνται, επεξεργάζονται ξανά και χρησιμοποιούνται ξανά στην παραγωγή. Επειδή αυτές οι ροές επιστροφής μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στις ίδιες εγκαταστάσεις που μοιράζονται επίσης εξοπλισμό και υποδομή χειρισμού υλικού, οι διαδικασίες αποθήκευσης και χειρισμού τόσο για τις ροές προς τα πίσω όσο και για τις μελλοντικές ροές θα πρέπει να εξετάζονται με ολοκληρωμένο τρόπο. Υποστήριξη για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον σχεδιασμό αυτών των ροών μπορεί να παρέχεται από μαθηματικά μοντέλα. Οι αλυσίδες

ανεφοδιασμού που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο αναφέρονται συνήθως ως αλυσίδες εφοδιασμού "κλειστού βρόχου".

Η ρύπανση του περιβάλλοντος και η εξάντληση των φυσικών πόρων έχουν αναδειχθεί και τα δύο ως μεγάλα προβλήματα που χρήζουν άμεσης προσοχής τα τελευταία χρόνια. Η προστασία του περιβάλλοντος και η ενεργειακή απόδοση γίνονται όλο και πιο σημαντικοί τομείς εστίασης για τα έθνη και τους διεθνείς οργανισμούς. Η μεταποίηση αναλαμβάνει ένα μοναδικό ρόλο στην τήρηση και την εφαρμογή των προτύπων μέτρησης βιωσιμότητας. Η χρήση πόρων για την κάλυψη των αναγκών του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες είναι ο ουσιαστικός στόχος της πρακτικής της βιωσιμότητας. Βασίζεται σε τρεις πυλώνες, περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς, όπου ο περιβαλλοντικός πυλώνας περιλαμβάνει, για παράδειγμα, μέτρα όπως η μείωση των επιβλαβών για το περιβάλλον εκπομπών. Ο κοινωνικός πυλώνας περιλαμβάνει πτυχές της κοινωνικής ευημερίας, όπως η διατήρηση θέσεων εργασίας ή η δημιουργία νέων ευκαιριών εργασίας, καθώς και πτυχές του εργασιακού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων υγείας και ασφάλειας, της άδειας μητρότητας/πατρότητας, των ευέλικτων προγραμμάτων εργασίας, των ευκαιριών μάθησης και ανάπτυξης, καθώς και τη δέσμευση της κοινότητας. Ο οικονομικός πυλώνας επικεντρώνεται στους στόχους κερδοφορίας των επιχειρήσεων (Baghizadek et al. 2021).

Οι διαδικασίες ανακύκλωσης και ανακατασκευής μεταχειρισμένων προϊόντων δημιουργούν περαιτέρω ευκαιρίες απασχόλησης για τις τοπικές κοινότητες και μπορούν να είναι οικονομικά βιώσιμες για επιχειρήσεις που συμμορφώνονται με κανόνες και κανονισμούς που αφορούν το περιβάλλον, ενώ μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμες για εταιρείες που ανακυκλώνουν και ανακατασκευάζουν προϊόντα σε μια οικονομία που \ εκπέμπει χαμηλά επίπεδα άνθρακα.

Στην πραγματικότητα, οι επιχειρήσεις θέτουν σε εφαρμογή μια ποικιλία στρατηγικών που συνδέονται με μία ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής του προϊόντος. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν προγραμματισμό παραγωγής ενσωματωμένο σε πολιτικές ελέγχου ανακατασκευής, την ανάκτηση προϊόντων, την κατασκευή CLSC και τη συνολική μείωση των εκπομπών άνθρακα. Ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή και τη μεταφορά είναι βασικοί στόχοι που πρέπει να επιδιώκονται κατά την εφαρμογή βιώσιμων επιχειρηματικών πρακτικών. Η ανάπτυξη αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου έχει επιπτώσεις για μια ποικιλία άλλων αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με στρατηγικό χρονικό ορίζοντα τριών έως δέκα ετών και εκείνων με σύντομο χρονικό ορίζοντα ενός έως δώδεκα μηνών. Αυτές οι αποφάσεις περιλαμβάνουν την επιλογή τεχνολογιών ανακατασκευής και παραγωγής, προμηθευτών, τοποθεσιών εγκαταστάσεων, στρατηγικών ανάκτησης προϊόντων και δικτύων μεταφοράς και έχουν αντίκτυπο στην κοινωνική συνεισφορά της εταιρείας, ιδίως όσον αφορά την απασχόληση και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τις κοινότητες στις οποίες δραστηριοποιείται (Baghizadek et al. 2021).

Λόγω της συμπερίληψης των αντίστροφων ροών προϊόντων, είναι εξαιρετικά σημαντική η επίδραση που έχει η αβεβαιότητα στον σχεδιασμό των δικτύων CLSC. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε μια σειρά διαφορετικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας και της ποσότητας των προϊόντων που στάλθηκαν πίσω. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι αβεβαιότητας που μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πρόκειται για τη συστημική αβεβαιότητα και την περιβαλλοντική αβεβαιότητα. Η παραγωγή και η διανομή αγαθών είναι δύο παραδείγματα των διαδικασιών που συνδέονται με τη συστημική αβεβαιότητα. Η απόδοση των διαφόρων φορέων SC, όπως οι προμηθευτές και οι κατασκευαστές, συνδέεται με το περιβαλλοντικό απρόβλεπτο. Όταν υπάρχουν περισσότεροι παράγοντες που εμπλέκονται σε μία CLSC, το σύστημα γίνεται πιο περίπλοκο. Επιπλέον,



απρόβλεπτα γεγονότα που έχουν παγκόσμιο αντίκτυπο στις SC έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν διακοπές. Ένα παράδειγμα αυτού είναι η έκρηξη του ισλανδικού ηφαιστείου Eyjafjallajökull το 2010, η οποία προκάλεσε την άμεση διακοπή της εναέριας κυκλοφορίας στην Ευρώπη. Λόγω έλλειψης ανταλλακτικών από προμηθευτές, οι γραμμές παραγωγής αναγκάστηκαν να σταματήσουν. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η οικονομική κρίση που σημειώθηκε το 2008 ή η παγκόσμια πανδημία που εμφανίστηκε ως αποτέλεσμα του ιού COVID-19. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, η κοινωνική απομόνωση και το κλείσιμο τοποθεσιών όπου τα άτομα θα μπορούσαν να συγκεντρωθούν και να μολυνθούν είχαν σημαντικό αντίκτυπο σε ολόκληρους επιχειρηματικούς τομείς.

Οι εταιρείες εφαρμόζουν μέτρα που κάνουν την SC τους πιο ανθεκτική σε μια προσπάθεια να μειώσουν τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την απρόβλεπτη φύση ορισμένων γεγονότων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη θέσπιση μιας ποικιλίας ευέλικτων ρυθμίσεων που λαμβάνουν υπόψη την SC στο σύνολό της, μια διαδικασία που πρέπει να εκτελείται με εξαιρετική προσοχή. Δεν πρέπει να προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι ο χρόνος που αφιερώνεται στην έρευνα αυτού του θέματος έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Στην πραγματικότητα, προτείνονται από τους ερευνητές πολλές ιδέες που στοχεύουν στην πραγματοποίηση αλλαγών που θα κάνουν τις εφοδιαστικές αλυσίδες λιγότερο ευάλωτες σε γεγονότα που προκαλούν αναστάτωση (Baghizadek et al. 2021).

Η διαχείριση των CLSCs έχει συγκεντρώσει μεγάλη προσοχή τα τελευταία δέκα χρόνια. Η σχετική έρευνα ασχολείται με την εξέταση, το σχεδιασμό και την ενοποίηση των ροών επιστροφής και την επανεπεξεργασία των χρησιμοποιημένων προϊόντων εντός του συνολικού δικτύου, που περιλαμβάνει την αποκατάσταση, τη συλλογή και την επισκευή χρησιμοποιημένων προϊόντων παράλληλα με δραστηριότητες που σχετίζονται με το μέλλον. Ωστόσο, η ανάκτηση πολύτιμων υλικών από ανακυκλωμένα προϊόντα μπορεί επίσης να οδηγήσει σε οικονομικά οφέλη. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι τα κινητά τηλέφωνα, τα οποία περιέχουν πολύτιμα μέταλλα όπως χαλκό, αλουμίνιο, χάλυβα, ασήμι, χρυσό και κοβάλτιο, περιλαμβάνονται στον κατάλογο των κρίσιμων πρώτων υλών της Επιτροπής της ΕΕ (Baghizadek et al. 2021).

Αρχικά, κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των CLSC, πρέπει να ληφθούν στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με το πού και πόσες εγκαταστάσεις θα ανοίξουν (ή θα κλείσουν). Αυτό έχει σημαντική επίπτωση στις αποφάσεις που λαμβάνονται σε τακτικό επίπεδο σχετικά με τις πιθανές προς τα εμπρός και αντίστροφες ροές μεταξύ των εγκαταστάσεων. Οι Akcali et al. παρέχουν μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τον στρατηγικό σχεδιασμό, συμπεριλαμβανομένων των αποφάσεων υποδομής είτε για ροές προς τα πίσω είτε για ροές προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Φαίνεται ότι ένα σημαντικό μέρος του σώματος της έρευνας είναι αφιερωμένο στο θέμα των πολυκριτηρίων και των αντικειμενικών διατυπώσεων. Σύμφωνα με τους Govindan et al., το 88 τοις εκατό των προτεινόμενων μοντέλων για CLSCs χρησιμοποιούν είτε βιοαντικειμενική είτε πολυκριτηριακή προσέγγιση (Baghizadek et al. 2021).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αβεβαιότητα έχει σημαντική επίδραση στις αποφάσεις που λαμβάνει η CLSC, τόσο στρατηγικά όσο και τακτικά. Ως αποτέλεσμα, ανακαλύπτουμε πολλά στοχαστικά μοντέλα για το σχεδιασμό CLSC. Ο Inderfurth, για παράδειγμα, παρουσίασε ένα δίκτυο CLSC που βασίστηκε σε ένα στοχαστικό μοντέλο προγραμματισμού. Προκειμένου να εξηγήσει το απρόβλεπτο της ποιότητας των προϊόντων, αντιμετωπίζει τα προϊόντα, τις απαιτήσεις και τα ποσοστά επιστροφής σαν να ήταν τυχαία.

Ο Ozceylan και ο Paksoy προτείνουν ένα μοντέλο πολλαπλών περιόδων μείγματος ακέραιου μη γραμμικού προγράμματος (MINLP) για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών αποφάσεων για το CLSC. Πιο συγκεκριμένα, ευθύνονται για την αβεβαιότητα στις χωρητικότητες, τη ζήτηση, τους αντίστροφους συντελεστές και τους στόχους, με τους

τελευταίους να στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, αγοράς, ανακαίνισης και πάγιου κόστους. Στην πραγματικότητα, οι αντίστροφοι ρυθμοί καθιστούν τα μαθηματικά μοντέλα πολύ πιο δύσκολα στην κατανόηση (Baghizadek et al. 2021).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η βιωσιμότητα αντιμετωπίζει τρεις πυλώνες, ένας εκ των οποίων είναι περιβαλλοντικός, και περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως η υπερβολική χρήση πόρων και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η διατήρηση του περιβάλλοντος και η επίτευξη της βιωσιμότητας ενισχύονται και τα δύο από τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Υπό το πρίσμα αυτό, οι Zohal και Soleimani αναπτύσσουν ένα πολυλειτουργικό μοντέλο CLSC για τη βιομηχανία χρυσού με στόχο την ελαχιστοποίηση των εκπομπών άνθρακα επιπλέον του συνολικού κόστους SC. Χρησιμοποιούν μια μέθοδο που βασίζεται σε μια βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών για να λάβουν σχεδόν βέλτιστα αποτελέσματα από την αναζήτησή τους για λύσεις. Επιπλέον, οι Soleimani et al. προτείνουν μια φιλική προς το περιβάλλον αλυσίδα CLSC ως λύση στο πρόβλημα των χαμένων εργασιμών ημερών και των ανησυχιών σχετικά με το περιβάλλον. Για να βρουν μια λύση στο ζήτημα, χρησιμοποιούν έναν γενετικό αλγόριθμο.

Οι Jabbarzadeh et al. δημιουργούν ένα ισχυρό-στοχαστικό μοντέλο βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη τους λειτουργικούς κινδύνους και τους κινδύνους διακοπής του CLSC και περιλαμβάνουν μια μέθοδο λύσης χαλάρωσης Lagrangian. Λαμβάνουν υπόψη ειδικά την προσφορά και τη ζήτηση, καθώς και τις διακοπές του συνόλου των εγκαταστάσεων, και εισάγουν πτυχές για την ενίσχυση της εμφάνισης αυτών των διαταραχών μέσω επενδύσεων. Η απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου αξιολογείται χρησιμοποιώντας προσομοίωση Monte Carlo και η αξιολόγηση βασίζεται σε ένα πραγματικό σενάριο. Ωστόσο, η μελέτη δεν λαμβάνει υπόψη καμία πτυχή της βιωσιμότητας.

Οι Altıparmak et al. προτείνουν ένα μοντέλο πολλαπλών αντικειμενικών παραγόντων μεικτού ακέραιου μη γραμμικού προγραμματισμού (MINLP) για ένα CLSC που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του δικτύου ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιεί τον ρυθμό εκπλήρωσης των απαιτήσεων του πελάτη στον διαθέσιμο χρόνο καθώς και το ισοζύγιο χρησιμοποίησης χωρητικότητας για τα κέντρα διανομής. Αυτό το μοντέλο προορίζεται να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος του δικτύου. Για να λύσουν μια πραγματική υπόθεση, που αφορά μια εταιρεία κατασκευής πλαστικών στην Τουρκία, κάνουν χρήση προσομοίωσης ανόπτησης (Baghizadek et al. 2021).

Στην εργασία τους, οι Amin και Zhang παρουσιάζουν ένα στοχαστικό πολυσκοπικό μοντέλο για το CLSC που έχει τρία στάδια. Η αξιολόγηση των προμηθευτών, των υπεργολάβων ανακατασκευής και των εγκαταστάσεων επανεπεξεργασίας είναι το πρώτο βήμα στη διαδικασία. Το δεύτερο βήμα είναι η διαμόρφωση του δικτύου και το τρίτο βήμα είναι η κατανομή των παραγγελιών. Για να ληφθεί υπόψη η μη προβλεψιμότητα της ζήτησης, χρησιμοποιείται η θεωρία ασαφών συνόλων. Για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων προϊόντων που πρέπει να απορριφθούν, να επεξεργαστούν εκ νέου και να προμηθευθούν από τους προμηθευτές, οι στόχοι είναι να μεγιστοποιηθούν τα αναμενόμενα κέρδη, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα το κόστος αγοράς και το κόστος που σχετίζεται με την ανακαίνιση χώρων και την ανακατασκευή υπεργολάβων. Τα ευρήματα δείχνουν ότι η αναμενόμενη απώλεια στα κέρδη θα είναι ανάλογη με το βαθμό αύξησης του βαθμού αβεβαιότητας της ζήτησης.

Οι Pishvae et al. ανέπτυξαν ένα ασαφές/πιθανολογικό μαθηματικό μοντέλο μικτού γραμμικού προβλήματος (MILP) για ένα CLSC με μια βιοαντικειμενική συνάρτηση που αφορά μια ενιαία περίοδο για ένα πρόβλημα λογιστικού δικτύου που ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα το συνολικό κόστος, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων ανοίγματος, μεταβλητής επεξεργασίας και μεταφοράς. Αυτό το μοντέλο δημιουργήθηκε για ένα CLSC με μια

βιοαντικειμενική συνάρτηση που αφορά μια ενιαία περίοδο για ένα πρόβλημα λογιστικού δικτύου. Ο συνολικός αντίκτυπος στο περιβάλλον, όπως μετράται με έναν δείκτη, περιορίζεται στο μέγεθος ως μέρος του δεύτερου στόχου. Επιπλέον, λαμβάνουν υπόψη το απρόβλεπτο της ζήτησης, το ποσοστό επιστροφών προϊόντων, τα λειτουργικά έξοδα, τα έξοδα αποστολής και τους χρόνους παράδοσης. Το μοντέλο μετατρέπεται αρχικά σε ένα ισοδύναμο βοηθητικό καθαρό μοντέλο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο περιορισμού για να εντοπίσει λύσεις που είναι αποδεκτές και από τα δύο μέρη. Το μοντέλο επικυρώνεται εφαρμόζοντάς το σε ένα πραγματικό σενάριο που περιλαμβάνει σύριγγες και άλλους τύπους ιατρικού εξοπλισμού που, ανάλογα με την περίπτωση, μπορούν είτε να ανακυκλωθούν είτε να καούν στην αντίστροφη ροή στα κέντρα συλλογής και αποσυναρμολόγησης. Σύμφωνα με τα ευρήματα, η στρατηγική για την εξεύρεση λύσης είναι ικανή να εντοπίσει έναν εύλογο συμβιβασμό μεταξύ των δύο στόχων (Baghizadek et al. 2021).

Οι Talaei et al. ανέπτυξαν ένα ασαφές βιοαντικειμενικό μαθηματικό μοντέλο MILP για ένα (πράσινο) δίκτυο CLSC που αποτελείται από κατασκευαστές, ανακατασκευαστές, κέντρα συλλογής/επιθεώρησης, κέντρα διάθεσης και πελάτες που ελαχιστοποιεί ταυτόχρονα το συνολικό κόστος του δικτύου και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που εκφράζονται από τις εκπομπές άνθρακα. Το μοντέλο προορίζεται για ένα (πράσινο) δίκτυο CLSC που αποτελείται από κατασκευαστές, ανακατασκευαστές, κέντρα συλλογής/επιθεώρησης, κέντρα απόρριψης και πελάτες. Χρησιμοποιούν τη μέθοδο περιορισμού για να λύσουν το μοντέλο αφού πρώτα εφαρμόσουν μια ισχυρή προσέγγιση ασαφούς προγραμματισμού για να λάβουν υπόψη την αβεβαιότητα του μεταβλητού κόστους και των ποσοστών ζήτησης. Τα ευρήματα δείχνουν ότι το μοντέλο είναι ικανό να εξισορροπεί με ακρίβεια τις αβεβαιότητες του δικτύου και να παρέχει μια ισχυρή τιμή (Baghizadek et al. 2021).

Οι Zhu και Hu χρησιμοποιούν μια τροποποιημένη έκδοση της μεθόδου περιορισμού για να λύσουν ένα πολυστοχικό μαθηματικό μοντέλο για μία SC τριών επιπέδων που αποτελείται από προμηθευτές, κατασκευαστές και πελάτες. Αυτό το μοντέλο αντιμετωπίζει και τους τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας στο πλαίσιο της λήψης στρατηγικών αποφάσεων. Χρησιμοποιεί την αξιολόγηση του κύκλου ζωής ως μέθοδο για τη μέτρηση του περιβαλλοντικού παράγοντα και χρησιμοποιεί τις κατευθυντήριες γραμμές αναφοράς βιωσιμότητας ως μέθοδο για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κοινωνικής συνιστώσας. Το μοντέλο βοηθά τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων παρέχοντας λύσεις ανταλλαγής που λαμβάνουν υπόψη διάφορες περιβαλλοντικές και κοινωνικές απαιτήσεις. Αυτές οι λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την επιλογή τοποθεσιών εγκαταστάσεων, τεχνολογιών, κατασκευαστών προϊόντων και κατανομής ζήτησης.

Σε ένα πολυκριτηριακό περιβάλλον, οι Sreekumar και Rajmohan συζητούν την πολυπλοκότητα της διαδικασίας αξιολόγησης και επιλογής για στρατηγικές βιωσιμότητας στην κατασκευή SC. Για να επιτευχθεί αυτό, συνδυάζουν την αναλυτική ιεραρχική επεξεργασία (AHP), την υποκειμενική και αντικειμενική ολοκληρωμένη προσέγγιση βάρους (SOWIA) και την «Τεχνική για Σειρά Προτίμησης κατά Ομοιότητα στην Ίδανική Λύση» (TOPSIS), η οποία είναι μια μέθοδος παραγγελίας προτίμησης λόγω ομοιότητας με μια ιδανική λύση. Δείχνουν ότι η προσέγγισή τους μπορεί να υποστηρίξει τους λήπτες αποφάσεων στην εύρεση του κατάλληλου επιπέδου υποκειμενικότητας καθώς και αντικειμενικότητας για τις αποφάσεις τους, βελτιώνοντας την ορατότητα του προβλήματος και την ευελιξία στην ανάλυσή του. Αυτό βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να βρουν το βέλτιστο επίπεδο υποκειμενικότητας για τις αποφάσεις τους. Ωστόσο, αποτυγχάνουν να λάβουν υπόψη την αλληλεξάρτηση των παραγόντων.

Για να επιτύχουν τον στόχο τους να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα, οι Jiang et al. ανέπτυξαν ένα μοντέλο MILP που λαμβάνει υπόψη τις βέλτιστες αποφάσεις που μπορούν να

ληφθούν σχετικά με την επιλογή συνεργάτη, την επιλογή τεχνολογίας, την επιλογή τρόπου μεταφοράς, την προμήθεια υλικών και προϊόντων και τις ροές επιστροφής. Παρουσιάζουν μια ανάλυση ευαισθησίας που εστιάζει στις επιπτώσεις των παραλλαγών του αποτυπώματος άνθρακα καθώς και του ποσοστού ανάκτησης του προϊόντος (Baghizadek et al. 2021). Δείχνουν ότι οι μικρές αυξήσεις στην τιμή του άνθρακα έχουν μικρές επιπτώσεις στον σχεδιασμό του δικτύου CLSC, ενώ η αύξηση του ποσοστού ανάκτησης έχει σημαντικό αντίκτυπο στις διαδικασίες προμήθειας και ανακύκλωσης. Με παρόμοιο τρόπο, οι Liu και Hu διερευνούν την αλληλεπίδραση μεταξύ των φορολογικών πολιτικών άνθρακα και του συντονισμού της αλυσίδας εφοδιασμού, επεκτείνοντας το πεδίο εφαρμογής τους για να συμπεριλάβουν τη συμπεριφορά των πελατών. Μοντελοποιούν το ζήτημα χρησιμοποιώντας έννοιες από τη θεωρία παιγνίων. Ο Ma χρησιμοποιεί επίσης τη θεωρία παιγνίων στη διαδικασία έρευνας των επιπτώσεων της συνεργασίας για πράσινες εφοδιαστικές αλυσίδες κλειστού βρόγχου CLSC. Το προτεινόμενο μοντέλο MILP που οι Sadeghi et al. έχουν αναπτύξει για το σχεδιασμό CLSC που ενσωματώνει αποφάσεις σχετικά με την τοποθεσία και τη δρομολόγηση. Οι Baghizadeh et al. παρουσίασαν ένα πολυπεριοδικό μοντέλο πολλαπλών στόχων μεικτού ακέραιου μη γραμμικού προγραμματισμού (MINLP) με στόχους τη βελτίωση των κοινωνικών πτυχών, την ελαχιστοποίηση του αριθμού των χαμένων απαιτήσεων και τη μεγιστοποίηση των κερδών. Σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων όλων των εγκαταστάσεων, προμηθευτών και μηχανημάτων, έχουν εφαρμοστεί αποφάσεις τόσο στρατηγικές όσο και τακτικές. Προκειμένου να λύσουν το μαθηματικό μοντέλο, χρησιμοποίησαν έναν περιορισμό έψιλον σε συνδυασμό με μια χαλάρωση Lagrangian.

Οι Johnson et al. παρουσιάζουν ένα αναλυτικό πλαίσιο που εξετάζει στρατηγικές μετριασμού κινδύνου για την ευρωστία και την ανθεκτικότητα ενός SC χρησιμοποιώντας βελτιστοποίηση και προσομοίωση για να ποσοτικοποιήσουν τον αντίκτυπο των διαταραχών και τα οφέλη από την εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού του κινδύνου. Αυτό το πλαίσιο αναπτύχθηκε για να βοηθήσει να ποσοτικοποιηθεί ο αντίκτυπος των διαταραχών και τα οφέλη από την εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού του κινδύνου. Παρουσιάζουν μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των διαφόρων προσεγγίσεων που μπορούν να ληφθούν για την οικοδόμηση ανθεκτικότητας στις SC και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η εισαγωγή της ευελιξίας είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης των διαταραχών και παροχής ανθεκτικότητας SC (Baghizadek et al. 2021).

Οι Zahiri et al. προτείνουν ένα στοχαστικό πολυκριτήριο MILP για την φαρμακευτική αλυσίδα εφοδιασμού που λαμβάνει υπόψη πτυχές τόσο της ανθεκτικότητας όσο και της βιωσιμότητας, συμπεριλαμβανομένων στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων. Οι τακτικές αποφάσεις περιλαμβάνουν πόσο CO<sub>2</sub> θα εκπέμπεται, πόσο υλικό να παραγγείλει, πόσα προϊόντα να παραχθούν, να διατεθούν σε απόθεμα και να πωληθούν με βάση ορισμένες τεχνολογίες, καθώς και τον τρόπο χειρισμού της χωρητικότητας, την κατανομή των προϊόντων και τη μεταφορά τους. Οι στρατηγικές αποφάσεις περιλαμβάνουν τη θέση στο δίκτυο για το άνοιγμα νέων τοποθεσιών. Το συνολικό κόστος των δικτύων θεωρείται ένας από τους πυλώνες της βιωσιμότητας (οικονομική πτυχή), μαζί με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> που προκαλούνται από επιχειρηματικές δραστηριότητες (περιβαλλοντική πτυχή) και τον κοινωνικό αντίκτυπο των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων (κοινωνική πτυχή), η οποία οφείλεται στις ευκαιρίες δημιουργίας θέσεων εργασίας και στο ποσοστό ανεργίας, καθώς και στο ποσοστό περιφερειακής ανάπτυξης, με περισσότερες πιστώσεις να δίνονται στις υπανάπτυκτες περιοχές. Η έννοια της κρισιμότητας κόμβου, στην οποία ένας κόμβος λέγεται ότι είναι κρίσιμος εάν οι συνολικές εισροές και εκροές υπερβαίνουν ένα ορισμένο όριο, και η έννοια των συνόλων τεχνολογίας, όπου η χρήση νέας τεχνολογίας μπορεί να είναι πιο ακριβή, αλλά και πιο αξιόπιστη, λαμβάνονται υπόψη σε σχέση με την ανθεκτικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν μια συγκεκριμένη τεχνολογία δεν είναι διαθέσιμη, προκαλώντας διακοπές στην

πολυπλοκότητα ροής, η οποία μετρά την αλληλεπίδραση μεταξύ κόμβων με βάση την ανάθεση δραστηριοτήτων στα διάφορα γειτονικά κέντρα, την πολυπλοκότητα κόμβου, που αναφέρεται στον συνολικό αριθμό των ενεργών κόμβων και το επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών, που εκφράζει την ανεκπλήρωτη ζήτηση ως συνάρτηση βάρους. Οι τεχνολογίες δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας μπορούν να βοηθήσουν στη διευκόλυνση της κατάστασης σε αυτήν την περίπτωση (Baghizadek et al. 2021).

Οι Shabbir et al. προτείνουν ένα στοχαστικό πολυκριτήριο MILP δύο σταδίων για την επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού ενός δικτύου CLSC, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την ανθεκτικότητά του όσο και την ικανότητά του να παραμένει βιώσιμο. Το κάνουν αυτό για να βρουν ισχυρές λύσεις που λαμβάνουν υπόψη την υποκείμενη αβεβαιότητα και εισάγουν για πρώτη φορά μια υπό όρους τιμή σε κίνδυνο. Το μοντέλο τους λαμβάνει υπόψη και τις τρεις πτυχές της βιωσιμότητας, μειώνοντας το συνολικό κόστος του δικτύου, την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται και την ποσότητα των εκπομπών CO<sub>2</sub> ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τον αριθμό των ευκαιριών απασχόλησης. Με παρόμοιο τρόπο, οι Mehijerdi και Shafiee διερευνούν την αλληλεπίδραση μεταξύ των πτυχών ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας μίας CLSC, εκτός από τη διερεύνηση της επιρροής της ανταλλαγής πληροφοριών και των στρατηγικών πολλαπλών προμηθειών. Τα ευρήματά τους καταδεικνύουν τα πλεονεκτήματα του να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το σχεδιασμό CLSC. για μια προσέγγιση παρόμοια με αυτήν (Baghizadek et al. 2021).

Οι Yavari και Zaker αναπτύσσουν ένα μοντέλο MILP βιοαντικειμένου δικτύου δύο επιπέδων για ένα ανθεκτικό CLSC με πτυχές βιωσιμότητας για ένα προϊόν που έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής. Αυτό το μοντέλο προορίζεται για ένα CLSC που πρέπει να ασχολείται με ευπαθή αγαθά. Ειδικότερα, λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις από διακοπές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος είναι να μειωθεί τόσο το συνολικό ποσό του αναμενόμενου κόστους για το δίκτυο όσο και το συνολικό ποσό των αναμενόμενων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η θεωρία παιγνίων (GT), ο ασαφής προγραμματισμός (FP) και η στοχαστική βελτιστοποίηση (SO) είναι οι διαφορετικοί τύποι μοντέλων που έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές και αξίζει να μελετηθούν εκτενέστερα. Το χαμηλότερο δυνατό κόστος δικτύου, η χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών CO<sub>2</sub> και ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός θέσεων εργασίας που δημιουργούνται είναι οι τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας. Οι μέθοδοι για την εύρεση λύσης περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: LR, που σημαίνει χαλάρωση Lagrangian, ECM, που σημαίνει μέθοδος περιορισμού epsilon, SA, που σημαίνει ανάλυση ευαισθησίας. SAN, που σημαίνει προσομοιωμένη απόπτηση. και MCS, που σημαίνει προσομοίωση Monte Carlo. Το ACO σημαίνει "βελτιστοποίηση αποικίας" και το RO σημαίνει "ισχυρή βελτιστοποίηση".

Η ανθεκτικότητα των CLSC δεν έχει λάβει αρκετή προσοχή από την ερευνητική κοινότητα, όπως φαίνεται από την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας. Λόγω της σημασίας του θέματος, αυτή η μελέτη ενσωματώνει μέτρα ευελιξίας σε μία CLSC (Baghizadek et al. 2021).

### **3.2.Η θεωρία παιγνίων στο σχεδιασμό αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου**

Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου, γνωστές και ως CLSC, είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους που έχει αναπτύξει η κυκλική οικονομία για να μειώσει την πίεση στο φυσικό περιβάλλον. Πολλά μοντέλα CLSC απαιτούν τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων. Η θεωρία παιγνίων (GT) παρέχει μια μέθοδο για την αξιολόγηση των κερδών όλων των μερών σε ένα CLSC, προσφέροντας εικόνα για το κόστος και

τα πλεονεκτήματα στα συμμετέχοντα μέρη με τρόπο αντικειμενικό και μετρήσιμο. Η θεωρία παιγνίων προσφέρει επίσης έναν τρόπο ανάλυσης των κερδών όλων των μερών εκτός ενός CLSC. Σύμφωνα με την BBMG Conscious Consumer Report, το 51% των Αμερικανών είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν επιπλέον για προϊόντα φιλικά προς το περιβάλλον και, γενικά, πιστεύουν ότι μπορούν να κάνουν τη διαφορά μέσω των αγορών που κάνουν από κοινωνικά υπεύθυνες επιχειρήσεις.

Ως εκ τούτου, η αλλαγή και οι αλλαγές στην παλιά δομή της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) ήταν ένα αναπόφευκτο φαινόμενο προκειμένου να συμμορφωθεί με το περιβάλλον και τις προσδοκίες των καταναλωτών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου (CLSC) έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο διατηρώντας τους πόρους και περιορίζοντας τις περιβαλλοντικές ζημιές, που είναι επωφελής για την ανάπτυξη μιας βιώσιμης οικονομίας. Σύμφωνα με τα ευρήματα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία των CLSC, μπορεί να είναι κερδοφόρο για τις επιχειρήσεις να συλλέγουν προϊόντα και να εφαρμόζουν μια ενεργή στρατηγική επιστροφής. Η έννοια του "κλειστού βρόχου" αναφέρεται στη μέθοδο δημιουργίας ενός μοναδικού συστήματος και αξίας με τη σύνδεση του τερματικού κόμβου μιας μπροστινής εφοδιαστικής αλυσίδας στο σημείο προέλευσης αυτής της αλυσίδας μέσω μιας ανεστραμμένης διαδικασίας. Οι μελλοντικές δραστηριότητες αποτελούνται από τα τυπικά βήματα, όπως η ανάπτυξη νέων προϊόντων και η διάθεσή τους στην αγορά (Shekarian et al. 2021).

Η εφαρμογή της ανάλυσης της θεωρίας παιγνίων (GT) είναι μια μέθοδος που είναι κατάλληλη για την έρευνα της συμπεριφοράς των μερών που εμπλέκονται στις αλυσίδες εφοδιασμού. Το ενδιαφέρον για πιθανές εφαρμογές του GT στο SCM έφτασε στο υψηλότερο σημείο από τότε που ο John von Neumann και ο Oskar Morgenstern δημοσίευσαν το πρωτοποριακό βιβλίο τους "The Theory of Games and Economic Behavior", στο οποίο παρουσίασαν την GT για πρώτη φορά. Η GT είναι μια μαθηματική θεωρία που είναι καλά προσαρμοσμένη για να αντιμετωπίζει διαδραστικές αποφάσεις σε ποικίλα πλαίσια.

Οι Savaskan, et al. (2004) δημοσίευσαν το πρώτο θεμελιώδες άρθρο σε αυτό το θέμα, το οποίο συζητούσε τη συλλογή καναλιών και το σχεδιασμό μίας CLSC. Μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξής τους, δημιουργήθηκε μεγάλος αριθμός μοντέλων CLSC με βάση την GT. Η εφαρμογή της GT στην περίπτωση των CLSC είναι χρήσιμη για τους λήπτες αποφάσεων και είναι ταυτόχρονα ένα ενδιαφέρον και σημαντικό στοιχείο της μικροοικονομίας και της μακροοικονομίας.

Παρέχει ταυτόχρονα οφέλη τόσο στον κατασκευαστή όσο και στον καταναλωτή επιλέγοντας οικολογικά ευεργετικές τακτικές τόσο για το προϊόν όσο και για τον καταναλωτή, όπως η επαναχρησιμοποίηση και η υψηλή απόδοση. Η GT έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα ευεργετικό εργαλείο για τη λήψη μιας αποδεκτής απόφασης όταν υπάρχει συνεργασία ή ανταγωνισμός μεταξύ των παραγόντων εντός ενός βρόχου για την υλοποίηση διαφορετικών υποχρεώσεων, που κυμαίνονται από την πώληση ενός νέου προϊόντος έως τις δραστηριότητες επανεπεξεργασίας, όπως η ανακατασκευή (Shekatian et al. 2021).

### **3.3.Μοντελοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου**

#### **3.3.1.Μεταχειρισμένα και ανακατασκευασμένα είδη στην πρωτογενή και δευτερογενή αγορά**

Οι Savaskan et al. (2004) ερεύνησαν το ζήτημα της επιλογής της κατάλληλης αντίστροφης αλυσίδας εφοδιασμού με σκοπό τη συλλογή μεταχειρισμένων ειδών από καταναλωτές CLSC.

Μετά από αυτό, οι Huang et al. (2013) συνέχισε να επεκτείνει περαιτέρω την έρευνα του Savaskan κάνοντας την υπόθεση ότι τα καταστήματα και τρίτα μέρη συγκεντρώνουν μεταχειρισμένα προϊόντα με ανταγωνιστικό τρόπο. Οι Maiti και Giri ανέπτυξαν επιπλέον το μοντέλο των Savaskan's et al. θεωρώντας το τρίτο μέρος στην αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού ως ένα ενιαίο κανάλι. Το μοναδικό μέλημα του λιανοπωλητή ήταν να πραγματοποιήσει πώληση του προϊόντος στον πελάτη. Σε μια μεταγενέστερη μελέτη, ο Giri και οι συνεργάτες του πρότειναν ένα μοντέλο CLSC που περιλάμβανε δύο διαφορετικά κανάλια. Στο πρώτο κανάλι, τα προϊόντα πωλούνται στους πελάτες από τον λιανοπωλητή και το κανάλι e-tail (internet). Στο δεύτερο κανάλι, ο συλλέκτης και το κανάλι e-tail συγκεντρώνουν τα χρησιμοποιημένα αντικείμενα που πρόκειται να ανακατασκευαστούν και τα πωλούν στο κανάλι e-tail. Η έρευνα που παρουσιάστηκε από τους Taleizadeh et al. (2020) είναι ένα άλλο παράδειγμα εργασίας που έχει γίνει σε αυτόν τον τομέα. Διερευνά τέσσερα διαφορετικά σενάρια του αντίστροφου καναλιού του CLSC, σε καθένα από τα οποία ένα διαφορετικό μέρος —η ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού (κεντρική υπόθεση), ο κατασκευαστής, ο πωλητής λιανικής ή ένα τρίτο μέρος— είναι υπεύθυνο για τη διαδικασία συλλογής. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η συμμετοχή τρίτων στην έρευνα όπως εμπόρων ή συλλεκτών ανακύκλωσης άρχισε να γίνεται πιο διαδεδομένη.

Η δεύτερη διαδρομή επικεντρώνεται σε διάφορους τύπους διαδικασιών ανάκτησης προϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παλιά αγαθά. Η ανακατασκευή και η ανακαίνιση είναι δύο παραδείγματα των διαφορετικών ειδών διαδικασιών ανάκτησης που μπορούν να εφαρμοστούν στη διαδικασία ανάκτησης μεταχειρισμένων προϊόντων. Ο όρος "ανακατασκευή" αναφέρεται σε μια ποικιλία μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επαναφορά ενός προϊόντος στις προδιαγραφές αυτού που κατασκευάστηκε αρχικά χρησιμοποιώντας εξαρτήματα που έχουν επαναχρησιμοποιηθεί, αποκατασταθεί ή κατασκευαστεί από την αρχή. Ένα παλιό προϊόν εκτυπωτή μπορεί να ανακατασκευαστεί, για παράδειγμα, αντικαθιστώντας το εξάρτημα της κασέτας που δεν είναι πλέον λειτουργικό με ένα ολοκαίνουργιο εξάρτημα του ίδιου είδους. Η διαδικασία ανακατασκευής ενός χρησιμοποιημένου προϊόντος ώστε να μπορεί να συνεχίσει να εκτελεί τον πρωταρχικό του σκοπό αναφέρεται ως ανακαίνιση. Ένα ανακαινισμένο smartphone είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός προϊόντος που μπορεί να αγοραστεί στην σύγχρονη αγορά. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακαίνισης, ένα παλαιότερο smartphone εξετάζεται, καθαρίζεται και επισκευάζεται έτσι ώστε να αποδίδει εξίσου καλά με ένα ολοκαίνουργιο μοντέλο. Η ποιότητα των ανακατασκευασμένων προϊόντων είναι συνήθως χαμηλότερη από εκείνη των αρχικών προϊόντων. Ως αποτέλεσμα, η τιμή στην οποία προσφέρονται στη δευτερογενή αγορά μειώνεται τυπικά. Ένα σύστημα CLSC που χρησιμοποιεί μια διαδικασία ανακαίνισης που οδηγεί σε ένα προϊόν χαμηλότερης ποιότητας αναπτύχθηκε από τους Konstantaras et al. (2010), οι οποίοι στη συνέχεια αντιπαραβάλλουν τα αποτελέσματα του συστήματός τους με αυτά είτε των νεόδμητων είτε των ανακατασκευασμένων προϊόντων. Μετά την ανακαίνιση, τα προϊόντα διατίθενται προς πώληση στη δευτερογενή αγορά σε μειωμένες τιμές.

Οι Zhang et al. (2018) ερεύνησαν τους πολλούς τρόπους με τους οποίους ένα ανακατασκευασμένο προϊόν θα μπορούσε να τιμολογηθεί σε ένα περιβάλλον αλυσίδας εφοδιασμού. Ανακαλύφθηκε ότι οι τιμές χονδρικής και λιανικής των ολοκαίνουργιων προϊόντων θα μειωνόταν όταν αυξηθεί το κόστος ανακαίνισής τους. Από την άλλη πλευρά, όταν το κόστος της επισκευής είναι φθηνό, ο παραγωγός και ο λιανοπωλητής θα βιώσουν διπλό αντίκτυπο περιθωριοποίησης. Αργότερα, οι Li et al. (2010) απευθύνθηκαν στην αγορά WEEE (Απορρίμματα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού), η οποία περιλάμβανε έναν ανακατασκευαστή που επισκεύαζε τα επιστρεφόμενα αντικείμενα. Η απόφαση τιμολόγησης για την ανακατασκευή καθώς και την ανακαίνιση ήταν το πρωταρχικό αντικείμενο της έρευνάς τους, η οποία τεκμηριώθηκε στη μελέτη τους. Οι Benkherouf et al. διεξήγαγαν έρευνα σχετικά με

συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων που περιλάμβαναν ανακατασκευή προκειμένου να εξακριβώσουν την παραγγελία και τα ποσά ανακατασκευής επιπλέον των επιπέδων αποθέματος των χρησιμοποιημένων προϊόντων. Επιπλέον, οι Jauhari et al. (2017) παρουσίασαν ένα μοντέλο CLSC στο οποίο ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση όλων των διαδικασιών διαχείρισης και λειτουργίας. Τα ανακαινισμένα προϊόντα είναι μεταχειρισμένα προϊόντα που έχουν χρησιμοποιηθεί αλλά δεν μπορούν να επιστραφούν σε ποιότητα "τόσο καλή όσο καινούργια". Οι Chen και Chen (2019) υπέβαλαν την πρόταση να διερευνηθεί το δυναμικό της προσπάθειας πολιτικής της κυβέρνησης για επενδύσεις στον τομέα της ανακαίνισης. Ερεύνησαν την αγορά της Κίνας για ανακτημένα προϊόντα, η οποία συχνά περιλαμβάνει πράγματα που έχουν ανακαινιστεί καθώς και αυτά που έχουν ανακατασκευαστεί.

### **3.3.2. Διάθεση απορριμμάτων και επανεπεξεργασία**

Οι Hasanov et al. ερεύνησαν ένα μοντέλο CLSC λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της ενέργειας και της μεταφοράς επιπλέον του κόστους διάθεσης. Μέσα σε μία CLSC που αποτελείται από έναν προμηθευτή, έναν κατασκευαστή και έναν λιανοπωλητή, οι Dwicahyani et al. αξιολόγησαν την απόρριψη απορριμμάτων για μη ανακτήσιμα επιστρεφόμενα αντικείμενα και μια διαδικασία εκ νέου επεξεργασίας για ελαττωματικά αντικείμενα. Οι τεχνικές τιμολόγησης διερευνήθηκαν από τους Wu και Wu (2010) στο πλαίσιο ενός τρόπου αυτοεπιλογής διάθεσης απορριμμάτων σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου. Οι Kundu και Chakrabarti (2018) πρότειναν ένα αντίστροφο λογιστικό μοντέλο για ένα σύστημα ενός σταδίου με δύο διαφορετικές αγορές και διάθεση απορριμμάτων. Μετά από μια διαδικασία κοσκινίσματος ή αποσυναρμολόγησης, τα αντικείμενα που δεν μπορούσαν να διασωθούν θα πετιόταν ως απορρίμματα. Ένα μαθηματικό μοντέλο για ένα σύστημα δύο επιπέδων που περιλαμβάνει την παραγωγή και την ανακατασκευή προτάθηκε από τον Jaber και τους συνεργάτες του (2014). Συντόνισαν έναν κατασκευαστή και έναν λιανοπωλητή μέσω της εφαρμογής μιας πολιτικής αποστολών και διαχειρίστηκαν τα μη ανακτήσιμα αντικείμενα μέσω της χρήσης της διάθεσης απορριμμάτων.

Η μελέτη της ατελούς παραγωγής αποτελεί ακόμη ένα σύνολο βιβλιογραφίας στον τομέα αυτό. Προηγούμενες μελέτες εξέτασαν πόσο πιο αποτελεσματική μπορεί να είναι η διαδικασία παραγωγής μίας επιχείρησης. Στην πραγματικότητα, τα ελαττωματικά προϊόντα είναι αναπόφευκτα για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένης της μετατόπισης του προϊόντος κατά τη διαδικασία παραγωγής, των ελαττωμάτων στα μηχανήματα και άλλων πτυχών. Η διαδικασία της επανεπεξεργασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί για να βελτιωθεί η ποιότητα των προϊόντων που έχουν διαπιστωθεί ότι είναι ελαττωματικά. Η προσπάθεια επανεπεξεργασίας ή διόρθωσης ελαττωματικών, αποτυχημένων ή μη συμμορφούμενων προϊόντων, μέσω της χρήσης πρωτότυπης ή εναλλακτικής ισοδύναμης επεξεργασίας, με τρόπο που να διασφαλίζει τη συμμόρφωση του προϊόντος με τις προδιαγραφές αποτελεί παράδειγμα της διαδικασίας επανεπεξεργασίας (Wakhid et al. 2020).

### **3.3.3. Μαθηματικά μοντέλα αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου**

Η απαίτηση για ένα πλαίσιο μοντελοποίησης που να είναι ικανό για υψηλές επιδόσεις αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των υπευθύνων λήψης αποφάσεων που ενδιαφέρονται να βελτιώσουν την απόδοση των αλυσίδων εφοδιασμού. Ένα σημαντικό μέρος της έρευνας στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνεται στην αντίστροφη εφοδιαστική. Στην αντίστροφη εφοδιαστική, ο πρωταρχικός στόχος των αρμοδίων λήψης αποφάσεων είναι να δημιουργήσουν μια αλυσίδα εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη τις ροές επιστροφής. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη μελετών που περιλαμβάνονται στη σχετική βιβλιογραφία. Οι ερευνητές Fuente et al. (2008) συνέδεσαν τις προθεσμιακές λειτουργίες μιας αλυσίδας εφοδιασμού με τις



αντίστροφες λειτουργίες με τέτοιο τρόπο ώστε να επαναπροσδιοριστούν οι διαδικασίες διαχείρισης της εταιρείας.

Ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού μεικτού-ακέραιου πολλαπλών στόχων για ένα μοντέλο κλειστού βρόχου παρουσιάστηκε από τους Torabi και Hassini (2008). Ήταν απαραίτητο να ληφθούν υπόψη και οι δύο αυτοί ανταγωνιστικοί στόχοι ταυτόχρονα. Οι Xu και Liu (2017) διεξήγαγαν μια ανάλυση για να προσδιορίσουν την επίδραση της τιμής αναφοράς σε μια αντίστροφη εφοδιαστική. Οι Shaharudin et al. (2017) εξέτασαν την αξία των επιστροφών προϊόντων σε μια δραστηριότητα εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου και συνειδητοποίησαν τη χρησιμότητα αυτής της δραστηριότητας όσον αφορά την εξοικονόμηση κόστους, τη βελτίωση των σχέσεων με τους καταναλωτές, την αύξηση της παραγωγικής ικανότητας και τη μειωμένη κατανάλωση πρώτων υλών. Ο τομέας σιδήρου και χάλυβα ήταν το επίκεντρο της παρουσίας των Vahdani et al (2012) ενός αξιόπιστου σχεδιασμού δικτύου για εγκαταστάσεις που λειτουργούν εντός αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου με αβεβαιότητα. Βρήκαν μια λύση, η οποία ήταν μια νέα προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος. Οι αριθμητικές δοκιμές έδειξαν ότι η προτεινόμενη μέθοδος επίλυσης του προβλήματος είναι σημαντική για τον εν λόγω κλάδο.

Ένα δίκτυο αντίστροφης εφοδιαστικής πολλαπλών επιπέδων, πολλαπλών περιόδων, πολλαπλών προϊόντων προτάθηκε από τους Zeballos et al. (2014) προκειμένου να μειωθούν τα συνολικά έξοδα που σχετίζονται με το σχεδιασμό του δικτύου, τις πρώτες ύλες, τη διατήρηση αποθεμάτων και τη μεταφορά. Οι Liu et al. (2017) σκέφτηκαν την ιδέα να υπάρχουν δύο διαφορετικά κανάλια ανακύκλωσης για επιστρεφόμενα προϊόντα και κατάλαβαν ποιο ήταν το πιο αποτελεσματικό αντίστροφο κανάλι. Οι Wang και Wang (2013) διεξήγαγαν μια ανάλυση των εκπύσεων στο πλαίσιο μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου που περιλάμβανε διακοπές. Οι Schultmann et al. (2006) σχεδίασαν έναν κλειστό βρόχο με την πρόθεση να ενισχύσουν την αναλογία ανακύκλωσης μέσω της επανεπεξεργασίας των υλικών και την επακόλουθη επανένταξη αυτών των πόρων στα αρχικά δίκτυα εφοδιασμού τους.

Ένα μαθηματικό μοντέλο μικτού ακέραιου προτάθηκε από τους Salema et al. (2007) για μια αλυσίδα εφοδιασμού με αντίστροφη ροή που στοχεύει στη μείωση των συνολικών χρεώσεων διατηρώντας παράλληλα την υψηλότερη δυνατή απόδοση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι οι περιορισμοί χωρητικότητας, η ικανότητά του να φιλοξενεί διάφορα είδη και το απρόβλεπτο της ζήτησης των πελατών. Εκτός από τα προβλήματα με την τιμή, ο σχεδιασμός αντίστροφης παραγωγής αυτοκινήτων είναι το επίκεντρο ενός μη γραμμικού μοντέλου που δημιουργήθηκε από τους Qu και Williams (2008). Τα είδη επιστροφής για ένα αντίστροφο logistic αναλύθηκαν και βαθμολογήθηκαν από τους Ostlin et al. (2008). Ενόψει της απρόβλεπτης ζήτησης, οι Amin και Zhang (2013) καθόρισαν πώς να επιλέγουν ιδανικά προμηθευτές και τοποθεσίες ανακαίνισης εκτός από τις μονάδες παραγωγής. Οι Amin και Zhang (2014) παρείχαν λεπτομέρειες σχετικά με τη ροή των προϊόντων και τη θέση των νέων εγκαταστάσεων για μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου. Εκτός από τη μείωση του χρόνου που αφιερώνεται σε επιχειρησιακές δραστηριότητες στα κέντρα συλλογής, ένας από τους πρωταρχικούς στόχους ήταν να μειωθεί το ποσοστό των ελαττωματικών αντικειμένων. Οι Sasikumar και Haq (2010) εισήγαγαν ένα δίκτυο αντίστροφης εφοδιαστικής πολλαπλών κλιμακίων και κατασκεύασαν ένα μη γραμμικό μοντέλο προγραμματισμού μεικτού ακέραιου με σκοπό τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους. Και τα δύο αυτά έργα πραγματοποιήθηκαν το 2010. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στην αυτοκινητοβιομηχανία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας έδειξαν την αποδεκτή απόσταση μεταξύ των διαθέσιμων κέντρων. Οι ερευνητές Ramezani και οι συνεργάτες του (2014) ανέπτυξαν μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου πολλαπλών προϊόντων, πολλαπλών περιόδων, που είχε ως στόχο να αυξήσει το κέρδος και την ποιότητα, ενώ ταυτόχρονα να μειώσει τον χρόνο παράδοσης και την απρόβλεπτη ικανότητα.

Οι Zhou et al. (2013) παρουσίασαν μια αντίστροφη διαδρομή τόσο για τον κεντρικό όσο και για τον αποκεντρωμένο τρόπο ελέγχου για τις δραστηριότητες κατασκευής και ανακατασκευής του εργοστασίου. Οι συγγραφείς Abdulrahman et al. (2014), αξιολόγησαν την επιρροή των κυβερνητικών ζητημάτων στην απόδοση των τομέων της μεταποίησης και της αντίστροφης εφοδιαστικής. Σύμφωνα με τα ευρήματα των Francas και Minner (2009), ένα ολοκληρωμένο μοντέλο είναι πλεονεκτικό για την εκπλήρωση ολόκληρης της αγοράς, ενώ ένα μη ολοκληρωμένο είναι πλεονεκτικό στις τοπικές αγορές. Ο Jayaraman (2006) βρήκε μια βέλτιστη λύση για τη μεγιστοποίηση του αριθμού των μονάδων που θα μπορούσαν να αποσυναρμολογηθούν, να απορριφθούν και να ανακατασκευαστούν σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Ακόμη, ένα μοντέλο κλειστού βρόχου που αντιμετωπίζει τόσο στρατηγικές όσο και τακτικές αποφάσεις κατασκευάστηκε από τους Salema et al. (2010). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η πιο σημαντική στρατηγική επιλογή περιλαμβάνει το σχεδιασμό του δικτύου καθώς και πολλές τακτικές επιλογές σχετικά με τις δυσκολίες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής. Οι Panda et al. (2017) διεξήγαγαν έρευνα για ένα κοινωνικά υπεύθυνο σύστημα αντίστροφης εφοδιαστικής που περιελάμβανε την ανακύκλωση προϊόντων. Αποδείχθηκε ότι ένας μη κερδοσκοπικός σκοπός μπορεί να αποφέρει μεγαλύτερο κέρδος από τον στόχο της μεγιστοποίησης των δυνατοτήτων κέρδους. Οι Nukala και Gurta (2006) παρείχαν μια οικονομική προδιαγραφή της ποσότητας των επαναεπεξεργασμένων μεταχειρισμένων προϊόντων. Επιπλέον, αποφάσισαν ποια μονάδα παραγωγής θα ήταν η καταλληλότερη, καθώς και ποια ποσότητα των πόρων θα διανεμηθούν κατά μήκος της σχετικής αλυσίδας εφοδιασμού. Οι Subulan και Tasan (2013) έλαβαν υπόψη μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου με πολλά κλιμάκια, πολλαπλά προϊόντα και πολλαπλές χρονικές περιόδους, ενώ ελαχιστοποιούσαν επίσης το κόστος μεταφοράς, το κόστος ανακατασκευής, το κόστος διάθεσης και τις κυρώσεις καθυστέρησης. Οι πελάτες, τα κέντρα συλλογής, τα κέντρα επισκευής και οι εγκαταστάσεις ήταν τα τέσσερα στοιχεία που συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο προβλημάτων δικτύου αντίστροφης υλικοτεχνικής υποστήριξης που πρότειναν οι Tang και Xie (2007). Μια ευρετική που βασίζεται σε έναν γενετικό αλγόριθμο έχει παρουσιαστεί με σκοπό τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Τα ευρήματα των αριθμητικών προσομοιώσεων υποδηλώνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να παράγει πιο ευνοϊκά αποτελέσματα. Οι Ozceylan et al. (2014) ανέπτυξαν ένα μοντέλο που βελτιστοποιεί τις αποφάσεις τόσο σε στρατηγικό όσο και σε τακτικό επίπεδο. Όταν λαμβάνονται στρατηγικές αποφάσεις, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπ' όψιν τόσο ο όγκος παραγωγής, όσο και της αντίστροφης ροής των υλικών (Mardan et al. 2020).

Οι Jayaraman et al. (1999) χρησιμοποίησαν έναν ακέραιο προγραμματισμό 0–1 όχι μόνο για ένα πρόβλημα που αφορά τη θέση και τη διανομή των ανακατασκευασμένων προϊόντων αλλά και για τον προσδιορισμό των βέλτιστων ποσοτήτων αυτών των προϊόντων και του κόστους που σχετίζεται με τη μεταφόρτωσή τους σε μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα έρευνας και ανάπτυξης μιας ιαπωνικής εταιρείας κατασκευής ψυγείων, οι Krikke et al. (2003) πραγματοποίησαν μελέτη για την εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου της εταιρείας. Διαπίστωσαν ότι ανησυχίες για το περιβάλλον συχνά εμπνέουν καινοτόμες ιδέες προϊόντων και διαδικασιών. Σύμφωνα με τους ερευνητές, ο σχεδιασμός ενός προϊόντος και τα logistics αντιμετωπίζονται συνήθως ανεξάρτητα. Ωστόσο, σε αυτή τη μελέτη, ως πιθανή λύση παρουσιάζεται ένα μοντέλο που συνδυάζει αυτά τα δύο στοιχεία. Λαμβάνονται υπόψη διάφορα πιθανά αποτελέσματα όπως η συγκέντρωση των διαδικασιών, τα εναλλακτικά σχέδια προϊόντων, η ποιότητα και η ποσότητα των επιστρεφόμενων προϊόντων και η περιβαλλοντική νομοθεσία.

Οι Min et al. (2005) πέτυχαν μια λύση σε προβλήματα σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου πολλαπλών κλιμακίων και εμπορευμάτων χρησιμοποιώντας μια ευρετική προσέγγιση που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Lagrangian. Το κρίσιμο συστατικό της επίλυσης του ζητήματος που έθεσαν οι Min et al. είναι η εύρεση μιας εφαρμόσιμης λύσης

στα ζητήματα κατανομής του κέντρου που προκύπτουν σε μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί παρέχοντας μια εξήγηση τόσο των προς τα εμπρός όσο και των αντίστροφων δραστηριοτήτων εφοδιαστικής, καθώς και με τη διασφάλιση ότι δεν θα παραμεληθούν τα προβλήματα της αντίστροφης ροής.

Οι συγγραφείς μίας ακόμη μελέτης, Schultmann et al. (2006), εξέτασαν την αντίστροφη εφοδιαστική από την οπτική γωνία του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο αναζήτησης Tabu για να πραγματοποιήσουν ένα μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου, κατά το οποίο σκέφτηκαν να τερματίσουν την παραγωγή οχημάτων στη Γερμανία. Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψη την ιαπωνική αυτοκινητοβιομηχανία, οι Kumar και Yamaoka (2007) παρέχουν μια λύση δυναμικής συστήματος στο πρόβλημα.

Χρησιμοποίησαν τη δυναμική του συστήματος για την αντίστροφη ροή των αυτοκινήτων προκειμένου να βρουν το ιδανικό σενάριο όσον αφορά τις πολλές εναλλακτικές λύσεις ανάκτησης που είχαν στη διάθεσή τους.

Στη μελέτη τους για τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου για ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, οι Γεωργιάδης και Μπέσιου (2008) χρησιμοποίησαν μια προσέγγιση δυναμικής συστήματος. Το έκαναν αυτό εστιάζοντας σε έναν μόνο παραγωγό και ένα μεμονωμένο προϊόν, προκειμένου να κατανοήσουν καλύτερα τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος παραγωγής. Κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι παρόλο που ένα περιβάλλον με αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι γενικά κατάλληλο για μελλοντική εφοδιαστική, ένα περιβάλλον με ανακτήσιμα και ανακυκλώσιμα προϊόντα είναι κατάλληλο για αντίστροφη εφοδιαστική. Ως αποτέλεσμα, ο σχεδιασμός του συστήματος logistics κλειστού βρόχου που αναπτύχθηκε από τους ερευνητές βασίζεται στην προσφορά και στην ανακύκλωση.

Οι Amaro και Barbosa-Póvoa (2009) πραγματοποίησαν μια ανάλυση για να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις της αβεβαιότητας στον προγραμματισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου χρησιμοποιώντας μια ποικιλία οργανωτικών μορφών. Προκειμένου να έχουν μια αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού, η Amaro και η Barbosa-Póvoa έχουν αναλύσει τα αιτήματα χαρτοφυλακίου προϊόντων και τις τιμές, και έχουν δημιουργήσει ένα μικτό ακέραιο γραμμικό μοντέλο προγραμματισμού σε μορφή πολλαπλών περιόδων. Αυτό πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί μια αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού. Η τεχνική Branch and Bound χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση αυτού του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού μεικτού ακέραιου αριθμού ως διαδικασία λύσης. Στόχος ήταν ο εντοπισμός της καλύτερης δυνατής απάντησης.

Το μοντέλο των Yang et al. (2009) για μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου περιλαμβάνει τη συμμετοχή προμηθευτών πρώτων υλών καθώς και παραγωγών, λιανοπωλητών, πελατών και εγκαταστάσεων ανάκτησης. Βελτιστοποίησαν την κατάσταση ισορροπίας του δικτύου εφαρμόζοντας την έννοια των μεταβλητών ανισοτήτων στο πρόβλημα. Τα θέματα χωρητικότητας δυναμικού μεγέθους παρτίδας σε αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου διερευνήθηκαν από τους Pan et al. (2009). Οι ερευνητές, έλαβαν υπόψη τα επιστρεφόμενα προϊόντα. Η ζήτηση στην αγορά καλύπτεται όχι μόνο από νέα προϊόντα αλλά και από ανακατασκευασμένα που ανακτώνται από προϊόντα που έχουν σταλεί πίσω.

Οι δυνατότητες παραγωγής, ανακατασκευής και απόρριψης είναι όλες περιορισμένες και η εκκρεμότητα απαγορεύεται αυστηρά. Υπό αυτές τις συνθήκες, προτάθηκε ένα μοντέλο με την εξεύρεση λύσης σε αυτό μέσω της χρήσης μεθόδων δυναμικού προγραμματισμού.

Οι Pishvaei και Torabi (2010) χρησιμοποίησαν μικτό ακέραιο προγραμματισμό για να ερευνήσουν το δι-αντικειμενικό πιθανοτικό μοντέλο που ανέπτυξαν. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τόσο τη ροή προς τα εμπρός όσο και προς τα πίσω μιας ολόκληρης αλυσίδας

εφοδιασμού, καθώς και τυχόν αβεβαιότητες που μπορεί να προκύψουν. Η χρήση μιας ασαφούς μεθοδολογίας επέτρεψε την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας.

Οι Kannan et al. (2010) ερεύνησαν τη χρήση ενός γενετικού αλγορίθμου για την επίλυση ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού σταθερού ακέραιου αριθμού. Τόνισαν ότι χι μόνο είναι απαραίτητη η παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον αγαθών στην εποχή μας, αλλά είναι επίσης απαραίτητο να συγκεντρωθούν πράγματα που έχουν φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους. Επομένως, η διαχείριση της αντίστροφης εφοδιαστικής είναι εξαιρετικά σημαντική όταν πρόκειται για την επιστροφή προϊόντων. Αυτά τα προϊόντα που έχουν επιστραφεί θα υποβληθούν σε διάφορες διαδικασίες ανάκτησης, όπως ανακύκλωση, ανακατασκευή και επαναχρησιμοποίηση. Είναι απαραίτητο να συνδεθεί αυτή η ροή της διαδικασίας σε ένα λογιστικό δίκτυο. Ως αποτέλεσμα της επικίνδυνης φύσης των αποβλήτων που παράγονται από μπαταρίες μολύβδου-οξέος, η διάθεση αυτών των αποβλήτων ρυθμίζεται αυστηρά, γι' αυτό η μελέτη προτείνει την ανάπτυξη ενός μοντέλου για την παραγωγή νέων μπαταριών μολύβδου-οξέος. Λαμβάνοντας υπόψη τις ροές υλικών, κατασκευής, διανομής και ανάκτησης, συνιστάται η μοντελοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως ένα δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου πολλαπλών κλιμακίων, πολλαπλών περιόδων και πολλαπλών προϊόντων. Τα ευρήματα του γενετικού αλγορίθμου συγκρίνονται με τις λύσεις λογισμικού που παρέχει η GAMS, ο έδειξαν ότι τα αποτελέσματα ήταν επαρκή και καλής ποιότητας.

Οι Pishvae et al. (2011) διερεύνησαν την ευρωστία των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου μέσω της έρευνάς τους.

Λόγω σημαντικών αλλαγών στον κλάδο, όπως η ζήτηση ή το κόστος, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν εύρωστες αλυσίδες εφοδιασμού. Σύμφωνα με τα ευρήματα της μελέτης, ένα μοντέλο ανθεκτικής βελτιστοποίησης θα πρέπει να χρησιμοποιείται κάθε φορά που υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τις εισροές για μια αλυσίδα εφοδιασμού με κλειστό βρόχο. Για την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιείται ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού μεικτού-ακέραιου. Μετά από αυτό, το μοντέλο δίνεται στο πλαίσιο της θεωρίας της ισχυρής βελτιστοποίησης και η ευρωστία του μοντέλου επαληθεύεται με τη χρήση άλλων ισχυρών μοντέλων. Οι Wei και Zhao (2011) διεξήγαγαν έρευνα σχετικά με τη χρήση της ασάφειας στις αποφάσεις τιμολόγησης μέσα σε μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου. Προκειμένου να καθοριστεί η χονδρική τιμολόγηση που θα απέφερε τα καλύτερα αποτελέσματα σε έναν ανταγωνισμό μεταξύ των λιανοπωλητών, χρησιμοποιήθηκε ένα υβρίδιο θεωρίας παιγνίων και ασαφούς θεωρίας και ελήφθησαν υπόψη πολλές υποθετικές καταστάσεις. Ο Winkler (2011) καθιέρωσε μια σύνδεση μεταξύ μιας βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας και μιας αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου, υποστηρίζοντας ότι οι δύο τύποι αλυσίδων εφοδιασμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι μεταξύ τους.

Οι Zarandi et al. (2011), από την άλλη πλευρά, ανέπτυξαν και σχεδίασαν μια κλειστή αλυσίδα εφοδιασμού για προβλήματα σχεδιασμού δικτύων διανομής στα οποία οι αντίστροφες ροές πηγάζουν σε μπροστινές ροές χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση προγραμματισμού ασαφούς στόχου με διαδραστικό τρόπο. Αυτό πραγματοποιείται προκειμένου να λυθούν προβλήματα που αφορούν το σχεδιασμό των δικτύων διανομής.

Οι Zarandi et al. κατέληξαν στο συμπέρασμα, με τη βοήθεια του ασαφούς προγραμματισμού στόχων, ότι οι δραστηριότητες εφοδιαστικής, ιδιαίτερα εκείνες που σχεδιάζονται ως αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου, έχουν μια ιδιότητα διαχειρίσιμη στο χρόνο και ότι ο σχεδιασμός ενός δικτύου μπορεί να καταστήσει δυνατές ροές προς τα πίσω ενώ τις χωρίζει σε δευτερεύοντα προβλήματα.

Μια πρόσθετη έρευνα για μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου πραγματοποιήθηκε από τους Oulgu και Wong (2012) στην αυτοκινητοβιομηχανία. Χρησιμοποιώντας ένα κομμάτι λογισμικού γνωστό ως Visual Basic.Net, επέδειξαν ένα ασαφές σύστημα βασισμένο σε κανόνες.

Η εταιρεία κατασκευής αυτοκινήτων χρησιμοποιείται ως μελέτη περίπτωσης και τα αποτελέσματα μπορεί να χρησιμεύσουν ως οδηγός για τη μετέπειτα εργασία των ερευνητών. Επιπλέον, υπάρχει μια άλλη μελέτη που διεξήχθη από τον Kenné και τους συνεργάτες του, η οποία χρησιμοποίησε ένα υβριδικό σύστημα για τον προγραμματισμό της παραγωγής (2012). Κατασκεύασαν ένα μοντέλο λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του μηχανήματος, όπως βλάβες και συντήρηση. Πρόκειται για μια ενιαία παραγωγή που ενσωματώνει διαδικασίες παραγωγής και ανακατασκευής στη συνολική ροή εργασίας της. Είναι προτιμότερο να ανακατασκευάζονται πράγματα που έχουν φτάσει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους παρά να απορρίπτονται. Ο στόχος της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε από τους ερευνητές ήταν να μειώσει τόσο το κόστος διακράτησης όσο και τις εκκρεμείς δαπάνες. Χρησιμοποίησαν τον στοχαστικό δυναμικό προγραμματισμό ως μέθοδο εύρεσης λύσης.

Ο Mitra (2012) διεξήγαγε έρευνα σε δύο κλιμάκια αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου, λαμβάνοντας υπόψη τις συσχετισμένες απαιτήσεις και τις αποδόσεις εκτός από τις μετοχές. Οι δομές κόστους έχουν χρησιμοποιηθεί για τη γενίκευση στοχαστικών και ντετερμινιστικών μοντέλων για συστήματα δύο κλιμακίων, συμπεριλαμβανομένων των αντίστροφων και έμπροσθεν logistics. Στη μελέτη, προσφέρονται αριθμητικά παραδείγματα και θεωρείται ότι οι απαιτήσεις είναι κατάλληλες για την κανονική και γάμμα κατανομή. Μέχρι να ολοκληρωθεί η έρευνα, η διαχείριση αποθεμάτων και η διαχείριση εσόδων είχαν συγχωνευθεί σε μια ενιαία διαδικασία με τη βοήθεια της μοντελοποίησης δρομολόγησης οχημάτων.

Οι Wei και Zhao (2013) διεξήγαγαν μια έρευνα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των αποφάσεων ασαφούς κλειστού βρόχου εφοδιαστικής αλυσίδας για ροή προς τα πίσω. Οι παραγωγοί, οι έμποροι λιανικής ή οι τρίτες εταιρείες είναι εκείνοι που θα συλλέγουν νέα ή ανακατασκευασμένα αγαθά αφού έχουν έχει παραχθεί. Η αξιολόγηση της επιχειρηματικής στρατηγικής μπορεί να επιτευχθεί από κοινού μέσω της εφαρμογής της θεωρίας παιγνίων και της ασαφούς θεωρίας.

Οι Wei και Zhao (2013) προσπάθησαν να προτείνουν τις εναλλακτικές λύσεις για το αντίστροφο κανάλι χρησιμοποιώντας δίκτυα παροχής ασαφούς κλειστού βρόχου. Αυτές οι αλυσίδες περιλαμβάνουν σημαντικά στοιχεία του συστήματος παραγωγής, όπως προμηθευτές, λιανοπωλητές και μεταχειρισμένα προϊόντα. Επιπλέον, έχουν διεξαγάγει έρευνα σχετικά με τις συμπεριφορές τρίτων παρόχων logistics για να προσδιορίσουν πώς αυτές οι δραστηριότητες επηρεάζουν τις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Λαμβάνοντας υπόψη την ασαφή θεωρία και τη θεωρία παιγνίων, ο αρχικός στόχος της μελέτης ήταν να αποκτήσει μια κατανόηση τριών διακριτών προτύπων συμπεριφοράς που σχετίζονται με τη συλλογή μεταχειρισμένων προϊόντων.

Το Fuzziness εφαρμόζεται στην αριθμητική ανάλυση προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η άμπωτη και η ροή της ζήτησης των πελατών καθώς και το κόστος παραγωγής. Η υπόθεση συμμετρίας είναι μια από τις πιο σημαντικές παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν στη μελέτη. Αυτή η υπόθεση υποστήριξε ότι ο κατασκευαστής, ο πωλητής λιανικής και το τρίτο μέρος έχουν πληροφορίες προς την αντίθετη κατεύθυνση. Επιπλέον, οι Subramanian et al. (2013) έλυσαν τις δυσκολίες του σχεδιασμού δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο προσομοίωσης απόκτησης βάσει προτεραιότητας. Δημιουργήθηκε μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου μιας περιόδου και ενός προϊόντος με ντετερμινιστική ζήτηση και στοχαστική απόδοση προϊόντος και χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση Vogel βασισμένη σε ευρετικές μεθόδους με στόχο την αρχική λύση λαμβάνοντας υπόψη μια αναδρομική συνάρτηση κόστους. Διαπιστώθηκε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα λειτουργεί με την παραδοχή ότι θα υπάρχει σταθερή ζήτηση για το προϊόν. Στην έρευνα πραγματοποιήθηκε συζήτηση για την ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών σε περιπτώσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου.

Ο Amin και ο Zhang διεξήγαγαν επίσης μια ακόμη μελέτη σχετικά με τον προγραμματισμό μικτών αέριων αριθμών (2013). Κατέληξαν σε ένα μοντέλο επιλογής προμηθευτή δύο φάσεων που έκανε χρήση μιας ασαφούς προσέγγισης και χρησιμοποίησαν μια τεχνική γραμμικού προγραμματισμού μεικτού αέριου πολλαπλών στόχων για να καθορίσουν την καλύτερη τοποθεσία για την ανακαίνιση. Από τους ερευνητές αναπτύχθηκε ένα μοντέλο μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου και παρουσιάστηκε ένα που λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια για την τοποθέτηση εγκαταστάσεων (Amin and Zhang 2013). Ο γραμμικός προγραμματισμός μεικτού αέριου αριθμού χρησιμοποιήθηκε για την έρευνα της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου που διεξήγαγαν οι Ozceylan και Paksoy (2013). Το μοντέλο όχι μόνο βοηθά στην αναγνώριση τοποθεσιών και εμπορών, αλλά υπολογίζει επίσης τη βέλτιστη ποσότητα μεταφερόμενων αντικειμένων και προϊόντων που έχουν αποσυναρμολογηθεί.

Οι Amin και Zhang (2013) σχεδίασαν μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου που περιελάμβανε διάφορους καταναλωτές, προϊόντα, υπεργολάβους ανακατασκευής και προμηθευτές. Μέσα σε αυτήν την αλυσίδα εφοδιασμού, προσπάτησαν να κατανοήσουν ένα μοντέλο τριών σταδίων που αποτελούνταν από αξιολόγηση, εγκατάσταση δικτύου και κατανομή. Επιπλέον, το πρώτο βήμα της έρευνας που διεξήχθη από τον Amin και τους συναδέλφους του ήταν η κατασκευή ενός κατάλληλου μοντέλου ανάπτυξης συναρτήσεων. Ο σκοπός αυτού του μοντέλου ήταν να κατανοήσει τη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των απαιτήσεων των πελατών και των απαιτήσεων της διαδικασίας με τη βοήθεια της θεωρίας ασαφών συνόλων, η οποία έγινε για την αντιμετώπιση της ασάφειας και της αβεβαιότητας. Στο δεύτερο στάδιο αυτού του ερευνητικού έργου, μοντελοποιήθηκε ένα σύστημα στοχαστικού μικτού αέριου μη γραμμικού προγραμματισμού για την εκχώρηση προμηθευτών και άλλων παραμέτρων μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου.

Ένα μοντέλο βιώσιμου κλειστού βρόχου εφοδιαστικής αλυσίδας διερευνήθηκε για άλλη μια φορά από τους Devika et al. (2014), οι οποίοι χρησιμοποίησαν μικτό αέριο προγραμματισμό για την έρευνά τους. Η παρούσα μελέτη δεν ασχολήθηκε μόνο με οικονομικά ζητήματα, αλλά έλαβε επίσης υπόψη τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από ολόκληρη την αλυσίδα διανομής.

Οι Ramezani et al. (2014) κατασκεύασαν ένα δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου υπό ασάφεια λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση πολλαπλών προϊόντων, την αλληλεπίδραση της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου και τα χαρακτηριστικά πολλαπλών περιόδων. Οι πρωταρχικοί στόχοι του μοντέλου ήταν η μεγιστοποίηση του κέρδους και της ποιότητας με ταυτόχρονη μείωση του χρόνου παράδοσης. Η μαθηματική μοντελοποίηση που χρησιμοποιείται στη μελέτη είναι ένας ασαφής μεικτός αέριος γραμμικός προγραμματισμός. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιορισμοί στο μοντέλο δεν είναι εγγυημένοι, ούτε οι συντελεστές είναι ντετερμινιστικοί. Στο τέλος του ερευνητικού έργου, συγκρίνονται ευκρινείς τιμές βελτιστοποίησης και ασαφείς τιμές βελτιστοποίησης. Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί ένα αριθμητικό παράδειγμα για να καταδειχθεί εάν το μοντέλο είναι κατάλληλο ή όχι για αυτήν την αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Το μοντέλο που προτάθηκε από τον Ramezani και τους συναδέλφους προσφέρει όχι μόνο μια στρατηγική μελλοντικής εφοδιαστικής αλλά και μια αντίστροφη στρατηγική εφοδιαστικής για χρήση από τους λιανοπωλητές εκτός από τους προμηθευτές.

Οι Soleimani και ο Kannan παρουσίασαν την ιδέα ενός νέου υβριδικού μοντέλου (2015). Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μοντέλο αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου για δίκτυα μεγάλης κλίμακας, συνδύασαν τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων με τη γενική μέθοδο. Το νέο μοντέλο ενσωματώνει μια ποικιλία μεταβλητών σχεδιασμού. Όταν ο γενετικός αλγόριθμος και η βελτιστοποίηση σμήνους χρησιμοποιήθηκαν ανεξάρτητα, αυτές οι δύο δημοφιλείς μεταερευνητικές τεχνικές συνέβαλαν στη βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Στην έρευνα των Keyvanshokoo et al. (2016), αναπτύχθηκε ένα ακόμη υβριδικό μοντέλο στο οποίο ενσωματώθηκε η ισχυρή και η στοχαστική βελτιστοποίηση. Στόχος τους είναι να επιτύχουν το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος μέσω της χρήσης ενός μικτού αέριου γραμμικού προγράμματος. Το υβριδικό μοντέλο στιβαρής στοχαστικής μοντελοποίησης καλύπτει την αβεβαιότητα του κόστους μεταφοράς καθώς και των συνδυασμών ζήτησης και επιστρεφόμενων προϊόντων. Για τα διαφορετικά σενάρια κόστους μεταφοράς, χρησιμοποιείται η προσέγγιση Latin Hypercube Sampling και συζητείται η στοχαστική αποσύνθεση Benders προκειμένου να λυθεί αυτό το μοντέλο.

Οι Talaei et al. (2016) χρησιμοποίησαν μια ισχυρή προσέγγιση ασαφούς μοντελοποίησης προκειμένου να λύσει το πρόβλημα του σχεδιασμού ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου με απόδοση άνθρακα. Έλυσαν τα ζητήματα εντοπισμού και κατανομής εγκαταστάσεων ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα μικτού αέριου προγραμματισμού. Αυτό τους επέτρεψε να εξηγήσουν τη ασάφεια στα δεδομένα. Ο πιο σημαντικός λόγος για να χρησιμοποιούν ασαφή προγραμματισμό ήταν η μείωση του συνολικού κόστους με ταυτόχρονη μείωση της ποσότητας άνθρακα που εκπέμπεται.

Οι Tseng et al. (2015) έκαναν μια προσπάθεια να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά μιας εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου από την άποψη της έννοιας της βιωσιμότητας. Εφάρμοσαν ένα ισορροπημένο σύστημα αξιολόγησης καρτών βαθμολογίας στην ιεραρχία της εφοδιαστικής τους αλυσίδας κλειστού βρόχου. Η ασαφής προσέγγιση και η αναλυτική διαδικασία δικτύου χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση αυτού του συστήματος και την κατανόηση της αλληλεξάρτησης μέσω της χρήσης μετρήσεων. Το αποτέλεσμα της ιδέας τους προσφέρει μια στρατηγική διαχείρισης και ένα σύστημα υποστήριξης για τους ενδιαφερόμενους σε βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου.

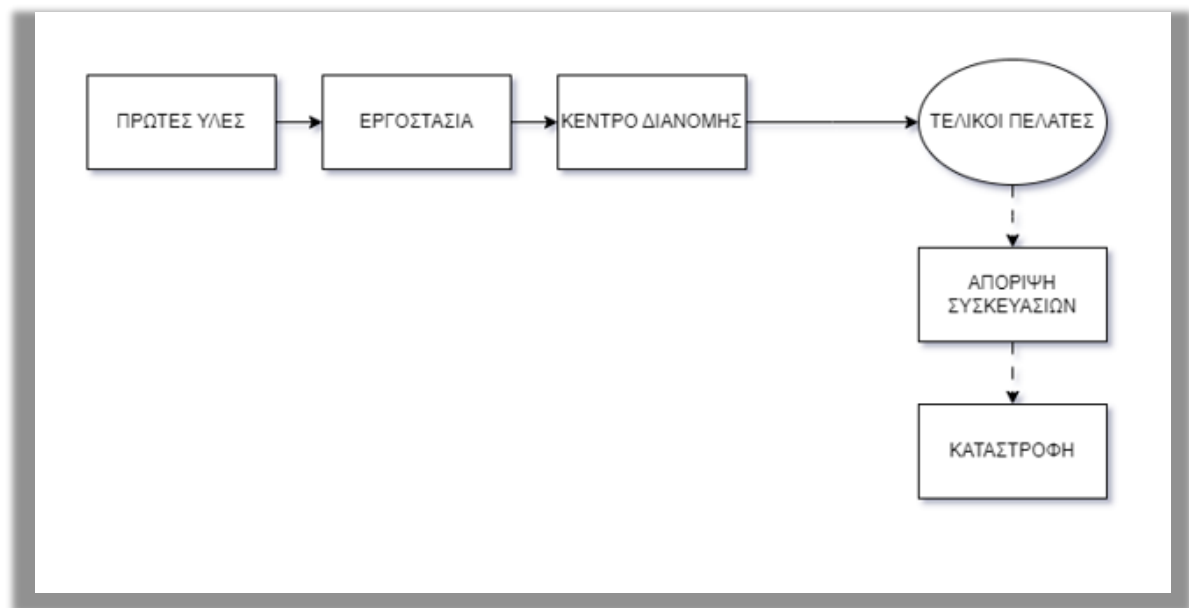
Οι Zhalechian et al. (2016) κατασκεύασαν ένα βιώσιμο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας δρομολόγησης τοποθεσίας κλειστού βρόχου, λαμβάνοντας υπόψη ένα στοχαστικό περιβάλλον. Οι Zhalechian et al. παρουσίασαν μια νέα μαθηματική μοντελοποίηση, η οποία αποτελεί μια μαθηματική μοντελοποίηση πολλαπλών στόχων για την κατασκευή μιας βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου. Αυτή η νέα μαθηματική μοντελοποίηση παρέχει οφέλη, συμπεριλαμβανομένων των αποφάσεων κατανομής και δρομολόγησης, καθώς και πράσινες εκτιμήσεις. Η ενσωμάτωση στοχαστικών και ντετερμινιστικών μεταβλητών στο μοντέλο όχι μόνο φέρνει την έρευνα πιο κοντά σε ένα πραγματικό σενάριο αλλά διασφαλίζει επίσης ότι πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας. Κατέληξαν κυρίως στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου έχει σημαντική επίδραση στο κόστος και τη διαχείριση των αποθεμάτων.

## Κεφάλαιο 4 Μελέτη περίπτωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων

Για την μελέτη περίπτωσης χρησιμοποιήσαμε ως βάση το άρθρο του Samir Saci, **Μαίος 2021**.

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης θα μελετήσουμε την εφοδιαστική αλυσίδα μιας φανταστικής εταιρείας (τα δεδομένα δημιουργήθηκαν βάσει του άρθρου και κατά προσέγγιση για την παρούσα υποθετική εταιρεία) που δραστηριοποιείται στο χώρο της φαρμακοβιομηχανίας με εργοστάσια σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας.

Στο παρακάτω (σχήμα 1) περιγράφεται το δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας της εταιρείας



Δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας — σχήμα 9)

Περιλαμβάνει :

- 5 Εργοστάσια σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Λαμία, Αλεξανδρούπολη
- 2 τύπους εργοστασίων : μικρής και μεγάλης χωρητικότητας
- Κόστη αποστολής (€ ανά κιβώτιο)
- Ζήτηση πελάτη (μονάδες ανά έτος)

Σταθερά κόστη εγκαταστάσεων

- Κεφαλαιουχικές δαπάνες για τον εξοπλισμό (Μηχανήματα, Αποθήκευση, ..)
- Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας (Ρεύμα, Νερό, κλπ)
- Διοίκηση εργοστασίου, διοικητικό προσωπικό
- Ενοικίαση Χώρου

Αυτά τα κόστη εξαρτώνται από τη πόλη και τον τύπο του εργοστασίου.

Σχεδιασμός Συστημάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας Κλειστού Βρόγχου: Προκλήσεις και Ευκαιρίες



Χ 1000 €/ μήνα	Μικρή (χωρητικότητα)	Μεγάλη (χωρητικότητα)
Αθήνα	6500	9500
Θεσσαλονίκη	6200	9000
Πάτρα	6100	8900
Λαμία	6000	8850
Αλεξανδρούπολη	6300	9200

Σταθερά έξοδα κατασκευής — (σχήμα 10)

Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής

- Χειριστές γραμμών παραγωγής
- Πρώτες ύλες

Μεταβλητά κόστη (€/τεμάχιο)	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Πάτρα	Λαμία	Αλεξανδρούπολη
Αθήνα	10	10	10	10	10
Θεσσαλονίκη	11	11	11	11	11
Πάτρα	9	9	9	9	9
Λαμία	8	8	8	8	8
Αλεξανδρούπολη	12	12	12	12	12

Κόστος παραγωγής — (σχήμα 11)

Για παράδειγμα, το μεταβλητό κόστος μιας μονάδας που παράγεται στη Λαμία είναι 8€ /τεμάχιο.

Μεταβλητά έξοδα αποστολής

- Κόστος ανά κοντέινερ (€/κιβώτιο)
- 1 κιβώτιο περιέχει 1000 τεμάχια

Μεταφορικά (€/κιβώτιο)	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Πάτρα	Λαμία	Αλεξανδρούπολη
Αθήνα	0	125	52.5	53.75	200
Θεσσαλονίκη	125	0	116.25	75	73.75
Πάτρα	52.5	116.25	0	46.25	191.25
Λαμία	53.75	75	46.25	0	148.75
Αλεξανδρούπολη	200	73.75	191.25	148.75	0

Έξοδα μεταφοράς (ευρώ /κοντέινερ) — (σχήμα 12)

Για παράδειγμα, εάν θέλετε να στείλετε ένα κοντέινερ από την Αθήνα στη Λαμία θα σας κοστίσει 53.75 (ευρώ/κοντέινερ).

Ανάλογα με τον τύπο του κάθε εργοστασίου διαφέρει και η παραγωγική ικανότητα .

Παραγωγική ικανότητα (x 1000 τεμάχια/μήνα)	Μικρή (χωρητικότητα)	Μεγάλη (χωρητικότητα)
Αθήνα	150	250
Θεσσαλονίκη	150	250
Πάτρα	150	250
Λαμία	150	250
Αλεξανδρούπολη	150	250

Παραγωγική ικανότητα ανά τοποθεσία — (σχήμα 13)

Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο μεγάλης χωρητικότητας στην Αθήνα μπορεί να παράγει 250.000 (τεμάχια/μήνα).

(τεμάχια / μήνα)	Ζήτηση
Αθήνα	800.000
Θεσσαλονίκη	100.000
Πάτρα	40.000
Λαμία	10.000
Αλεξανδρούπολη	15.000

Η ζήτηση των πελατών ανά αγορά — (σχήμα 14)

Χρησιμοποιώντας τον πηγαίο κώδικα και τα μοντέλα του Saci, **Μαίος 2021**, είμαστε σε θέση να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Για βελτιστοποιήσουμε την εφοδιαστική αλυσίδα της εταιρίας μας η καλύτερη δυνατή επιλογή είναι να χρησιμοποιούμε μόνο τα εργοστάσια σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη , Πάτρα, Λαμία με υψηλή παραγωγική ικανότητα(250.000 τεμάχια / μήνα).

Το εργοστάσιο που βρίσκεται στην πόλη της Αλεξανδρούπολης σταματά να λειτουργεί .

	Low	High
<b>Location</b>		
<b>Athens</b>	0	1
<b>Thessaloniki</b>	0	1
<b>Patra</b>	0	1
<b>Lamia</b>	0	1
<b>Alexandroupoli</b>	0	0

Αποτέλεσμα βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας — (σχήμα 15)

Τα κόστη της εφοδιαστικής μας αλυσίδας είναι 45.402 € ανά μήνα και οι διαδρομές που θα πραγματοποιηθούν είναι οι εξής:

- Λαμία -> Αθήνα
- Πάτρα -> Αθήνα
- Θεσσαλονίκη -> Αλεξανδρούπολη
- Θεσσαλονίκη -> Αθήνα

```
Total Costs = 45,402,531 (€/Month)
Status: Optimal
('Lamia', 'Athens') = 240000.0
('Patra', 'Athens') = 210000.0
('Thessaloniki', 'Alexandroupoli') = 15000.0
('Thessaloniki', 'Athens') = 100000.0
```

Κόστη Εφοδιαστικής αλυσίδας και Διαδρομές που εκτελούνται — (σχήμα 16)

Στο παραπάνω μοντέλο προσθέσαμε τον υπολογισμό εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα για να εξάγουμε συμπεράσματα για το αποτύπωμα που αφήνει στο περιβάλλον η εφοδιαστική μας αλυσίδα.

Αρχικά υποθέτοντας ότι το CO<sub>2</sub> αποτύπωμα των οχημάτων που χρησιμοποιούμε για τις μεταφορές είναι 58.2 / tkm (tonne-kilometre) δημιουργήσαμε το παρακάτω dataset .

Τόνοι CO <sub>2</sub> / διαδρομή (10 κιβώτια / διαδρομή)	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Πάτρα	Λαμία	Αλεξανδρούπολη
Αθήνα	0	29.15	12.243	12.5345	46.64
Θεσσαλονίκη	29.15	0	27.1095	17.49	17.1985
Πάτρα	12.243	27.1095	0	10.7855	44.5995
Λαμία	12.5345	17.49	10.7855	0	34.6885
Αλεξανδρούπολη	46.64	17.1985	44.5995	34.6885	0

Τόνοι CO<sub>2</sub> ανά μεταφορά — (σχήμα 17)

Υπολογίζουμε το CO<sub>2</sub> αποτύπωμα των εργοστασίων από το γινόμενο του CO<sub>2</sub> emission factor (0.85) αλλά και της κατανάλωσης σε (ηλεκτρική ενέργεια) των εργοστασίων Telang S. (2011).

Kwhr/ μήνα	Μικρή (χωρητικότητα)	Μεγάλη (χωρητικότητα)
Αθήνα	100	150
Θεσσαλονίκη	100	150
Πάτρα	100	150
Λαμία	100	150
Αλεξανδρούπολη	100	150

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εργοστασίων — (σχήμα 18)

Παρακάτω φαίνεται το αποτύπωμα CO<sub>2</sub> για κάθε εργοστάσιο ξεχωριστά αλλά και το συνολικό αποτύπωμα των εργοστασίων.

```
co2 emission from factory in Athens 127.5
co2 emission from factory in Thessaloniki 127.5
co2 emission from factory in Patra 127.5
co2 emission from factory in Lamia 127.5
co2 emission from factory in Alexandroupoli 0
Total co2 emissions from all factories 510.0
```

CO<sub>2</sub> αποτύπωμα εργοστασίων— (σχήμα 19)

Παρακάτω φαίνεται το αποτύπωμα CO2 της κάθε ξεχωριστής διαδρομής αλλά και το σύνολό τους

```
Total co2 emission in tons per shipping ('Lamia', 'Athens') 16.5345
Total co2 emission in tons per shipping ('Patra', 'Athens')
16.2430000000000002
Total co2 emission in tons per shipping
('Thessaloniki', 'Alexandroupoli') 17.1985
Total co2 emission in tons per ship ('Thessaloniki', 'Athens') 2.0
Total co2 emission in tons for all shippings 51.976
```

#### CO2 αποτύπωμα μεταφορών— (σχήμα 20)

Με βάση τα παραπάνω το συνολικό αποτύπωμα CO2 της εφοδιαστικής αλυσίδας μας είναι το άθροισμα μεταξύ του αποτυπώματος CO2 της παραγωγής των εργοστασίων και του αποτυπώματος του συνόλου των μεταφορών.

```
Total co2 emissions for all factories and shipping 561.976 tons per month
```

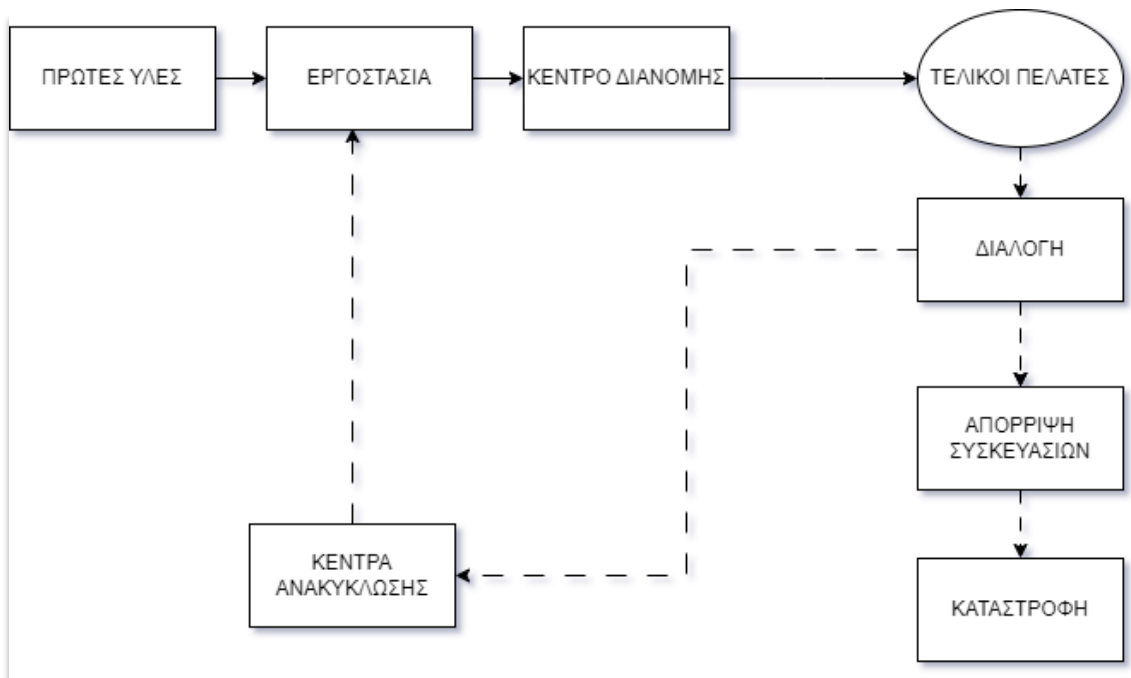
#### Συνολικό CO2 αποτύπωμα— (σχήμα 21)

Η νέα ομάδα που ανέλαβε να τη βελτιστοποιήσει της εφοδιαστικής αλυσίδας αποφάσισε να προσθέσει σημεία ανακύκλωσης των χρησιμοποιημένων συσκευασιών των προϊόντων της εταιρίας.

Με αυτόν τον τρόπο οι συσκευασίες επιστρέφουν στα πλησιέστερα εργοστάσια καθιστώντας την υπάρχουσα εφοδιαστική αλυσίδα ως μια εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόγχου.

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας έχουμε σαν αποτέλεσμα μια μείωση στον πίνακα “Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής” Κατά 15 %.

Στο παρακάτω (σχήμα 22.) περιγράφεται το δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου της εταιρείας .



Δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου— (σχήμα 22)

Μεταβλητά κόστη (€/τεμάχιο)	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Πάτρα	Λαμία	Αλεξανδρούπολη
Αθήνα	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Θεσσαλονίκη	9.35	9.35	9.35	9.35	9.35
Πάτρα	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65
Λαμία	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Αλεξανδρούπολη	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2

Μειωμένα μεταβλητά κόστη λόγω επιστροφής των ανακυκλωμένων συσκευασιών — (σχήμα 23)

Μεταφέροντας τα νέα δεδομένα έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα στα κόστη αλλά και στο CO2 αποτύπωμα. Μειωμένα κόστη κατά 3.01 % .

Total Costs = 44,035,281 (€ /Month)

Συνολικά κόστη εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου — (σχήμα 24)

Χ1000 kWh / μήνα	Μικρή (χωρητικότητα)	Μεγάλη (χωρητικότητα)
Αθήνα	85	127.5
Θεσσαλονίκη	85	127.5
Πάτρα	85	127.5
Λαμία	85	127.5
Αλεξανδρούπολη	85	127.5

Μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εργοστασίων — (σχήμα 25)

Αλλά και μειωμένο CO2 αποτύπωμα συνολικά κατά 13.55 % .

```
co2 emission from factory in Athens 108.375
co2 emission from factory in Thessaloniki 108.375
co2 emission from factory in Patra 108.375
co2 emission from factory in Lamia 108.375
co2 emission from factory in Alexandroupoli 0
Total co2 emissions from all factories 433.5
```

Total co2 emissions for all factories and shipping 485.476 tons per month

CO2 αποτύπωμα εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόγχου — (σχήμα 26)

## Συμπεράσματα

Η αύξηση της κατανάλωσης υλικών αγαθών, σε συνδυασμό με τα αυξανόμενα ποσοστά σπανιότητας πόρων και σπατάλης, είναι η κύρια αιτία εκτεταμένης καταστροφής του περιβάλλοντος και θέτει σε κίνδυνο το μέλλον της ανθρωπότητας.

Η σύγχρονη κατανάλωση των πόρων εγείρει ανησυχίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του τρέχοντος οικονομικού μας συστήματος, το οποίο είναι κυρίως γραμμικό. Σε ένα γραμμικό μοντέλο κατανάλωσης πόρων, νέοι πόροι εξορύσσονται συνεχώς και χρησιμοποιούνται ως εισροές στην κατασκευή προϊόντων. Όταν τα εν λόγω εμπορεύματα έχουν τεθεί στην πιο παραγωγική τους χρήση, αφαιρούνται από την κυκλοφορία και απορρίπτονται. Προκειμένου η ανθρώπινη δραστηριότητα να παραμείνει εντός ορίων που είναι βιώσιμα, πρέπει να υπάρξει αποσύνδεση της οικονομικής δραστηριότητας από την εξόρυξη πόρων και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και επίσης πρέπει να αυξηθεί σημαντικά η ποσότητα της αποτελεσματικότητας με την οποία χρησιμοποιούνται πόροι (Altenburg & Rodrik, 2017; ΟΟΣΑ, 2019).

Σε αυτό το πλαίσιο, η έννοια της κυκλικής οικονομίας, η οποία είναι επίσης γνωστή ως CE, κερδίζει γρήγορα την προσοχή ως ένας τρόπος αποσύνδεσης της οικονομικής ανάπτυξης από τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων.

Συγκεκριμένα, η ιδέα της κυκλικής οικονομίας κερδίζει έδαφος ως τρόπος μείωσης των απορριμμάτων και αύξησης των ποσοστών ανακύκλωσης. Ως μέρος του στόχου της πρωτοβουλίας για μείωση της ποσότητας απορριμμάτων που δημιουργείται, η σύγχρονη προοπτική της κυκλικής οικονομίας προβλέπει την ανακύκλωση, καθώς και την επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων και υλικών, καθώς και τη δημιουργία προϊόντων που χρησιμοποιούν λιγότερα υλικά και πόρους. Όταν τα απόβλητα ανακυκλώνονται, μπορούν να μετατραπούν σε νέους πόρους εκτός από το να χρησιμεύουν ως εισροή για τη διαδικασία παραγωγής.

Έχουν εκπονηθεί σχέδια από ευρωπαϊκά θεσμικά όργανα με σκοπό την ανάπτυξη ενός νομοθετικού πλαισίου για την εφοδιαστική αλυσίδα στις χώρες της Ευρώπης. Οι στόχοι αυτής της πρωτοβουλίας περιλαμβάνουν τόσο την προώθηση της λεγόμενης Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, που είναι το πρόγραμμα βιωσιμότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και την πρόληψη πιθανών στρεβλώσεων του ανταγωνισμού στην εσωτερική αγορά που προκαλούνται από την κρατική νομοθεσία.

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο ατόμων και οργανισμών που εμπλέκονται στη δημιουργία ενός προϊόντος καθώς και στη διανομή αυτού του προϊόντος στον τελικό καταναλωτή. Ο τελικός κρίκος της αλυσίδας θα ολοκληρωθεί όταν το φορτηγό που μεταφέρει το έτοιμο προϊόν προς παράδοσή στον πελάτη. Οι παραγωγοί πρώτων υλών αποτελούν τον πρώτο κρίκο του δικτύου. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια σημαντική διαδικασία για τον απλό λόγο ότι ένα βελτιστοποιημένο δίκτυο εφοδιασμού έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος και έναν κύκλο παραγωγής που είναι πιο αποτελεσματικός. Οι εταιρείες επιδιώκουν πάντα να βελτιώσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τους με την ελπίδα να μειώσουν τα λειτουργικά τους έξοδα και να διατηρήσουν το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα στις αντίστοιχες αγορές τους. Οι εταιρείες που κατασκευάζουν αγαθά, οι χονδρέμποροι, οι λιανοπωλητές, οι μεσάζοντες, οι πάροχοι logistics και οι κόμβοι διανομής είναι όλοι στοιχεία που συμμετέχουν στη δημιουργία μιας αλυσίδας εφοδιασμού.

Τα αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού εγγυώνται ότι κάθε συστατικό του προϊόντος παρέχεται ακριβώς όταν και όπου απαιτείται. Αυτό προϋποθέτει τη διασφάλιση ότι τα έξοδα παραγωγής διατηρούνται πάντα υπό αυστηρό έλεγχο. Η ροή του



κόστους κατασκευής είναι ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας που πρέπει να αντιμετωπιστεί για τις επιχειρήσεις που παράγουν προϊόντα που απαιτούν μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων που προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών προμηθευτών.

Μια συμβατική αλυσίδα εφοδιασμού, επίσης γνωστή ως μελλοντική εφοδιαστική, μπορεί να συνδυαστεί αποτελεσματικά με την αντίστροφη εφοδιαστική για να σχηματίσει μια αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Αυτός ο τύπος εφοδιαστικής αλυσίδας εξετάζει την κίνηση ενός προϊόντος αφού ολοκληρώσει τον αρχικό σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε. Αφού δημιουργηθεί, αποσταλεί και διανεμηθεί ένα αντικείμενο μέσω ενός μεταπωλητή, ο παραγωγός θα καταβάλει κάθε δυνατή προσπάθεια για να παροτρύνει τον πελάτη να του επιστρέψει το αντικείμενο, ώστε να πάρει πίσω τα χρήματά του. Αυτό θα πραγματοποιηθεί όταν το αντικείμενο είτε καταστεί άχρηστο είτε πάψει να είναι λειτουργικό. Σχεδόν αμέσως μετά ξεκινά η διαδικασία της αντίστροφης εφοδιαστικής, στην οποία τα πράγματα μπορούν είτε να επισκευαστούν και να μεταπωληθούν είτε να αποσυναρμολογηθούν για μελλοντική χρήση στη δημιουργία άλλων αγαθών. Και οι δύο αυτές επιλογές είναι βιώσιμες στο πλαίσιο της αντίστροφης εφοδιαστικής. Η φράση "κλειστός βρόχος" παραπέμπει στο γεγονός ότι η αλυσίδα προορίζεται να διατηρήσει και να ανακτήσει την αξία της από αντικείμενα που δεν χρησιμοποιούνται, ενώ συμβάλλει στη δημιουργία όσο το δυνατόν λιγότερων απορριμμάτων. Οι ερευνητές, όπως προκύπτει από την παραπάνω βιβλιογραφική ανασκόπηση, προτείνουν νέα μοντέλα για αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου σε μια προσπάθεια να βοηθήσουν τόσο τις επιχειρήσεις, όσο και το περιβάλλον. Ενδεικτικά παρουσιάστηκε ένας σημαντικός αριθμός μαθηματικών μοντέλων που, μπορούν να αξιοποιηθούν από τις επιχειρήσεις, ιδιαίτερα με την αξιοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας.

Η έννοια των αλυσίδων εφοδιασμού κλειστού βρόχου παρουσιάζει προκλήσεις και ευκαιρίες για οργανισμούς που στοχεύουν στην επίτευξη βιωσιμότητας και λειτουργικής αριστείας. Ενσωματώνοντας διαδικασίες αντίστροφης εφοδιαστικής, ανάκτησης προϊόντων και ανακύκλωσης, οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη, όπως εξοικονόμηση κόστους, μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αυξημένη ικανοποίηση των πελατών. Ωστόσο, η εφαρμογή συστημάτων κλειστού βρόχου δεν είναι χωρίς προκλήσεις.

Μία από τις βασικές προκλήσεις στις αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου είναι η πολυπλοκότητα της διαχείρισης των λειτουργιών αντίστροφης εφοδιαστικής. Η αποτελεσματική συλλογή, διαλογή και επεξεργασία επιστρεφόμενων προϊόντων ή υλικών απαιτεί ισχυρά δίκτυα logistics, αποτελεσματικό συντονισμό και συνεργασία μεταξύ των διάφορων ενδιαφερομένων. Η διασφάλιση της βέλτιστης χρήσης των πόρων, η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς και η διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων σε όλη την αντίστροφη αλυσίδα εφοδιασμού είναι συνεχείς προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι οργανισμοί.

Μια άλλη πρόκληση είναι η ενοποίηση συστημάτων πληροφοριών και η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι αποτελεσματικές λειτουργίες κλειστού βρόχου βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ακριβή και σε πραγματικό χρόνο ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τις επιστροφές προϊόντων, τις διαδικασίες ανακατασκευής και τα επίπεδα αποθέματος. Η δημιουργία απρόσκοπτων καναλιών επικοινωνίας, η εφαρμογή τυποποιημένων μορφών δεδομένων και η αντιμετώπιση προβλημάτων ασφάλειας δεδομένων και απορρήτου είναι απαραίτητα για την επιτυχή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου.

Επιπλέον, ρυθμιστικές και νομικές εκτιμήσεις θέτουν προκλήσεις για συστήματα κλειστού βρόχου. Η συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, τις πολιτικές διαχείρισης απορριμμάτων και τις απαιτήσεις επισήμανσης προϊόντων προσθέτει πολυπλοκότητα στις διαδικασίες αντίστροφης εφοδιαστικής. Οι οργανισμοί πρέπει να παραμένουν ενημερωμένοι με τους εξελισσόμενους κανονισμούς, να προσαρμόζουν τις

δραστηριότητές τους ανάλογα και να αντιμετωπίζουν προληπτικά τυχόν νομικά εμπόδια στην εφαρμογή στρατηγικών κλειστού βρόχου.

Παρά αυτές τις προκλήσεις, οι κλειστοί βρόχοι της εφοδιαστικής αλυσίδας προσφέρουν επίσης σημαντικές ευκαιρίες. Επιτρέπουν στους οργανισμούς να μειώσουν τα απόβλητα, να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές άνθρακα και να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων. Τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους μέσω της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υλικών, μειωμένης εξάρτησης από παρθένους πόρους και βελτιωμένης λειτουργικής απόδοσης.

Επιπλέον, οι αλυσίδες εφοδιασμού κλειστού βρόχου παρουσιάζουν ευκαιρίες για καινοτομία και συνεργασία. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανακατασκευής, ο σχεδιασμός προϊόντων για δυνατότητα ανακατασκευής και η εξερεύνηση εναλλακτικών υλικών δημιουργούν δρόμους για βιώσιμη καινοτομία. Η συνεργασία μεταξύ των εταιρών της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών, των προμηθευτών, των εμπόρων λιανικής και των καταναλωτών, είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία αποτελεσματικών συστημάτων κλειστού βρόχου και την προώθηση της συλλογικής περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Συμπερασματικά, οι εφοδιαστικές αλυσίδες κλειστού βρόχου παρουσιάζουν προκλήσεις και ευκαιρίες για τους οργανισμούς. Η υπέρβαση των πολυπλοκοτήτων που σχετίζονται με την αντίστροφη εφοδιαστική, την ενοποίηση πληροφοριών και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς είναι απαραίτητη. Ωστόσο, με την αποτελεσματική διαχείριση αυτών των προκλήσεων, οι οργανισμοί μπορούν να ξεκλειδώσουν τα πιθανά οφέλη των συστημάτων κλειστού βρόχου, συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης κόστους, των μειωμένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της ενισχυμένης βιωσιμότητας. Η υιοθέτηση στρατηγικών κλειστού βρόχου όχι μόνο ευθυγραμμίζει τις επιχειρήσεις με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας αλλά τις τοποθετεί επίσης ως ηγέτες στη βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

## Βιβλιογραφία

1. Abdulrahman, M. D., Gunasekaran, A. and Subramanian, N. (2014). Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. *International Journal of Production Economics*, Vol. 147, pp. 460-471.
2. Adenso-Díaz, B., Moreno, P., Gutiérrez, E., & Lozano, S. (2012). An analysis of the main factors affecting bullwhip in reverse supply chains. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 917-928.
3. Akcali, E., Çetinkaya, S. and Üster, H. (2009). Network design for reverse and closed-loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches. *Networks*, Vol. 53, pp. 231-248.
4. Altenburg, T., & Rodrik D. (2017). Green industrial policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. In T. Altenburg & C. Assmann (Eds.) *Green industrial policy: Concept, policies, country experiences* (pp. 1-20). Geneva; Bonn: UN Environment Programme (UNEP) & German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE).
5. Amaro, A.C.S., Barbosa-Póvoa, A.P.F. (2009): The effect of uncertainty on the optimal closed-loop supply chain planning under different partnerships structure. *Comput. Chem. Eng.* 33(12), 2144–2158
6. Amin, S. H. and Zhang, G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, Vol. 51, pp. 1405-1425.
7. Amin, S. H. and Zhang, G. (2014). Closed-loop supply chain network configuration by a multi-objective mathematical model. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, Vol. 6, pp. 1-15.
8. Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy 2015*, Vol. 30(3) 305–315 ! The Author(s).
9. Awan, U., Sroufe, R., & Shahbaz, M. (2021). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2038-2060.
10. Azadnia, A. George Onofrei, Pezhman Ghadimi (2021), Electric vehicles lithium-ion batteries reverse logistics implementation barriers analysis: A TISM-MICMAC approach, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 174,105751,ISSN 0921-3449,<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105751>
11. Bag, S., Sahu, A. K., Kilbourn, P., Pisa, N., Dhamija, P., & Sahu, A. K. (2021). Modeling barriers of digital manufacturing in a circular economy for enhancing sustainability. *International Journal of Productivity and Performance Management*.
12. Basuki, R Widyanti, I Rajiani. *Entrepreneurial Business and Economics Review* 9 (2), 151-165.
13. Battini, D., Bogataj, M., & Choudhary, A. (2017). Closed loop supply chain (CLSC): economics, modelling, management and control. *International Journal of Production Economics*, 183, 319-321.
14. Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2011). A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54, 1245-1261.
15. Binion, E., & Gutberlet, J. (2012). The effects of handling solid waste on the wellbeing of informal and organized recyclers: A review of the literature. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 18(1), 43-52. doi: 10.1179/1077352512Z.0000000001
16. Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

17. Braz, A. C., De Mello, A. M., de Vasconcelos Gomes, L. A., & de Souza Nascimento, P. T. (2018). The bullwhip effect in closed-loop supply chains: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 202, 376-389.
18. Bressanelli, G., Perona, M., & Saccani, N. (2019). Challenges in supply chain redesign for the Circular Economy: A literature review and a multiple case study. *International Journal of Production Research*, 57(23), 7395-7422.
19. Cachon, G. P., Randall, T., & Schmidt, G. M. (2007). In search of the bullwhip effect. *Manufacturing & Service Operations Management*, 9(4), 457-479.
20. Campos, D. Ricardo Gómez-García, Ana A. Vilas-Boas, Ana Raquel Madureira and Maria Manuela Pintado (2020) Management of Fruit Industrial By-Products—A Case Study on Circular Economy Approach. *Molecules*.
21. Chaturvedi, A., Gaurav, J. K., & Gupta, P. (2017). The many circuits of a circular economy (STEPS Working Paper 94). Brighton: STEPS Centre
22. Chen, Y., & Chen, F. (2019). On the competition between two modes of product recovery: Remanufacturing and refurbishing. *Production and Operations Management*, 28(12), 2983-3001.
23. Chen, J.-M. and Chang, C.-I. (2013). Dynamic pricing for new and remanufactured products in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, Vol. 146, pp. 153-160.
24. Computational Infrastructure for Operations Research, Optimization with PuLP <https://coin-or.github.io/pulp/>
25. Coronado Mondragon, A. E., Lalwani, C. and Coronado Mondragon, C. E. (2011). Measures for auditing performance and integration in closed-loop supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 16, pp. 43-56.
26. Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226, 107617.
27. Dejonckheere, J., Disney, S. M., Lambrecht, M. R., & Towill, D. R. (2003). Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. *European journal of operational research*, 147(3), 567-590.
28. Daniel, D. (2023). Bullwhip Effect. Techtarget, Retrieved from: <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/bullwhip-effect>
29. De la fuente, M. V., Ros, L. and Cardos, M. (2008). Integrating forward and reverse supply chains: application to a metal-mechanic company. *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, pp. 782-792.
30. Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V. (2014) : Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: a comparison of metaheuristics hybridization techniques. *Eur. J. Oper. Res.* 235(3), 594–615.
31. de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18-25.
32. Dwicahyani, A. R., Kholisoh, E., Rosyidi, C. N., Laksono, P. W., & Jauhari, W. A. (2020). Inventory model optimisation for a closed-loop retailer-manufacturer-supplier system with imperfect production, reworks and quality dependent return rate. *International Journal of Services and Operations Management*, 35(4), 528-556.
33. Ellen MacArthur Foundation, McKinsey & Company. (2014). *Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
34. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation.

35. Επίσημος Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Διαθέσιμο στον Ιστότοπο: europa.eu
36. Eskandarpour, Majid & DEJAX, Pierre & Miemczyk, Joe & Péton, Olivier. (2015). Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. *Omega*. 54. 10.1016/j.omega.2015.01.006.
37. Francas, D. and Minner, S. (2009). Manufacturing network configuration in supply chains with product recovery. *Omega*, Vol. 37, pp. 757-769
38. Fransoo, J. C., & Wouters, M. J. (2000). Measuring the bullwhip effect in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2), 78-89.
39. Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European journal of operational research*, 240(3), 603-626.
40. Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, 344-357.
41. Georgiadis, P., Besiou, M. (2008) : Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: a system dynamics approach. *J. Clean. Prod.* 16(15), 1665–1678.
42. Ghisellini, Patrizia & Cialani, Catia & Ulgiati, Sergio. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*. 114. 11-32. 10.1016/j.jclepro.2015.09.007.
43. Guide Jr, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). OR FORUM—The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations research*, 57(1), 10-18.
44. Grant, D. (2017) Sustainable logistics and supply chain management, Principles and Practices for Sustainable Operations and Management
45. Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (2015). Interrogating the circular economy: The moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44(2), 218-243. doi: 10.1080/03085147.2015.1013353
46. Gutberlet, J., & Carenzo, S. (2020). Waste pickers at the heart of the circular economy: A perspective of inclusive recycling from the global south. *Worldwide Waste* 3(1). doi:http://doi.org/10.5334/wwwj.50
47. Gutberlet, J., Carenzo, S., Kain, J.-H., & Mantovani Martiniano de Azevedo, A. (2017). Waste picker organizations and their contribution to the circular economy: Two case studies from a global south perspective. *Resources*, 6(4). doi:10.3390/resources6040052
48. Goltsov, T. E., Ponte, B., Wang, S., Liu, Y., Naim, M. M., & Syntetos, A. A. (2019). The boomerang returns? Accounting for the impact of uncertainties on the dynamics of remanufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 57(23), 7361-7394.
49. Govindan, K., Kannan, D., Jørgensen, T. B., & Nielsen, T. S. (2022). Supply chain 4.0 performance measurement: A systematic literature review, framework development, and empirical evidence. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 164, 102725.
50. Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., & Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118317.
51. Hazen, Christopher A. Boone, Jeremy D. Ezell, L. Allison Jones-Farmer (2014), Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications, *International Journal of Production Economics*, Volume 154, Pages 72-80, ISSN 0925-5273, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.018.
52. Henrich, J., Li, J., Mazuera, C, Perez, F. (2022). With supply chains in the spotlight, three new long-term transformation priorities form a fresh focus for competitive advantage. *McKinsey*.

53. Hosoda, T., Disney, S. M., & Gavirneni, S. (2015). The impact of information sharing, random yield, correlation, and lead times in closed loop supply chains. *European Journal of Operational Research*, 246(3), 827-836.
54. Hosoda, T., & Disney, S. M. (2018). A unified theory of the dynamics of closed-loop supply chains. *European Journal of Operational Research*, 269(1), 313-326.
55. Huang, M., Song, M., Lee, L. H., & Ching, W. K. (2013). Analysis for strategy of closed-loop supply chain with dual recycling channel. *International journal of production economics*, 144(2), 510-520.
56. Huang, Y. and Wang, Z. (2017). Closed-loop supply chain models with product take-back and hybrid remanufacturing under technology licensing. *Journal of cleaner production*, Vol. 142, pp. 3917-3927.
57. Iassinovskaia, Galina & Limbourg, Sabine & Riane, Fouad, 2017. "The inventory-routing problem of returnable transport items with time windows and simultaneous pickup and delivery in closed-loop supply chains," *International Journal of Production Economics*, Elsevier, vol. 183(PB), pages 570-582.
58. Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., Schönberger, J., Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2019). Digital supply chain, smart operations and industry 4.0. *Global Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value*, 481-526.
59. Jaber, M. Y., Zaroni, S., & Zavanella, L. E. (2014). A consignment stock coordination scheme for the production, remanufacturing and waste disposal problem. *International Journal of Production Research*, 52(1), 50-65.
60. Jayant, A., Gupta, P. and Garg, S. (2012). Perspectives in reverse supply chain management (R-SCM): A state of the art literature review. *JJMIE*, Vol. 6, pp. 87-102.
61. Jayaraman, V., Guide Jr., V.D.R., Srivastava, R. (1999): A closed-loop logistics model for remanufacturing. *J. Oper. Res. Soc.* 50(5), 497–508.
62. Jayaraman, V. (2006). Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: an analytical approach. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, pp. 981-998
63. Jauhari, W. A., Dwicahyani, A. R., & Kurdhi, N. A. (2017). Lot sizing decisions in a closed-loop supply chain system with remanufacturing. *International Journal of Procurement Management*, 10(3), 381-409.
64. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie, 4(0), 82.
65. Kannan, G., Sasikumar, P., Devika, K.: A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling. *Appl. Math. Model.* 34(3), 655–670 (2010)
66. Kancharla, Surendra & Ramadurai, Gitakrishnan. (2020). Electric Vehicle Routing Problem with Non-Linear Charging and Load-Dependent Discharging. *Expert Systems with Applications*. 10.1016/j.eswa.2020.113714.
67. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050 (Urban Development)*. Washington, DC: World Bank.
68. Kazancoglu, Y., Ozkan-Ozen, Y. D., Sagnak, M., Kazancoglu, I., & Dora, M. (2021). Framework for a sustainable supply chain to overcome risks in transition to a circular economy through Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 1-16.
69. Kenné, J.P., Dejax, P., Gharbi, A. (2012): Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *Int. J. Prod. Econ.* 135(1), 81–93

70. Keyvanshokoo, E., Ryan, S.M., Kabir, E. (2016): Hybrid robust and stochastic optimization for closedloop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *Eur. J. Oper. Res.* 249(1), 76–92
71. Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., Van Wassenhove, L.N. (2003): Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *Int. J. Prod. Res.* 41(16), 3689–3719
72. Kumar, S., Yamaoka, T. (2007): System dynamics study of the Japanese automotive industry closed loop supply chain. *J. Manuf. Technol. Manag.* 18(2), 115–138
73. Konstantaras, I., Skouri, K., & Jaber, M. Y. (2010). Lot sizing for a recoverable product with inspection and sorting. *Computers & Industrial Engineering*, 58(3), 452-462.
74. Kundu, S., & Chakrabarti, T. (2018). Impact of carbon emission policies on manufacturing, remanufacturing and collection of used item decisions with price dependent return rate. *Opsearch*, 55(2), 532-555.
75. Kurniawan, T. A., Liang, X., O’Callaghan, E., Goh, H., Othman, M. H. D., Avtar, R., & Kusworo, T. D. (2022). Transformation of solid waste management in China: moving towards sustainability through digitalization-based circular economy. *Sustainability*, 14(4), 2374.
76. Li, W., Lai, M. Y., Zeng, G. M., Cao, E. B., & Nie, K. (2010, January). Pricing decision for remanufactured and refurbished products about WEEE. In 2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management (ICLSIM) (Vol. 3, pp. 1391-1395). IEEE.
77. Liang, L., Yang, F., Cook, W.D., et al. (2006) DEA Models for Supply Chain Efficiency Evaluation. *Annals of Operations Research*, 145, 35-49. <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0026-7>.
78. Lopez Research. (2014). Building smarter manufacturing with the Internet of Things (IoT). Part 2 of ‘The IoT Series’.
79. Mania, I., Delgado, A. M., Barone, C., & Parisi, S. (2018). Traceability in the dairy industry in Europe. *Traceability in the Dairy Industry in Europe*.
80. Marasco, A., Picucci, A. and Romano, A. (2016). Market share dynamics using Lotka–Volterra models. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 105, pp. 49-62.
81. Marcos, C. Scheller, R. Godina, T.S. Spengler, H. Carvalho (2021), Sources of uncertainty in the closed-loop supply chain of lithium-ion batteries for electric vehicles, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, Volume 1, <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100006>.
82. Mardan, E. & Kamranrad, R. (2020). A Multi-objective Closed Loop Supply Chain Design: A Case Study in Iran. *International Journal of Supply and Operations Management*. Volume 7, Issue 2, pp. 119-128.
83. Medina, M. (2008). *The informal recycling sector in developing countries: Organizing waste pickers to enhance their impact*. Washington, DC: World Bank.
84. Medina, M. (2010). *Solid wastes, poverty and the environment in developing country cities: Challenges and opportunities (WIDER Working Paper 2010/23)*. Helsinki: The United Nations University World Institute for Development Economics Research (UNU-WIDER).
85. Michaud, Céline & Llerena, Daniel. (2010). Green Consumer Behaviour: An Experimental Analysis of Willingness to Pay for Remanufactured Products. *Business Strategy and the Environment*. 20. 408 - 420. 10.1002/bse.703.
86. Min, H., Ko, H.J., Park, B.I. (2005): A Lagrangian relaxation heuristic for solving the multi-echelon, multi-commodity, closed-loop supply chain network design problem. *Int. J. Logist. Syst. Manag.* 1(4), 382–404
87. Mitra, S. (2012): Inventory management in a two-echelon closed-loop supply chain with correlated demands and returns. *Comput. Ind. Eng.* 62(4), 870–879

88. Murray, A., Skene, K., & Haynes K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380. doi:10.1007/s10551-015-2693-2
89. Nagasawa, Miho & Mitsui, Shohei & En, Shiori & Ohtani, Nobuyo & Ohta, Mitsuaki & Sakuma, Yasuo & Onaka, Tatsushi & Mogi, Kazutaka & Kikusui, Takefumi. (2015). Oxytocin-Gaze Positive Loop and the Coevolution of Human-Dog Bonds. *Science* (New York, N.Y.). 348. 333-6. 10.1126/science.1261022.
90. Nasr, A. (2021). Assessing the dependence structure between oceanographic, fluvial, and pluvial flooding drivers along the United States coastline. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 6203–6222, 2021 <https://doi.org/10.5194/hess-25-6203-2021>
91. Neligan, A. (2016). Moving towards a circular economy: Europe between ambitions and reality (IW Policy Paper 9/2016). Cologne: Cologne Institute for Economic Research / Institut der deutschen Wirtschaft Köln (IW).
92. Negrutiu C, Nastase, A. Felea M, Acatrinei C, Cepoi A, Istrate A. (2022). Toward a Circular Economy in the Toy Industry: The Business Model of a Romanian Company. *Sustainability*.; 14(1):22. <https://doi.org/10.3390/su14010022>
93. Niaki, M. K., Torabi, S. A., & Nonino, F. (2019). Why manufacturers adopt additive manufacturing technologies: The role of sustainability. *Journal of cleaner production*, 222, 381-392.
94. Nukala, S. and Gupta, S. M. (2006). Strategic and tactical planning of a closed-loop supply chain network: A linear physical programming approach. *Proceedings of the 2006 POMS Meeting*, pp. 004-210.
95. OECD. (2019). Global material resources outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequences. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264307452-en.
96. Olugu, E.U. (2012), Wong, K.Y.: An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry. *Expert Syst. Appl.* 39(1), 375–384
97. Östlin, J., Sundin, E., & Björkman, M. (2008). Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 336-348.
98. Özceylan, E., Paksoy, T. (2013): A mixed integer programming model for a closed-loop supply-chain network. *Int. J. Prod. Res.* 51(3), 718–734
99. Özceylan, E., Paksoy, T. (2013): Fuzzy multi-objective linear programming approach for optimising a closed-loop supply chain network. *Int. J. Prod. Res.* 51(8), 2443–2461
100. Özceylan, E., Paksoy, T. and Bektas, T. (2014). Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line balancing. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, Vol. 61, pp. 142-164.
101. Pan, Z., Tang, J., Liu, O. (2009): Capacitated dynamic lot sizing problems in closed-loop supply chain. *Eur. J. Oper. Res.* 198(3), 810–821
102. Panda, S., Modak, N. M. and Cardenas-barron, L. E. (2017). Coordinating a socially responsible closed-loop supply chain with product recycling. *International Journal of Production Economics*, Vol. 188, pp. 11-21.
103. Panetto, H., lung, B., Ivanov, D., Weichhart, G., & Wang, X. (2019). Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future. *Annual Reviews in Control*, 47, 200-213.
104. Parast, Layla & Cai, Tianxi & Tian, Lu. (2022). Using a surrogate with heterogeneous utility to test for a treatment effect. *Statistics in Medicine*. 42. 10.1002/sim.9602.
105. Pegels, A. Heyer, S. Ohlig, D., Kurz F., Laux, L. Morley, P. (2020). How sustainable is recycling? Reconciling the social, ecological, and economic dimensions in Argentina. German Development Institute.



106. Pishvae, M.S., Torabi, S.A. (2010): A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy Sets Syst.* 161(20), 2668–2683
107. Pishvae, M.S., Rabbani, M., Torabi, S.A. (2011): A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Appl. Math. Model.* 35(2), 637–649
108. Ponte, B., Framinan, J. M., Cannella, S., & Dominguez, R. (2020). Quantifying the Bullwhip Effect in closed-loop supply chains: The interplay of information transparencies, return rates, and lead times. *International Journal of Production Economics*, 230, 107798.
109. Poursoltan, Seyed Mohammad Seyedhosseini & Armin Jabbarzadeh (2021) A two-level closed-loop supply chain under the constraint of vendor managed inventory with learning: a novel hybrid algorithm, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38:4, 254-270, DOI: 10.1080/21681015.2021.1878301
110. Qu, X. and Williams, J. A. S. (2008). An analytical model for reverse automotive production planning and pricing. *European Journal of Operational Research*, Vol. 190, pp. 756-767.
111. Radzhabova Z.A., Kotov M.A., Bekyasheva Z.S., Radzhabova M.A., Levchenko E.V. Use of the Hedgehog signaling pathway inhibitor in the treatment of recurrent locally advanced and metastatic basal cell skin cancer. *Head and Neck Tumors (HNT)*. 2019;9(4):38-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2019-9-4-38-42>
112. Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B. and Hejazi, T. H. (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 59, pp. 108-120.
113. Rezaei, S. & Amirsaman Kheirkhah, 2018. "A comprehensive approach in designing a sustainable closed-loop supply chain network using cross-docking operations," *Computational and Mathematical Organization Theory*, Springer, vol. 24(1), pages 51-98, Marc
114. Rezapour, Shabnam & Allen, Janet & Mistree, Farrokh. (2014). Uncertainty Propagation in a Supply Chain or Supply Network. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*. 73. 10.1016/j.tre.2014.10.010.
115. Romaniuk, J., Dawes, J. and Nenycz-thiel, M. (2018). Modeling brand market share change in emerging markets. *International Marketing Review*, Vol. 35, pp. 785-805
116. Salema, M. I. G., Barbosa-povoa, A. P. and Novais, A. Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European journal of operational research*, Vol. 179, pp. 1063-1077.
117. Salema, M. I. G., Barbosa-povoa, A. P. and Novais, A. Q. (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework. *European journal of operational research*, Vol. 203, pp. 336-349
118. Saci S. (2021). Supply Chain Optimization with Python. <https://towardsdatascience.com/supply-chain-optimization-with-python-23ae9b28fd0b> και <https://github.com/samirsaci/supply-chain-optimization>
119. Sadeghi Ahangar, Masoud Rabani , (2022). Design a decision structure for the order promising process in hybrid MTS/MTO environments considering product substitution, a case study, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 14(2), 32-60. [magiran.com/p2452655](http://magiran.com/p2452655)
120. Sasikumar, P. and Hao, A. N. (2010). Analysing interactions among battery recycling barriers in the reverse supply chain. *Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing*. Springer
121. Savaskan, R.C.; Bhattacharya, S.; Van Wassenhove, L.N. (2004) Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Manag. Sci.*, 50, 239–252.
122. Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O. (2006): Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: an example from the automotive industry. *Eur. J. Oper. Res.* 171(3), 1033–1050.
123. Senthil, S., Murugananthan, K., & Ramesh, A. (2018). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision making methods. *Journal of Cleaner Production*, 179, 716-730.

124. Shaharudin, Keah Choon Tan, Vijay Kannan, Suhaiza Zailani, (2019) The mediating effects of product returns on the relationship between green capabilities and closed-loop supply chain adoption, *Journal of Cleaner Production*, Volume 211, Pages 233-246, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.035>.
125. Shekarian, E.; Flapper, S.D. Analyzing the Structure of Closed-Loop Supply Chains: A Game Theory Perspective. *Sustainability* 2021, 13, 1397. <https://doi.org/10.3390/su13031397>
126. Simonetto, A. Sgarbossa, F. Battini, D. Govindanc, K. (2022). Closed loop supply chains 4.0: From risks to benefits through advanced technologies. A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics* Volume 253, November 2022, 108582.
127. Soleimani, Hamed. (2017). A review of Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chains: A Journal of Cleaner Production Focus. *Journal of Cleaner Production*. 142. 10.1016/j.jclepro.2016.03.126.
128. Soleimani, H., Kannan, G. (2015): A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. *Appl. Math. Model.* 39(14), 3990–4012
129. Soysal, M. (2016) Closed-loop Inventory Routing Problem for returnable transport items, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 48, Pages 31-45, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.07.001>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915302595>)
130. Subramanian, P., Ramkumar, N., Narendran, T.T., Ganesh, K. (2013): PRISM: Priority based Simulated annealing for a closed loop supply chain network design problem. *Appl. Soft Comput.* 13(2), 1121–1135
131. Subulan, K. and Tasan, A. S. (2013). Taguchi method for analyzing the tactical planning model in a closed-loop supply chain considering remanufacturing option. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 66, pp. 251-269.
132. Suzan S. (2021). Transport & Environment Easy Ride: why the EU truck CO2 targets are unfit for the 2020s [https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/10/202108\\_truck\\_CO2\\_report\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/10/202108_truck_CO2_report_final.pdf)
133. Stahel, W., & Reday, G. (1981). *Jobs for tomorrow: The potential for substituting manpower for energy*. New York: Vantage Press.
134. Swaminathan, Jayashankar & Tayur, Sridhar. (2003). Models for Supply Chains in E-Business. *Management Science*. 49. 1387-1406. 10.1287/mnsc.49.10.1387.17309.
135. Tavana, M.; Shaabani, A.; Raeesi Vanani, I.; Kumar Gangadhari, R. (2022). A Review of Digital Transformation on Supply Chain Process Management Using Text Mining. *Processes*, 10, 842. <https://doi.org/10.3390/pr10050842>
136. Taleizadeh, A. A., Karimi Mamaghan, M., & Torabi, S. A. (2020). A possibilistic closed-loop supply chain: pricing, advertising and remanufacturing optimization. *Neural Computing and Applications*, 32(4), 1195-1215.
137. Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvae, M.S., Bozorgi-Amiri, A., Gholamnejad, S. (2016): A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. *J. Clean. Prod.* 113, 662–673
138. Tang, O., & Naim, M. M. (2004). The impact of information transparency on the dynamic behaviour of a hybrid manufacturing/remanufacturing system. *International Journal of Production Research*, 42(19), 4135-4152.
139. Telang S. (2011) . Carbon footprint calculation- a small introduction of ISO 14064 <https://greencleanguide.com/calculate-your-carbon-footprint>
140. Tseng, M., Lim, M., Wong, W.P. (2015): Sustainable supply chain management: a closed-loop network hierarchical approach. *Ind. Manag. Data Syst.* 115(3), 436–461

141. Tang, Q. and Xie, F. (2007). A genetic algorithm for reverse logistics network design. Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007), IEEE, pp. 277-281.
142. Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for industry 4.0. *Procedia cirp*, 52, 12-17.
143. Torabi, S. A. and Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, Vol. 159, pp.193-214.
144. Vahdani, B., Tavakkoli-moghaddam, R., Modarres, M. and Baboli, A. (2012). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 48, pp.1152-1168
145. Van Engeland, K., Aano, A., Steffensen, I., Støren, E., and Paasche, Ø.: New flood frequency estimates for the largest river in Norway based on the combination of short and long time series, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 5595–5619, <https://doi.org/10.5194/hess-24-5595-2020>, 2020.
146. Velis, Costas. (2017). Waste pickers in Global South: Informal recycling sector in a circular economy era. *Waste Management & Research*. 35. 329-331. 10.1177/0734242X17702024.
147. Wakhid Ahmad Jauhari, Niimas Ayu Frensilia Putri Adam, Cucuk Nur Rosyidi, I Nyoman Pujawan, Nita H. Shah (2020). A closed-loop supply chain model with rework, waste disposal, and carbon emissions, *Operations Research Perspectives*, Volume 7, 100155.
148. Wang, X., & Disney, S. M. (2016). The bullwhip effect: Progress, trends and directions. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 691-701.
149. Wei, J., Zhao, J. (2013): Pricing decisions with retail competition in a fuzzy closed-loop supply chain. *Expert Syst. Appl.* 38(9), 11209–11216 (2011) Wei, J., Zhao, J.: Reverse channel decisions for a fuzzy closed-loop supply chain. *Appl. Math. Model.* 37(3), 1502–1513
150. Winkler, H. (2011): Closed-loop production systems—a sustainable supply chain approach. *CIRP J. Manufact. Sci. Technol.* 4(3), 243–246
151. Wu, D. Y., & Katok, E. (2006). Learning, communication, and the bullwhip effect. *Journal of operations management*, 24(6), 839-850.
152. Wu, D., & Wu, C. (2010). Research on Manufacturer's Product Pricing Model under Waste Self-Selection Disposal Mode. In 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering (Vol. 2, pp. 472-475). IEEE.
153. Yan, H., Yan, P., & Ma, L. (2009, November). Retailing reverse logistics risk factors assessment based on triangular fuzzy number. In 2009 Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling (Vol. 1, pp. 126-129). IEEE.
154. Zandkarimkhani, S., Mina, H., Biuki, M., & Govindan, K. (2020). A chance-constrained fuzzy goal programming approach for perishable pharmaceutical supply chain network design. *Annals of Operations Research*, 295(1), 425–452.
155. Zarandi, M.H.F., Sisakht, A.H., Davari, S. (2011): Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 56(5–8), 809–821
156. Zeballos, L. J., Mendez, C. A., Barbosa-povoa, A. P. and Novais, A. Q (2014). Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 66, pp. 151- 164
157. Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., Mohammadi, M.(2015): Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.* 89, 182–214
158. Zhang, X. (2004). The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *International journal of production economics*, 88(1), 15-27.
159. Zhang, Y., He, Y., Yue, J., & Gou, Q. (2019). Pricing decisions for a supply chain with refurbished products. *International Journal of Production Research*, 57(9), 2867-2900.

160. Zhang, A., Wang, J. X., Farooque, M., Wang, Y., & Choi, T. M. (2021). Multi-dimensional circular supply chain management: A comparative review of the state-of-the-art practices and research. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 155, 102509.
161. Zhao, Y., Cao, Y., Li, H., Wang, S., Liu, Y., Li, Y., & Zhang, Y. (2018). Bullwhip effect mitigation of green supply chain optimization in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 180, 888-912.
162. Zhou, W., & Piramuthu, S. (2012). Manufacturing with item-level RFID information: From macro to micro quality control. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 929-938.
163. Zhou, L., Naim, M. M., & Disney, S. M. (2017). The impact of product returns and remanufacturing uncertainties on the dynamic performance of a multi-echelon closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics*, 183, 487-502.

## Παραρτήματα

### Πηγαίος κώδικας

```

!pip install pulp

import pandas as pd
from pulp import *

# Import Costs
manvar_costs = pd.read_excel('variable_costs.xlsx', index_col = 0)
manvar_costs

# Import Costs
freight_costs = pd.read_excel('freight_costs.xlsx', index_col = 0)
freight_costs

# Variable Costs
var_cost = freight_costs/1000 + manvar_costs # price per unit (with container cost included)

var_cost

loc = ['Athens', 'Thessaloniki', 'Patra', 'Lamia', 'Alexandroupoli']

var_cost = pd.DataFrame(var_cost, index=loc, columns=loc)
var_cost

# Import Costs
fixed_costs = pd.read_excel('fixed_cost.xlsx', index_col = 0)
fixed_costs

fixed_costs = pd.DataFrame(fixed_costs, index=loc)

# Two types of plants: Low Capacity and High Capacity Plant
cap = pd.read_excel('capacity.xlsx', index_col = 0)
cap

# -- Demand
demand = pd.read_excel('demand.xlsx', index_col = 0)
demand

demand = pd.DataFrame(demand, index=loc)

# Define Decision Variables
size = ['Low', 'High']
#Electricity : Input value (in KWh/Month) X 0.85 (Emission Factor) = Output value in (Tons of CO2)

```

```

Emission_Factor = 0.85
co2_emissions_factory_low = 100 * Emission_Factor
co2_emissions_factory_high = 150 * Emission_Factor
co2_emissions_factory_low_per_unit = co2_emissions_factory_low /150000

# Initialize Class
model = LpProblem("Capacitated Plant Location Model", LpMinimize)

# Create Decision Variables
x = LpVariable.dicts("production_", [(i,j) for i in loc for j in loc],
                    lowBound=0, upBound=None, cat='continuous')
y = LpVariable.dicts("plant_",
                    [(i,s) for s in size for i in loc], cat='Binary')

# Define Objective Function
model += (lpSum([(fixed_costs.loc[i,s] * y[(i,s)] * 1000 for s in size for i in loc])
              + lpSum([var_cost.loc[i,j] * x[(i,j)] for i in loc for j in loc])])

# Add Constraints
for j in loc:
    model += lpSum([x[(i, j)] for i in loc]) == demand.loc[j,'Demand']
for i in loc:
    model += lpSum([x[(i, j)] for j in loc]) <= lpSum([cap.loc[i,s]*y[(i,s)] * 1000 for s in size])

# Define logical constraint: Add a logical constraint so that if the high capacity plant in Athens is open, then a low
capacity plant in Thessaloniki is also opened.
# model += y[('Athens','High_Cap')] <= y[('Thessaloniki','Low_Cap')]

# Solve Model
model.solve()
print("Total Costs = {:,} (€ /Month)".format(int(value(model.objective))))
print("\n" + "Status: {}".format(LpStatus[model.status]))

# Dictionary
dict_plant = {}
dict_prod = {}
Truck_from_another_city = {}
Truck_from_same_city = {}
Transportated_units = {}

for v in model.variables():
    if 'plant' in v.name:
        name = v.name.replace('plant_', '').replace('_', '')
        dict_plant[name] = int(v.varValue)

```

```

    p_name = name
else:
    name = v.name.replace('production__', '').replace('_', '')
    dict_prod[name] = v.varValue
    Transportated_units[name] = v.varValue
    #print(Transportated_units[name])
#print(name, "=", v.varValue)
if v.varValue != 0.0 and v.varValue != 1.0:
    # Find the indices of the first and second occurrence of the character ""
    portion = name.replace('(', '').replace(')', '').split(',')
    if portion[0] != portion[1]:
        Truck_from_another_city[name] = v.varValue
        print(name, "=", Truck_from_another_city[name])
    else:
        Truck_from_same_city[name] = v.varValue
        #print(name, "=", Truck_from_same_city[name])

# Capacity Plant
co2_emissions_per_factory = {}
co2_emissions_all_factories = 0
list_low, list_high = [], []
for l in loc:
    for cap in ['Low', 'High']:
        x = "({}, {})".format(l, cap)
        if cap == 'Low':
            list_low.append(dict_plant[x])
            if dict_plant[x] == 1:
                co2_emissions_per_factory[l] = co2_emissions_factory_low
            else:
                co2_emissions_per_factory[l] = 0
        else:
            list_high.append(dict_plant[x])
            if dict_plant[x] == 1:
                co2_emissions_per_factory[l] = co2_emissions_factory_high
            else:
                co2_emissions_per_factory[l] = 0
    co2_emissions_all_factories += co2_emissions_per_factory[l]
    print("co2 emission from factory in", l, co2_emissions_per_factory[l])
print("Total co2 emissions from all factories", co2_emissions_all_factories)
df_capacity = pd.DataFrame({'Location': loc, 'Low': list_low, 'High': list_high}).set_index('Location')

df_capacity

# Co2 emission per distance
distances = pd.read_excel('transport_emissions.xlsx')
total_co2_emission_per_distance_and_units = 0
co2_emission_per_distance_and_units = {}

```

```

for i in Truck_from_another_city:
    # Find the indices of the first and second occurrence of the character ""
    StartCity = i.replace(' ', '').replace(')', '').replace('""', '').split(',')
    # Iterate over each row
    for column in distances.columns:

        if column == StartCity[0]:
            for index, row in distances.iterrows():
                if row[0] == StartCity[1]:
                    co2_emission_per_distance_and_units[i] = Truck_from_another_city[i]//50000 +
int(Truck_from_another_city[i]%50000>0) * row[column]
                    total_co2_emission_per_distance_and_units += co2_emission_per_distance_and_units[i]
                    print("Total co2 emission in tons per shipping", i, co2_emission_per_distance_and_units[i])
print("Total co2 emission in tons for all shippings", total_co2_emission_per_distance_and_units)
distances

Total_co2_emissions_ecosystem = co2_emissions_all_factories + total_co2_emission_per_distance_and_units
print("Total co2 emissions for all factories and shipping" , Total_co2_emissions_ecosystem, "tons per month")

```



### Διάγραμμα ροής

