



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΥΚΛΙΚΗΣ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Μαρτίου 2021.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

.....

ΑΡΙΣΤΕΪΔΗΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αριστείδης Μπακούρος, 2021 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. – All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η εξάντληση των πόρων και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος στις μέρες μας, καθοδηγούμενη από φαινόμενα παγκοσμιοποίησης και καταναλωτισμού, στρέφει σε παγκόσμια κλίμακα το ενδιαφέρον προς την έννοια της Κυκλικής Οικονομίας. Υποσχόμενη να αντικαταστήσει την έννοια του τέλους του κύκλου ζωής (end-of-life notion) με την αποκατάσταση προϊόντων και με τον κλειστού βρόχου (closed-loop) κύκλο ζωής των προϊόντων, η Κυκλική Οικονομία επιθυμεί να εξαλείψει τα απόβλητα, να διατηρήσει την ένθετη αξία των προϊόντων και των υλικών, να προωθήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να εξαλείψει τις τοξικές χημικές ουσίες.

Η εξάρτηση της αυτοκινητοβιομηχανίας από τις πρώτες ύλες και ορισμένα πολύτιμα μέταλλα αποτελεί σημαντικό θέμα και μεγάλη πρόκληση σε επίπεδο στρατηγικής για την διαχείριση των πόρων. Ενδεικτικά, με το 60% της παγκόσμιας προσφοράς μολύβδου να διατίθεται για την κατασκευή αυτοκινήτων, η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ο κορυφαίος καταναλωτής μολύβδου στον κόσμο και σύμφωνα με τις μελέτες της U.S. Geological Survey, τα αποθέματα αυτού θα εξαντληθούν μέχρι το 2030.

Για αυτό, τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η αυτοκινητοβιομηχανία δέχεται πιέσεις τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από την κοινωνία για να ακολουθήσει ένα πιο βιώσιμο μοντέλο ανάπτυξης. Τα παρακάτω αντικατοπτρίζουν σε κάποιο βαθμό τον σημαντικό αντίκτυπο που έχει στο περιβάλλον:

- Οι μεταφορές το 2016 ήταν υπεύθυνες για το ένα τέταρτο των παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με τις οδικές μεταφορές να είναι μόνες υπεύθυνες για το 18% αυτών (International Energy Agency, 2018).
- Υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων. Η Κίνα βγάζει από τα ορυχεία της το μεγαλύτερο μέρος του φυσικού γραφίτη που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά οχήματα. Η αυξημένη ζήτηση σε συνδυασμό με τους χαλαρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς έχουν οδηγήσει σε αποτυχημένες καλλιέργειες, ρύπανση του εδάφους, μόλυνση των υδάτων και μεγάλης κλίμακας περιβαλλοντική υποβάθμιση (Washington Post, 2016).
- Τα μη βιοδιασπώμενα απόβλητα από το τέλος του κύκλου ζωής προϊόντων και τα βιομηχανικά απόβλητα συμβάλλουν σημαντικά στο γέμισμα των χωματερών, στην τοξικότητα του εδάφους και στη ρύπανση των υδάτων. Μόνο μεταξύ Ιανουαρίου και Ιουνίου του 2017, ΗΠΑ, Ευρώπη και Ιαπωνία εξήγαγα 3.1 εκατομμύρια τόνους πλαστικών αποβλήτων σε αναπτυσσόμενες χώρες, κυρίως στην Ασία (Nikkei, 2019). Σημαντικό μέρος αυτών, ήταν τα οχήματα στο τέλος τους κύκλου ζωής τους (European commission, 2019).
- Η παραγωγή οχημάτων απαιτεί σημαντική ενέργεια, νερό και πόρους, αυξάνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του άνθρακα. Η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί 5.2 δισεκατομμύρια λίτρα νερού και παράγει 1 εκατομμύριο τόνους διοξειδίου του άνθρακα μόνο από

την κατασκευή αυτοκινήτων και εξαρτημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο (The society of motor manufacturers and traders, 2019).

Είναι, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη για στροφή σε πιο οικολογικές μεθόδους μέσω της Κυκλικής Οικονομίας, ειδικά στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας που αποτελεί και τον πιο βλαβερό για τον περιβάλλον, δεδομένης της τεράστιας ποσότητας πρώτων υλών που απαιτεί και των αποβλήτων που παράγει.

Η διπλωματική αυτή παρέχει μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας της τελευταίας δεκαετίας, με σκοπό την κατανόηση των κύριων γνωρισμάτων και προοπτικών της Κυκλικής Οικονομίας: ρίζες, βασικές αρχές, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, μοντελοποίηση και εφαρμογή της στην αυτοκινητοβιομηχανία σε παγκόσμια κλίμακα.

Λέξεις Κλειδιά: Κυκλική Οικονομία, αυτοκινητοβιομηχανία, εξάντληση, βιβλιογραφική ανασκόπηση, βασικές αρχές, μοντελοποίηση, εφαρμογή

Abstract

The depletion of resources and the downgrading of the environment nowadays, driven by globalization and consumerism phenomena, is worldwide pushing the interest on the Circular Economy (CE) concept. Supposed to substitute the end-of-life notion with restoration and closed-loop product lifecycles, CE wants to eliminate wastes, retain the value embedded into products and materials, foster the use of renewable energies and eliminate toxic chemicals.

The dependence of the automotive industry upon raw materials and certain precious metals is a major obstacle and presents highly strategic challenges for supply management. For instance, with 60% of the global supply going into car manufacturing, the automotive industry is the top consumer of lead in the world and according to U.S. Geological Survey (USGS) studies, these reserves will run out in 2030.

Thus, for the past couple of decades, the automotive industry has been under considerable pressure from governments and society to pursue a more sustainable model of growth. This reflects the significant impact it has on the environment:

- Transportation accounted for a quarter of the world's global CO₂ emissions in 2016, with road transportation alone accounting for 18% (International Energy Agency, 2018).
- The degradation of natural ecosystems. China mines most of the natural graphite used in electric vehicles. Increased demand along with lax environmental regulations have led to crop failures, soil pollution, water contamination and large-scale environmental degradation (Washington Post, 2016).
- Non-biodegradable waste from end-of-life usage and manufacturing waste have resulted in a considerable contribution to landfills, land toxification, and water pollution. Between January and June 2017 alone, the US, Europe, and Japan exported 3.1 million tons of plastic waste to developing countries, mostly in Asia (Nikkei, 2019). A substantial part of this was from end-of-life vehicles (European commission, 2019).
- Production of vehicles takes considerable energy, water, and resources, increasing the carbon footprint. The automotive industry uses 5.2 billion litres of water and produces 1 million tons of CO₂ from UK manufacturing of cars and components alone (The society of motor manufacturers and traders, 2019).

It is, therefore, imperative to shift to more ecological methods through the Circular Economy, especially in the automotive sector, which is also the most harmful to the environment, given the huge amount of raw materials it requires and the waste it produces.

This dissertation provides a review of the literature of the past decade, with the purpose of grasping the main CE features and perspectives: origins, basic principles, advantages and disadvantages, modelling and implementation of CE at the automotive industry worldwide.

Keywords: Circular Economy, automotive, depletion, literature review, basic principles, modelling, implementation.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ.

Με την ολοκλήρωση της νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για την επίβλεψη της εργασίας μου. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτωρ ΕΜΠ κα. Ελένη Κανέλλου για τις καίριες συμβουλές της και την καθοδήγηση της καθ' όλη τη διάρκεια της ανάληψης και συγγραφής της διπλωματικής αυτής εργασίας. Χωρίς εκείνη δε θα ήταν δυνατό να φέρω σε πέρας αυτό το εγχείρημα. Μεγάλο ευχαριστώ και στον υποψήφιο διδάκτωρ ΕΜΠ κ. Κωνσταντίνο Αλεξιάκη που βοήθησε και εκείνος με τον δικό του τρόπο σε αυτή την εργασία.

Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές ΕΜΠ κ. Ιωάννη Ψαρρά και κ. Χρυσόστομο Δούκα για τα σχόλια τους και τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου η οποία με υπομονή και επιμονή με στήριξε έμπρακτα και ήταν δίπλα μου σε ό,τι χρειάστηκα όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	1
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	3
1 Εισαγωγή.....	11
1.1 Κυκλική οικονομία στην αυτοκινητοβιομηχανία	11
1.2 Αντικείμενο διπλωματικής.....	12
2 Μεθοδολογία	13
3 Ανάλυση βιβλιογραφικής ανασκόπησης	15
3.1 Πλαίσια αξιολόγησης.....	18
3.2 Εμπόδια υλοποίησης.....	20
3.3 Βασικοί δείκτες.....	22
3.4 Επιπτώσεις στην στρατηγική	25
3.4.1 Παραγωγή και Προμήθεια υλικών.....	25
3.4.2 Σχεδιασμός.....	27
3.4.3 Κατασκευή.....	27
3.4.4 Διανομή και Πωλήσεις	28
3.4.5 Κατανάλωση και χρήση.....	28
3.4.6 Συλλογή και απόρριψη	30
3.4.7 Ανακύκλωση και Αποκατάσταση	30
3.4.8 Ανακατασκευή	32
3.4.9 Κυκλικές Εισροές	32
3.5 Ψηφιοποίηση-Βιομηχανία 4.0.....	32
3.5.1 Συλλογή Δεδομένων (Data Collection).....	33
3.5.2 Ενσωμάτωση Δεδομένων (Data Integration).....	34
3.5.3 Ανάλυση Δεδομένων (Data Analysis).....	35
3.6 Βιβλιογραφία: Ψηφιοποίηση-Βιομηχανία 4.0 και Κυκλική Οικονομία	36
3.7 Κυκλική Οικονομία και Αυτοκινητοβιομηχανία	41
3.7.1 Κατασκευή υλικών (Materials manufacturing):.....	43

3.7.2	Σχεδιασμός προϊόντος (<i>Product design</i>):.....	45
3.7.3	Κατασκευή αυτοκινήτων (<i>Automotive manufacturing</i>):.....	46
3.7.4	<i>Logistics</i> :	47
3.7.5	Βιβλιογραφία για συγκεκριμένα εξαρτήματα και καύσιμα.....	48
3.7.6	Ενεργειακή σκοπιά	49
3.7.7	Οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους (<i>End-of-Life Vehicles - ELVs</i>)	54
3.7.8	Ψηφιακή τεχνολογία και αυτοκινητοβιομηχανία.....	55
3.7.9	Προκλήσεις στην ανακατασκευή στην αυτοκινητοβιομηχανία	58
3.7.10	Προτεινόμενη αλληλουχία ενεργειών.....	62
3.8	Covid-19 και Κυκλική Οικονομία	63
4	Συμπεράσματα	67
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

1

Εισαγωγή

1.1 Κυκλική οικονομία στην αυτοκινητοβιομηχανία

Το μοντέλο της Γραμμικής Οικονομίας που στηρίζεται στο τρίπτυχο take-make-dispose δεν είναι ένα βιώσιμο μοντέλο δεδομένης της εξάντλησης των πόρων, των πηγών ενέργεια και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα απόβλητα. Έτσι, λοιπόν, κρίνεται απαραίτητη η στροφή προς την Κυκλική Οικονομία μέσω της οποίας δημιουργούνται κύκλοι και συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών κλάδων ώστε τα αντικείμενα που φτάνουν στο φαινομενικό τέλος της ζωής τους, με μία κάποια επεξεργασία να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν είτε για τον ίδιο σκοπό είτε για διαφορετικό. Πολύ σημαντικό παράγοντα σε αυτή την αναγκαία μετάβαση στην Κυκλική Οικονομία αποτελεί η αυτοκινητοβιομηχανία, ως κυρίαρχος κλάδος κατανάλωσης πόρων, ενέργειας και δημιουργίας αποβλήτων. Το οριακό σημείο που έχει φτάσει το περιβάλλον καθιστά αναγκαία την αλλαγή του τρόπου λειτουργίας της αυτοκινητοβιομηχανίας μέσω κυκλικών μοντέλων και με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η δυνατότητα ψηφιοποίησης διευκολύνουν αυτό το εγχείρημα. Είναι πλέον θέμα αντανακλαστικών και μελέτης ο βαθμός στον οποίο θα επιτευχθεί η βιωσιμότητα του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας. Μάλιστα, υπάρχει ισχυρό κίνητρο, καθώς πέρα από τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη, που είναι προφανή, μέσω των διαδικασιών της ανακύκλωσης, της ανακατασκευής, της επαναχρησιμοποίησης αλλά και της χρήσης υλικών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον, και οι ίδιες οι εταιρείες θα έχουν οικονομικό όφελος. Με λίγα λόγια, αυτό που επιτάσσουν οι συνθήκες και η εποχή μπορεί να οδηγήσει και από οικονομικής πλευράς σε πιο βιώσιμα μοντέλα λειτουργίας της βιομηχανίας.

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Δεδομένων των συνθηκών και ανταποκρινόμενοι στις απαιτήσεις της εποχής τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές δημοσιεύσεις σχετικά με το ζήτημα της μετάβασης από το γραμμικό μοντέλο οικονομίας στο κυκλικό. Ωστόσο δεν υπάρχει ένα κείμενο που να συγκεντρώνει όλα τα στοιχεία γύρω από τη σύνδεση της Κυκλικής Οικονομίας με την αυτοκινητοβιομηχανία, παρ' ότι αποτελεί μία βιομηχανία κολοσσό για την κοινωνία. Για να καλυφθεί το κενό αυτό σε αυτή τη διπλωματική επιχειρείται μία τέτοια προσπάθεια και γίνεται ανασκόπηση των μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας με έμφαση στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, μέσα από τη μελέτη περισσότερων από 500 δημοσιεύσεων επί του θέματος.

2

Μεθοδολογία

Το πρώτο βήμα ήταν η αναζήτηση μέσω google scholar των όρων “circular economy” + “European Union” και “circular economy” + “automotive industry”. Στόχος ήταν να μελετηθεί και να ταξινομηθεί σε πρώτη φάση η βιβλιογραφία που έχει σχέση με τις στρατηγικές Κυκλικής Οικονομίας συγκεκριμένα στην αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς δεν υπάρχει κάπου συγκεντρωμένο όλο το υλικό που αφορά αυτές τις 2 έννοιες. Φυσικά, ξεκίνησα μελετώντας στοιχεία γενικά της Κυκλικής Οικονομίας και εφαρμογές της σε διάφορους κλάδους προκειμένου να έχω μία γενικότερη ιδέα επί του θέματος. Οι δημοσιεύσεις που μελετήθηκαν σε πρώτη φάση ήταν 401 σε αριθμό με θεματολογία αυτή που προαναφέρθηκε, και ταξινομήθηκαν σε ένα αρχείο excel που περιείχε τα εξής στοιχεία:

#	Title	Authors	Year	Description	Findings	Do they measure circularity (Yes, No) If yes how	Do they develop a framework (Yes, No)	Do they include new KPI	Do they take the availability of data into account (Yes, No)	Does it describe challenges or barriers (Yes, No)	Is it customised for the automotive industry (Yes, No)	Do they propose new policies (Yes, No)	Regions	APA citation	URL
---	-------	---------	------	-------------	----------	--	---------------------------------------	-------------------------	--	---	--	--	---------	--------------	-----

Το sciencedirect.com, το springer.com και το tandfonline.com ήταν οι ιστοσελίδες που είχαν τη μερίδα του λέοντος σε ό,τι αφορά στις διάφορες ανακατευθύνσεις από το google scholar για το άνοιγμα των επιστημονικών άρθρων. Αφού έγινε η ταξινόμηση τους, ανάλογα με τα περιεχόμενα του καθενός, άρχισαν να μελετούνται ένα-ένα και γινόταν καταγραφή στοιχείων που θεωρούσα χρήσιμα από το καθένα. Βεβαίως, κάθε δημοσίευση, μέσω της αναφοράς της σε άλλες δημοσιεύσεις με παρέμεμψε να μελετήσω επιπλέον βιβλιογραφία προκειμένου να κατανοήσω πλήρως τις τοποθετήσεις των συγγραφέων. Στη συνέχεια, αφού αποφάσισα στο πώς ακριβώς θα είναι δομημένη και τι θα περιέχει η διπλωματική, έγινε αναζήτηση στο google scholar επιπλέον όρων, όπως “circular economy” + “barriers”, “circular economy” + “drivers”, “automotive industry” + “digitalisation” και άλλων με παρόμοια θεματολογία. Με αυτό τον τρόπο, συνολικά μελετήθηκαν πάνω από 550 δημοσιεύσεις σχετικά με τις αρχές, τις μεθόδους, τα εμπόδια, τους τρόπους μέτρησης και γενικώς όλων των πτυχών και εκφάνσεων

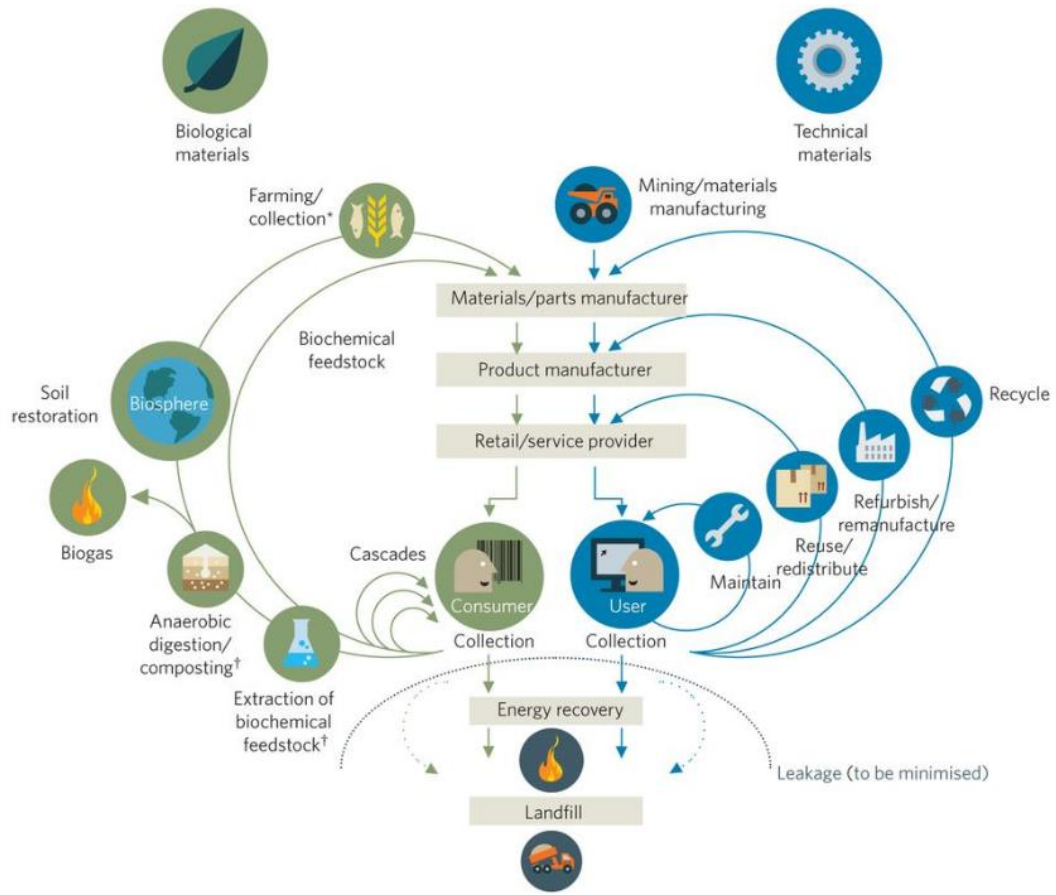
της Κυκλική Οικονομίας και της εφαρμογής της σε διάφορους κλάδους και ιδιαίτερα στην αυτοκινητοβιομηχανία. Δεν έχει γίνει αναφορά όλων αυτών των δημοσιεύσεων εντός της διπλωματικής, αφού κάποια θέματα επαναλαμβάνονταν ή ήταν εκτός πλαισίου, ωστόσο όλα έβαλαν το λιθαράκι τους στο να σχηματίσω άποψη επί του θέματος και να μπορέσω να γράψω ολοκληρωμένα. Έτσι, λοιπόν, πέρασα στη συγγραφή της διπλωματικής, συνδυάζοντας στοιχεία από τα άρθρα που μελετήθηκαν. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός συμπαγούς περιεχομένου με στοιχεία για την Κυκλική Οικονομία και τη σχέση της με την αυτοκινητοβιομηχανία, που ενώ σχεδόν όλα υπήρχαν καταγεγραμμένα σε ξεχωριστά άρθρα, έλειπε μία τέτοια σύνθεση όλων αυτών των στοιχείων σε ένα εννιαίο κείμενο.

3

Ανάλυση βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Πολλοί ορισμοί έχουν δοθεί και πολλά άρθρα έχουν γραφθεί πάνω στο κομμάτι της μετάβασης από την γραμμική οικονομία στην κυκλική σε διάφορους κλάδους. Ένας από τους πιο αντιπροσωπευτικούς είναι ο εξής: Η κυκλική οικονομία αποτελεί μία οικονομία που παρέχει πολλαπλούς μηχανισμούς δημιουργίας αξίας οι οποίοι διαχωρίζονται από την κατανάλωση πεπερασμένων πόρων. Η ανάπτυξη προέρχεται από το εσωτερικό, αυξάνοντας την αξία που προκύπτει από τις ήδη υπάρχουσες οικονομικές δομές, τα προϊόντα και τα υλικά (EMF, 2015a, EMF, 2015b). Για να στηριχθεί ο ορισμός αυτός, στο βιβλίο «TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY» από Ellen MacArthur Foundation έχει δοθεί μία σχηματική αναπαράσταση της όλης κυκλικότητας και των παραγόντων που λαμβάνουν μέρος σε αυτή. Η αναπαράσταση αυτή φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 1).

Σχήμα 1: Το διάγραμμα-πεταλούδα για την Κυκλική οικονομία από Ellen MacArthur Foundation.



Ακολουθεί ένας πίνακας που καταγράφει τα περιεχόμενα της βιβλιογραφίας που αφορά την κυκλική οικονομία και περιλαμβάνει κάποια πλαίσια αξιολόγησης (frameworks), κινδύνους και προκλήσεις, δείκτες αποδοτικότητας καθώς και κάποιες προτάσεις σχετικά τη μετάβαση από το γραμμικό στο κυκλικό μοντέλο.

Συγγραφείς, Έτος Πλαίσιο Αξιολόγησης Εμπόδια υλοποίησης Βασικοί δείκτες Επιπτώσεις στην Στρατηγική

(Bocken et al., 2016)	✓			✓
(Kalmykova et al., 2018)	✓			✓
(Macarthur, n.d.)	✓	✓	✓	✓
(Homrich et al., 2018)		✓		✓

(Kazancoglu et al., 2018)	√		√	√
(Parida et al., 2019)	√	√	√	√
(Blomsma et al., 2019)	√		√	√
(Liakos et al., 2019)				√
(Shogren et al., 2019)		√		√
(Lieder et al., 2017)	√	√		
(Bechtel et al., n.d.)		√		√
(Kirchherr et al., 2018)	√	√		√
(Hartley et al., 2020)				√
(McDowall et al., 2017)				√
(Mhatre et al., 2021)				√
(Momete, 2020)	√			
(Brandoni & Bošnjaković, 2018)	√			
(De Römph, 2018)	√	√	√	√
(Heshmati, 2017)	√			√
(Sanguino et al.,				

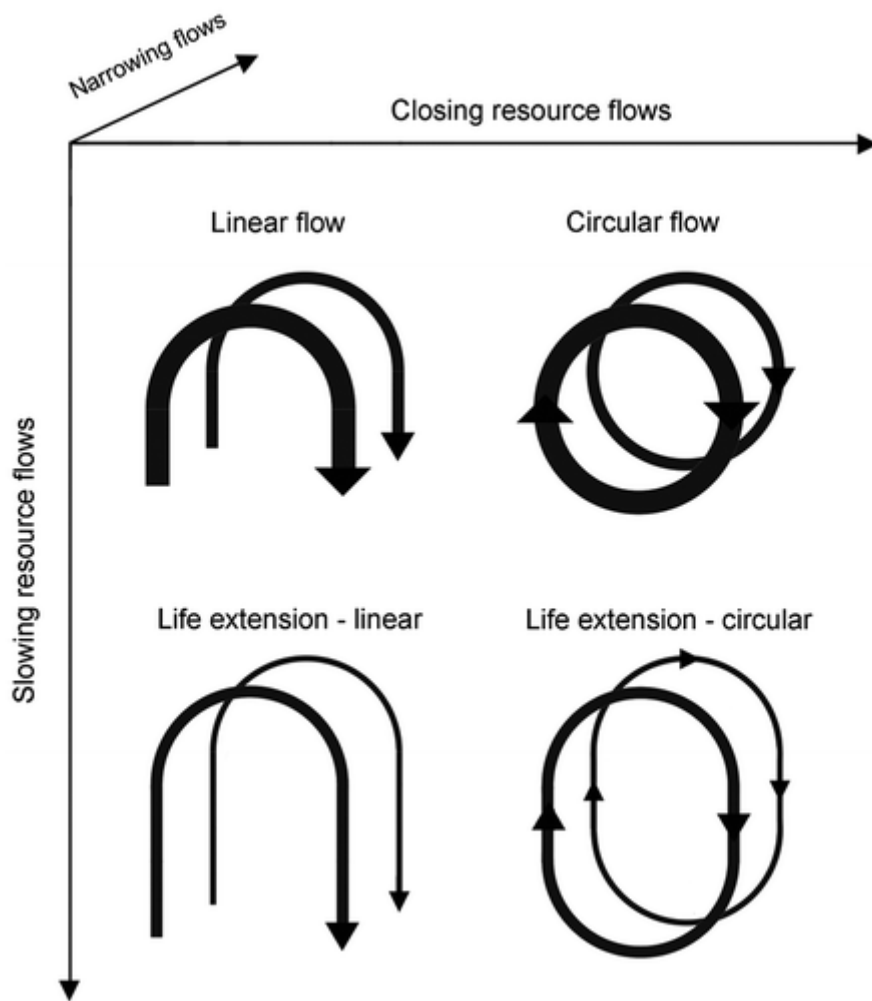
2020)				√
(Dwivedi et al., 2020)		√	√	√
(Gaustad et al., 2018)		√	√	√
(de Jesus & Mendonça, 2018)	√	√		√
(Ranta et al., 2018)		√		√
(Rizos et al., 2015)	√	√	√	√
(Araujo Galvão et al., 2018)				√
(Masi et al., 2018)		√		√
(Janik et al., 2020)		√	√	
(Garcés-Ayerbe et al., 2019)		√		√
(Rizos et al., 2016)		√		√

3.1

Πλαίσια αξιολόγησης

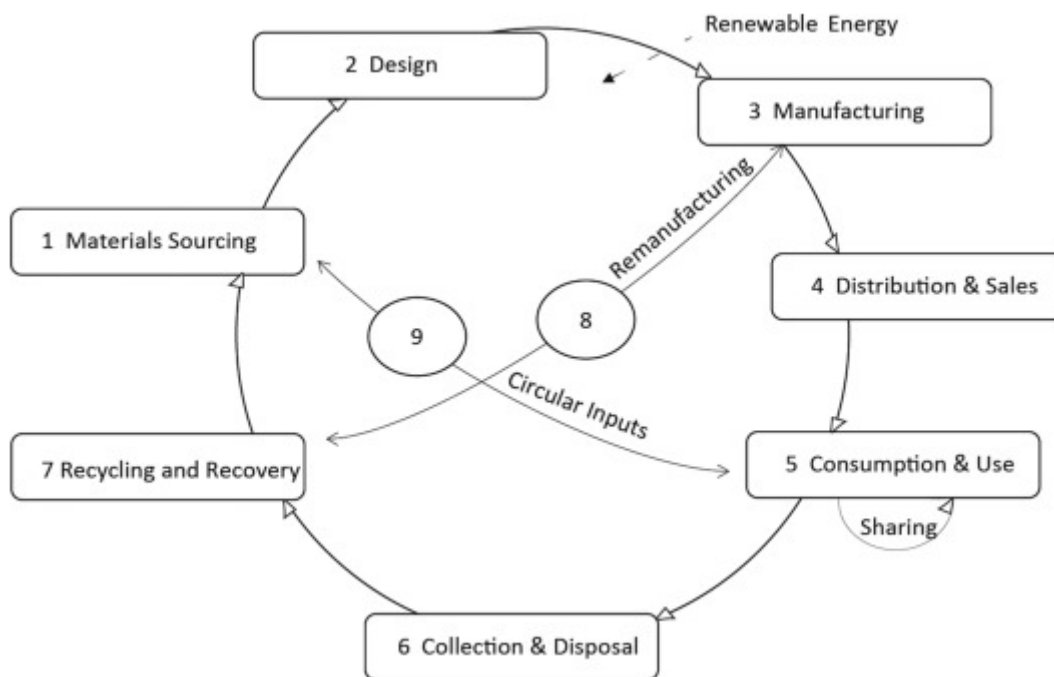
Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαφορά της κυκλικής οικονομίας συγκριτικά με την γραμμική, παρατίθεται ένα ποιοτικό διάγραμμα (Σχήμα 2) που δείχνει ακριβώς την ιδεολογική διαφορά σχετικά με τις ροές των πόρων και τους κύκλους ζωής τους. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, στόχος είναι μία κυκλική ροή ώστε να ανανεώνεται ο χρόνος ζωής των προϊόντων και των πόρων και να μειώνονται έτσι τα απόβλητα.

Σχήμα 2 (Bocken et al., 2016): Ροές των πόρων και κύκλος ζωής προϊόντων στην Κυκλική Οικονομία:



Πάνω σε αυτή τη βάση, στο Σχήμα 3 (Kalmykova et al., 2018) περιέχεται μία πιθανή αλυσίδα αξίας (value chain) Κυκλικής Οικονομίας, που κάθε μέρος της αλυσίδας έχει καθορισμένο αριθμό από το 1-9. Το χαρακτηριστικό της είναι ο κλειστός βρόχος ροής υλικών καθοδηγούμενος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι κυκλικές εισροές είναι εισροές πόρων ή, γενικά, υλικά που έχουν διάρκεια μεγαλύτερη του ενός κύκλου ζωής και μπορούν εύκολα να αναδημιουργηθούν.

Σχήμα 3 (Kalmykova et al., 2018): **Πιθανή αλυσίδα αξίας (value chain) Κυκλικής Οικονομίας.**



3.2 Εμπόδια υλοποίησης

Φυσικά, σε αυτή την προσπάθεια μετάβασης από τη γραμμική οικονομία στην κυκλική, υπάρχουν εμπόδια και παράγοντες που δυσχεραίνουν την κατάσταση. Αυτά τα εμπόδια θα μπορούσαν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες, στα πολιτισμικά (cultural), στα ρυθμιστικά (regulatory), στα σχετικά με την αγορά (market) και στα τεχνολογικά (technological). Ο επόμενος πίνακας δείχνει κάποιες δημοσιεύσεις και τις κατηγορίες εμποδίων που περιλαμβάνουν:

Βιβλιογραφία εμποδίων υλοποίησης

Συγγραφέας, Έτος	Πολιτισμικά εμπόδια	Εμπόδια της αγοράς	Ρυθμιστικά εμπόδια	Τεχνολογικά εμπόδια
(Commission, 2014)	✓	✓	✓	✓
(Pheifer, 2017)	✓	✓	✓	✓
(Preston, 2012)		✓	✓	✓
(Rizos et al., 2015)		✓	✓	
(Ranta et al., 2018)	✓	✓	✓	
(Shahbazi et al., 2016)		✓		✓
(P. Kumar & Polonsky, 2017)	✓			

- **Πολιτισμικά εμπόδια:**

Τα πολιτιστικά εμπόδια, ιδίως τα εμπόδια που αφορούν τους καταναλωτές και την κουλτούρα των εταιρειών συζητούνται σε πολλά άρθρα. Ένα από αυτά τα εμπόδια είναι η περιορισμένη αποδοχή από τους καταναλωτές η οποία αποτελεί μία εξήγηση για την περιορισμένη διάδοση και εφαρμογή μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας (Vanner et al., 2014). Σε σχέση με την εταιρική κουλτούρα, διαπιστώνεται ότι η Κυκλική Οικονομία δεν είναι ενσωματωμένη στη στρατηγική, την αποστολή, το όραμα, τους στόχους και τους βασικούς δείκτες απόδοσης της, γεγονός που φανερώνει ότι ακόμα οι εταιρείες δεν έχουν εμπεδώσει την έννοια αυτή (Pheifer, 2017). Ωστόσο, αυτή η κατηγορία εμποδίων είναι η λιγότερο αναγνωρίσιμη στη σχετική βιβλιογραφία με μόλις το 20% των μελετών να αναφέρονται σε αυτά (de Jesus & Mendonça, 2018). Αυτή η διαπίστωση αντικρούεται από την έρευνα του J. Kirchherr η οποία αποφαίνεται ότι 3 από τα πιο πειστικά εμπόδια ανήκουν στην κατηγορία των πολιτισμικών και είναι τα «Έλλειψη ενδιαφέροντος και ευαισθητοποίησης», «Διστακτική εταιρική κουλτούρα» και «Λειτουργία σε γραμμικό σύστημα» (Kirchherr et al., 2018). Γίνεται αντιληπτό ότι προκειμένου μία εταιρεία να κάνει στροφή στο κυκλικό μοντέλο οικονομίας, πρώτα από όλα θα πρέπει να επενδύσει σε αυτό η εφοδιαστική της αλυσίδα.

- **Εμπόδια της αγοράς:**

Στη βιβλιογραφία τονίζεται συχνά ότι δύο παράγοντες της κατηγορίας αυτής που αναχαιτίζουν τη μετάβαση προς την Κυκλική Οικονομία είναι οι χαμηλές τιμές παρθένων υλικών αλλά και το κόστος των επιχειρηματικών μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας (Preston, 2012), (Rizos et al., 2015), (Ranta et al., 2018). Επίσης, σημαντική συμβολή στη δυσκολία μετάβασης έχουν και το υψηλό αρχικό επενδυτικό κόστος όπως και η ελλιπής χρηματοδότηση τέτοιων προσπαθειών. Τέλος, εξίσου σημαντικά με τα προαναφερθέντα είναι και η έλλειψη προτύπων ώστε να υπάρχει μία καθολική ολοκληρωμένη μέθοδος να ακολουθηθεί.

- **Ρυθμιστικά εμπόδια:**

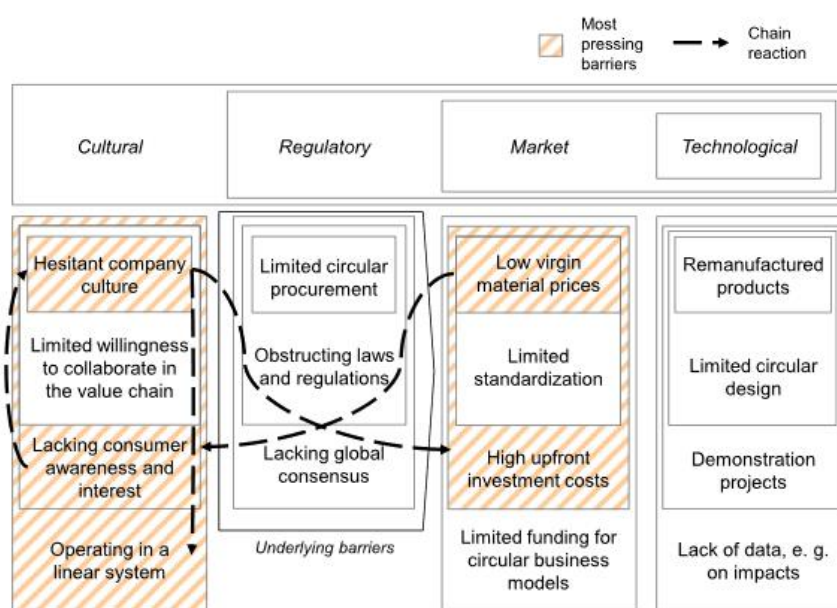
Πολύ σημαντικά εμπόδια αποτελούν και τα ρυθμιστικά. Για παράδειγμα η έλλειψη έξυπνων ρυθμίσεων (smart regulating) δυσκολεύει τη στροφή στην κυκλική οικονομία (Preston, 2012). Το ίδιο κάνει και η έλλειψη υποστηρικτικών πλαισίων πολιτικής (supportive policy frameworks) (Rizos et al., 2015). Επιπλέον, ο ελεγκτικός μηχανισμός και οι νόμοι του εμπορίου για τα υλικά λειτουργούν αποτρεπτικά στην εισαγωγή και εξαγωγή τους από τα διεθνή σύνορα.

- **Τεχνολογικά εμπόδια**

Είναι προφανές ότι τα μοντέλα κυκλικής οικονομίας δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά αν δεν υπάρχει η κατάλληλη υποστήριξη από την τεχνολογία. Μέχρι τώρα η τεχνολογία δεν έχει καταφέρει να βοηθήσει τα μοντέλα στο βαθμό που απαιτείται ώστε να είναι βιώσιμα. Οι δυνατότητες είναι τεράστιες αν καταστεί δυνατό να ξεπεραστούν όλες οι τεχνικές δυσκολίες των θεωρητικών μοντέλων.

Παρατίθεται ένα διάγραμμα που δείχνει τα εμπόδια-κλειδιά και τις εξαρτήσεις μεταξύ τους (Kirchherr et al., 2018):

Σημαντικά εμπόδια υλοποίησης και εξαρτήσεις μεταξύ τους (Kirchherr et al., 2018).



3.3 Βασικοί δείκτες

Όπως σε κάθε μοντέλο οικονομίας, έτσι και στην Κυκλική Οικονομία είναι απαραίτητες οι μέθοδοι εποπτείας και αξιολόγησής της. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι. Η πιο κοινή από αυτές είναι η LCA (Life Cycle Assessment). Οι (Angelis-Dimakis et al., 2016) ανέπτυξαν ένα πλαίσιο βασισμένο σε LCA για την αξιολόγηση της οικολογικής απόδοσης στην κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία βαφής. Ο (Pauliuk, 2018) πρότεινε ένα σετ ποσοτικών δεικτών οι οποίοι βασίζονταν κατά κύριο λόγο σε Material Flow Analysis (MFA), σε Material Flow Cost Accounting (MFCA) και στην LCA, προκειμένου να αποτιμήσει τις επιδόσεις της Κυκλικής Οικονομίας στους οργανισμούς. Οι (Laso et al., 2016) αξιολόγησαν και την επεξεργασία και τη μείωση αποβλήτων μέσω μεθόδων που συνδυάζουν LCA, Life Cycle Inventory (LCI) και Life Cycle Impact Assessment (LCIA) και στη συνέχεια την αναβάθμισαν σε μία μεθοδολογία οικολογικής αξιολόγησης 2 βημάτων. Ένα άλλο αντίστοιχο παράδειγμα είναι οι (Hadzic et al., 2018) που πρότειναν ένα εργαλείο αξιολόγησης των αστικών αποβλήτων με βάση την LCA. Ομοίως, οι (Martin et al., 2020) για την αξιολόγηση της χρήσης υλικών και υποπροϊόντων σε βιοκαύσιμα.

Φυσικά, υπάρχουν και άλλοι τρόποι μέτρησης και αποτίμησης, δεδομένης και της πολυπλοκότητας των κυκλικών συστημάτων. Για παράδειγμα κάποιες πολυκριτηριακές προσεγγίσεις (MCDM) με χρήση «ασαφούς λογικής» (“fuzzy logic”) για την εφαρμογή τους (Sassanelli et al., 2019). Οι (Ng & Martinez Hernandez, 2016) πρότειναν ένα πλαίσιο για decision-making που συνδυάζει την πολυκριτηριακή ανάλυση και τη μοντελοποίηση διαδικασιών για την αξιολόγηση της απόδοσης της Κυκλικής Οικονομίας σε συγκεκριμένα επιλεγμένα συστήματα. Όπως επίσης οι (Wibowo & Grandhi, 2017) χρησιμοποίησαν ένα αντίστοιχο πλαίσιο για την αξιολόγηση της δυνατότητας ανάκτησης προϊόντων στο τέλος της ζωής τους μέσω ενός δείκτη απόδοσης.

Άλλοι επικεντρώθηκαν στη φάση σχεδιασμού των προϊόντων για την ενεργοποίηση της κυκλικότητας υιοθετώντας “Design for X” (“DfX”) προσεγγίσεις. Οι (Oliveira et al., 2018) έδωσαν κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για την Κυκλική Οικονομία καθοδηγώντας το σχηματισμό γενικών παραμέτρων απόδοσης της. Οι (Akinade et al., 2017) παρουσίασαν 43 κρίσιμους παράγοντες για σχεδιασμό για αποσυναρμολόγηση (Design for Disassembly - DfD). Οι (Favi et al., 2017) χρησιμοποίησαν DfX προσεγγίσεις για να παρέχουν νέους δείκτες αξιολόγησης της υλοποιησιμότητας διαφόρων σεναρίων και τακτικών για το τέλος της ζωής προϊόντων. Σε γενικές γραμμές, οι DfX προσεγγίσεις έχουν συνδεθεί με μεθόδους LCA και MFA συμβάλλοντας τα μέγιστα στο σωστό σχεδιασμό και την ανάπτυξη προϊόντων και παρέχοντας οδηγίες για τη στρατηγική αξιολόγηση των αρχικών σταδίων ζωής (Beginning of Life-BoL) και των τελικών σταδίων ζωής (End of Life-EoL) ενός προϊόντος.

Ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται, εκμεταλλεόμενος τη δυνατότητα ελέγχου Εισόδου-Εξόδου ενός συστήματος (Input-Output, I-O), είναι η Data Envelopment Analysis (DEA)(Franklin-Johnson et al., 2016), (Pauliuk, 2018), (Expósito & Velasco, 2018) . Οι (Mardani et al., 2017) χρησιμοποίησαν την DEA σαν εργαλείο ανάλυσης των προβλημάτων απόδοσης της ενέργειας που σχετίζεται με διάφορα Decision-Making Units (DMU). Οι (Expósito & Velasco, 2018) παρουσίασαν ένα ακτινικό DEA μοντέλο εφαρμόζοντας το στη διαδικασία ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων.

Μία ακόμη μέθοδος είναι η Material Flow Analysis που έχει αναφερθεί ήδη παραπάνω. Ο δείκτης που πρότειναν οι (Franklin-Johnson et al., 2016) έχει σα βάση την MFA σε συνδυασμό με μία μέθοδο βασισμένη στο χρόνο ζωής.

Ορισμένοι άλλοι βασίζονται καθαρά στη μέτρηση της ενέργειας που εισέρχεται στο σύστημα και εξέρχεται από αυτό (Emergy-Exergy) . Οι (Pan et al., 2016) εκμεταλλεύτηκαν την ενέργεια που είχε ως είσοδο το σύστημα για να αξιολογήσουν μέσω διαφόρων δεικτών τα θετικά της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης σε βιομηχανικά πάρκα. Αντίστοιχα, οι (Huysman et al., 2017) εισήγαγαν τον Circular Economy Performance Indicator (CPI),

έναν δείκτη ικανό να μετρήσει την ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή ενός προϊόντος. Ο δείκτης αυτός λαμβάνει υπόψη την ενέργεια που εκλύεται από φυσικούς πόρους σαν την αναλογία των πραγματικών περιβαλλοντικών οφελών των τρεχουσών διαδικασιών επεξεργασίας αποβλήτων με τα ιδανικά περιβαλλοντικά οφέλη.

Ακολουθεί ο πίνακας για τη βιβλιογραφία που σχετίζεται με δείκτες και μεθόδους μέτρησης της απόδοσης της Κυκλικής Οικονομίας:

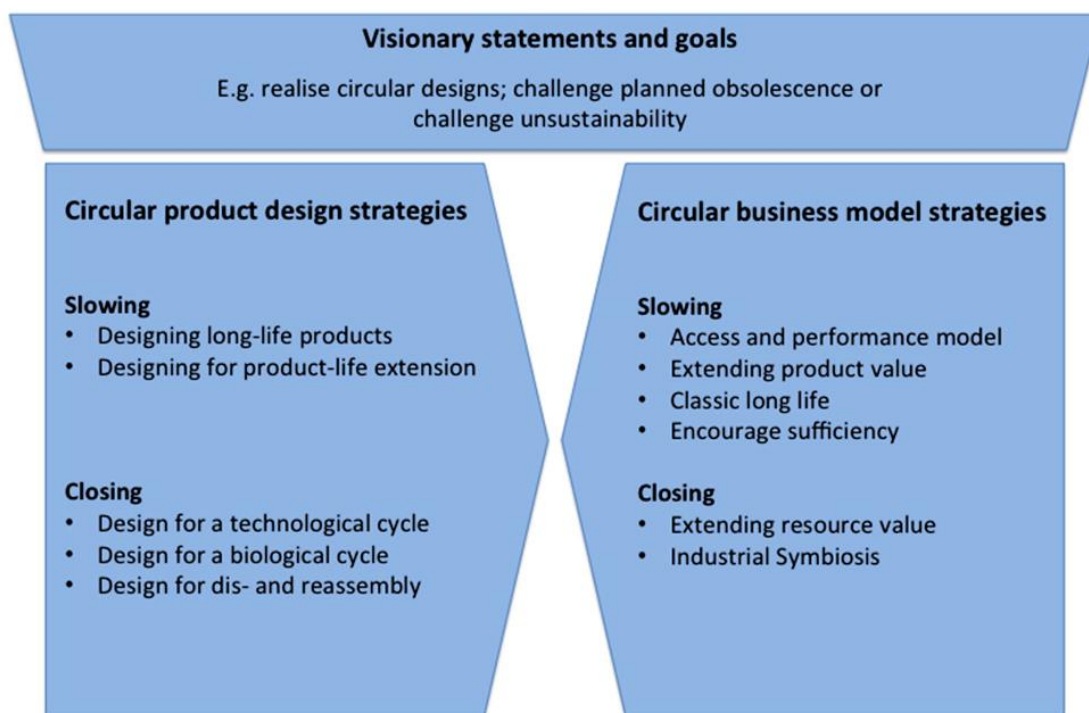
Συγγραφέας, Έτος	DEA/ I-O	DfX	LCA/LCI/LCIA	MCDM/fuzzy	MFA/MCA/MCIA	Em/Ex
(Angelis-Dimakis et al., 2016)			√			
(Pauliuk, 2018)			√		√	
(Laso et al., 2016)			√			
(Huysman et al., 2017)			√			√
(Hadzic et al., 2018)			√			
(Martin et al., 2020)			√			
(Ng & Martinez Hernandez, 2016)				√		
(Wibowo & Grandhi, 2017)				√		
(Oliveira et al., 2018)		√				
(Akinade et al., 2017)		√				
(Favi et al., 2017)		√				
(Mardani et al., 2017)	√					
(Expósito & Velasco, 2018)	√					
(Franklin-Johnson et al., 2016)					√	

(Pan et al., 2016)					√
(Grimaud et al., 2017)	√	√		√	

3.4 Επιπτώσεις στην στρατηγική

Οι στρατηγικές σχεδιασμού και επιχειρηματικών μοντέλων θα πρέπει να εφαρμοστούν συνδυαστικά για την πετυχημένη μετάβαση στην κυκλική οικονομία. Ως εκ τούτου, η εκάστοτε επιχείρηση θα πρέπει να έχει θέσει ένα γενικό στόχο ή κάποιο όραμα που επικεντρώνεται στην κυκλικότητα. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα να αποτυπωθεί πλήρως η δυναμική που θα δώσει στην επιχείρηση αυτή η καινοτομία, η στροφή σε πιο βιώσιμα μοντέλα (Bocken et al., 2016).

Συνδυαστική εφαρμογή στρατηγικών σχεδιασμού κυκλικών προϊόντων και επιχειρηματικών μοντέλων (Bocken et al., 2016).



Ακολουθεί μία απόπειρα ορισμού και κατηγοριοποίησης των διαφόρων στρατηγικών και ενεργειών Κυκλικής Οικονομίας, η οποία βασίζεται στα μέρη της αλυσίδας του Σχήματος 3.

3.4.1 Παραγωγή και Προμήθεια υλικών

Ποικιλομορφία και διατομεακοί σύνδεσμοι	Θέσπιση βιομηχανικών προτύπων για την προώθηση της διατομεακής συνεργασίας μέσω της διαφάνειας, των χρηματοδοτικών εργαλείων και των εργαλείων διαχείρισης κινδύνου, της ρύθμισης και της ανάπτυξης και εκπαίδευσης των υποδομών.
Παραγωγή ενέργειας/Ενεργειακή αυτονομία	Παραγωγή ενέργειας από υποπροϊόντα ή/και ανάκτηση θερμότητας υπολειμμάτων/ διεργασιών/αποβλήτων.
Green procurement	Διαδικασία κατά την οποία δημόσιες αρχές/εταιρείες επιλέγουν αγαθά και υπηρεσίες με την ίδια κύρια λειτουργία, αλλά με χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως μετράται, για παράδειγμα, από τη σύγκριση αγαθών και υπηρεσιών που βασίζεται στη μέθοδο LCA.
Life Cycle Assessment (LCA)	Αποτελεί μία δομημένη, ολοκληρωμένη και διεθνώς προτυποποιημένη μέθοδο. Ποσοτικοποιεί όλες τις σχετικές εκπομπές και πόρους που καταναλώνονται καθώς και τις σχετικές περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις και ζητήματα εξάντλησης πόρων που σχετίζονται με οποιαδήποτε αγαθά ή υπηρεσίες.
Αντικατάσταση υλικών	Αντικατάσταση υλικών με υλικά σε αφθονία ή ανανεώσιμα υλικά, καθιστώντας έτσι τη διαδικασία παραγωγής πιο ανθεκτική στις διακυμάνσεις των τιμών και την έλλειψη πόρων.
Φορολογία	Φόροι επί τεχνολογιών, προϊόντων και εισροών που συνδέονται με αρνητικές εξωτερικές επιπτώσεις.
Πιστώσεις φόρων και επιδοτήσεις	Μείωση του φόρου επί των πόρων, για

	παράδειγμα σε βιολογικά υλικά και προϊόντα.
--	---

3.4.2 Σχεδιασμός

Εξατομίκευση	Τα προϊόντα είναι ειδικά σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες και προτιμήσεις του πελάτη. Αυτό μπορεί να μειώσει τα απόβλητα και να αποτρέψει την υπερβολική παραγωγή. Όσοι μένουν ικανοποιημένοι από το προϊόν, θα επιστρέφουν στον κατασκευαστή για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων, διατηρώντας τα χαρακτηριστικά του.
Σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση/ανακύκλωση	Σχεδίαση που λαμβάνει υπόψη την ανάγκη αποσυναρμολόγησης προϊόντων για επισκευή, ανακαίνιση ή ανακύκλωση.
Design for modularity	Προϊόντα που αποτελούνται από διαφορετικά λειτουργικά μέρη ώστε να μπορούν να αναβαθμιστούν με νεότερα χαρακτηριστικά/λειτουργίες. Τα μέρη μπορούν να επισκευαστούν χωριστά ή να αντικατασταθούν, αυξάνοντας έτσι τη μακροζωία του πυρήνα του προϊόντος
Οικολογικός σχεδιασμός	Σχεδιασμός προϊόντος με έμφαση στην στο περιβαλλοντικό του αποτύπωμα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.
Μείωση	Σχεδιασμός και παραγωγή που περιλαμβάνει μείωση στα υλικά που χρησιμοποιούνται και στην εξάλειψη των βλαβερών ουσιών που χρησιμοποιούνται.

3.4.3 Κατασκευή

Ενεργειακή απόδοση	Παροχή των απαιτούμενων υπηρεσιών με μειωμένη εισροή ενέργειας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με μειωμένη κατανάλωση και
---------------------------	---

	ενεργειακά αποδοτικές διαδικασίες.
Παραγωγικότητα υλικών	Σε επίπεδο εταιρειών: το ποσό της οικονομικής αξίας που παράγεται από μία μονάδα εισροής ή κατανάλωσης υλικών. Σε επίπεδο οικονομίας: ΑΕΠ ανά εισροή/κατανάλωση υλικού.
Προσαρμόσιμη κατασκευή που μπορεί να αναπαραχθεί	Μία διαφανής και επεκτάσιμη τεχνολογία παραγωγής που μπορεί να προσομοιωθεί σε άλλα μέρη χρησιμοποιώντας εγχώριους διαθέσιμους πόρους και δεξιότητες.

3.4.4 Διανομή και Πωλήσεις

Βελτιστοποιημένος σχεδιασμός συσκευασίας	Αποτελεσματικές στρατηγικές σχεδιασμού συσκευασιών που τηρούν τους κανονισμούς και αξιοποιούν το τέλος του κύκλου ζωής του υλικού συσκευασίας.
Αναδιανομή και Μεταπώληση	Η μεταπώληση παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος μέσω της χρήσης μεταχειρισμένου προϊόντος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζεται να παραχθούν λιγότερα προϊόντα για τον ίδιο σκοπό. Τα προϊόντα μπορούν να μεταπωλούνται είτε ολόκληρα, είτε να μεταπωλούνται τμήματα αυτών.

3.4.5 Κατανάλωση και χρήση

Συμμετοχή της κοινότητας	Η εθελοντική συμμετοχή της κοινότητας και των διαφόρων ενδιαφερόμενων στην οργάνωση πλατφορμών κοινής χρήσης και στην παροχή καθοδήγησης σχετικά με την επισκευή και την αντικατάσταση προϊόντων.
Οικολογικές ετικέτες	Εθελοντική πιστοποίηση περιβαλλοντικής προστασίας αποδεδειγμένης περιβαλλοντικής

	προτίμησης ενός προϊόντος στην αντίστοιχη κατηγορία του. Η αξιόπιστη και αμερόληπτη ετικετοποίηση των προϊόντων/υπηρεσιών συνήθως επιβλέπεται από δημόσιες ή ιδιωτικές υπηρεσίες.
Προϊόν ως υπηρεσία ή Product Service System	Την κυριότητα του προϊόντος την έχει ο παραγωγός ο οποίος παρέχει το σχεδιασμό, χρήση, συντήρηση, επισκευή και ανακύκλωση του προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Ο πελάτης πληρώνει ενοίκιο για το χρόνο χρήσης του προϊόντος.
Επισήμανση προϊόντων με ετικέτες	Στοχεύει στη διασφάλιση του ότι οι καταναλωτές έχουν πλήρη ενημέρωση σχετικά με τα συστατικά στοιχεία, την προέλευση πρώτων υλών κ.λπ. ώστε να μπορούν να λαμβάνουν σωστές αποφάσεις. Δεν αναφέρει καμία περιβαλλοντική επισήμανση, σε αντίθεση με τις οικολογικές ετικέτες.
Επαναχρησιμοποίηση	Η άμεση επαναχρησιμοποίηση προϊόντος παρατείνει τη διάρκεια ζωής του.
Κοινή χρήση	Κοινή χρήση/πρόσβαση/ιδιοκτησία για παράδειγμα, χώρου και προϊόντων και πλατφόρμες διαμοιρασμού.
Κοινωνικά υπεύθυνη κατανάλωση	Ένας κοινωνικά υπεύθυνος καταναλωτής αγοράζει προϊόντα που θεωρείται ότι έχουν λιγότερο αρνητική επίδραση στο περιβάλλον και στηρίζει επιχειρήσεις που έχουν θετικό κοινωνικό αντίκτυπο.
Εποπτεία	Η ευθύνη για την προστασία των πόρων μέσω της συντήρησης, ανακύκλωσης και αποκατάστασης.
Εικονικοποίηση	Η μετατροπή υλικών αγαθών σε ψηφιακά. Για παράδειγμα ηλεκτρονικά βιβλία ή CD.

3.4.6 Συλλογή και απόρριψη

Διευρυμένη Ευθύνη Παραγωγού (Extended Producer Responsibility)	Είναι μία προσέγγιση περιβαλλοντικής πολιτικής κατά την οποία η ευθύνη ενός παραγωγού για ένα προϊόν επεκτείνεται και στο μετα-καταναλωτικό στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (OECD, 2015).
Παροχή κινήτρων για ανακύκλωση	Μέθοδος επιβράβευσης της συνεπούς και επαναλαμβανόμενης ανακύκλωσης υλικών, π.χ. επιστροφή κατάθεσης.
Κτίριο υποδομής/διοικητικής μέριμνας	Εγκαταστάσεις που προωθούν οικονομικά αποδοτικές, με χαμηλό χρονικό κόστος και περιβαλλοντικά ασφαλείς μετα-καταναλωτικές συλλογές και διακομιδές αποβλήτων.
Διαχωρισμός	Τα βιολογικά συστατικά πρέπει να διαχωρίζονται από τα τεχνικά ή τεχνητά/ανόργανα. Τα τεχνικά πρέπει να χρησιμοποιούνται στην ανακατασκευή (remanufacturing) ενώ τα βιολογικά πρέπει να αποκαθίστανται ή να αποικοδομούνται με φυσικό τρόπο.
Συστήματα επιστροφής και ανταλλαγής	Τα αποτελεσματικά συστήματα επιστροφής διασφαλίζουν την ανάκτηση των προϊόντων από τον καταναλωτή μετά το πέρας του κύκλου ζωής τους ώστε να προχωρήσει η ανακατασκευή τους. Τα συστήματα ανταλλαγής μπορούν να εξασφαλίσουν μία συνεχή ροή υλικού για ανακατασκευή.

3.4.7 Ανακύκλωση και Αποκατάσταση

Χρήση υποπροϊόντων	Τα υποπροϊόντα από άλλες διαδικασίες παραγωγής και οι αντίστοιχες αλυσίδες αξίας τους χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την κατασκευή νέων προϊόντων.
---------------------------	---

Επικάλυψη	Υλικά και τμήματα που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά δίκτυα αξιών (value streams) μετά το τέλος της ζωής τους. Η περικλειόμενη εργασία και το κεφάλαιο διατηρούνται καθ' όλη τη διαδικασία της επικάλυψης.
Downcycling	Είναι η διαδικασία μετατροπής χρησιμοποιημένων προϊόντων σε διαφορετικά νέα προϊόντα χαμηλότερης ποιότητας ή μειωμένης λειτουργικότητας.
Ανάκτηση στοιχείων/ουσιών	Η διαδικασία ανάκτησης μετάλλων, αμέταλλων και άλλων ουσιών με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης από ένα δίκτυο υλικών αποβλήτων.
Ανάκτηση ενέργειας	Η μετατροπή των αποβλήτων σε θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια ή καύσιμο μέσω ποικίλων διαδικασιών όπως η καύση, η αεριοποίηση, η πυρόλυση, η αναερόβια χώνεψη και η επαναφορά αερίων των χωματερών.
Εξαγωγή βιοχημικών ουσιών	Μετατροπή της βιομάζας σε χημικά προϊόντα μικρού όγκου αλλά υψηλής αξίας, παράγοντας έτσι θερμότητα, ενέργεια, καύσιμα ή χημικές ουσίες από βιομάζα
Λειτουργική ανακύκλωση	Διαδικασία ανάκτησης υλικών για τον αρχικό σκοπό τους ή για άλλο σκοπό, εξαιρουμένης της επιστροφής ενέργειας.
Ανακύκλωση υψηλής ποιότητας	Η ανάκτηση υλικών σε καθαρή μορφή μη μολυσμένη ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν δευτερεύοντες πρώτες ύλες για την παραγωγή των ίδιων ή προϊόντων παρόμοιας ποιότητας.
Βιομηχανική συμβίωση	Ανταλλαγή ή/και κοινή χρήση πόρων, υπηρεσιών και υποπροϊόντων μεταξύ εταιρειών.
Αποκατάσταση	Διαδικασία κατά την οποία τα βιολογικά

	θρεπτικά συστατικά επιστρέφονται στο έδαφος μετά την αποικοδόμηση από μικροοργανισμούς ή άλλους οργανισμούς.
Upcycling	Μετατροπή υλικών σε νέα υλικά υψηλότερης ποιότητας και αυξημένης λειτουργικότητας.

3.4.8 Ανακατασκευή

Ανακατασκευή (Refurbishment/Remanufacture)	Ανασκευή ενός προϊόντος με αντικατάσταση ελαττωματικών τμημάτων του από επαναχρησιμοποιήσιμα.
Αναβάθμιση, Συντήρηση και Επισκευή	Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος διατήρησης ή επαναφοράς εξοπλισμού στο επιθυμητό επίπεδο απόδοσης είναι η συντήρηση. Επιπλέον, οι μεταπωλητικές υπηρεσίες θεωρούνται καίριας σημασίας για ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και επιχειρηματικές ευκαιρίες. Η συντήρηση πραγματοποιείται επίσης με τη μορφή επισκευής. Τέλος, για την αποφυγή της απαξίωσης ενός προϊόντος και την παράταση της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του απαιτούνται υπηρεσίες όπως η αναβάθμιση.

3.4.9 Κυκλικές Εισροές

- Υλικά με βιολογική βάση: Εισροές πόρων ή υλικά που διαρκούν περισσότερο από ένα κύκλο ζωής και μπορούν εύκολα να αναδημιουργηθούν.

3.5 Ψηφιοποίηση-Βιομηχανία 4.0

Προκειμένου να υπάρχει μία γενική κατανόηση των όρων «Ψηφιοποίηση» (“Digitalization”) και «Βιομηχανία 4.0» (“Industry 4.0”) υιοθετούμε τον ορισμό που δόθηκε από τους (Tschandl et al., 2019) σύμφωνα με τον οποίο η Ψηφιοποίηση περιγράφει γενικά την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στην καθημερινή ζωή, ενώ η Βιομηχανία 4.0 είναι ακριβώς αυτή η διαδικασία ενσωμάτωσης., καθώς αποτελεί την 4^η βιομηχανική επανάσταση. Ο αντίστοιχος αγγλικός όρος είναι το “Internet of Things” (IoT), το οποίο αποτελείται από 2

μέρη, το “Industrial Internet of Things” και το “Consumer Internet of Things”. Στη βιβλιογραφία μέχρι τώρα δεν έχει δοθεί ένας ακριβέστερος και καθολικός ορισμός του όρου Βιομηχανία 4.0, ωστόσο συνδυάζοντας διαφορετικούς ορισμούς μπορεί να σχηματιστεί η ακόλουθη απόδοση του όρου αυτού: Η Βιομηχανία 4.0 περιγράφει την ευρεία εισαγωγή της τεχνολογίας των πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) (information and communication technology-ICT) καθώς και τη σύνδεση της με το IoT, με υπηρεσίες και με δεδομένα με στόχο τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της παραγωγής και των αλυσίδων αξίας. Τα αυτόνομα αντικείμενα (για παράδειγμα ρομπότ, βιομηχανικός εξοπλισμός κ.ά.), η κινητή τηλεφωνία, οι πραγματικού χρόνου αισθητήρες/ενεργοποιητές και η ΤΠΕ δίνουν τη δυνατότητα για μετάβαση από τον κάποτε απαραίτητο κεντρικό έλεγχο των διαδικασιών σε έναν αποκεντρωμένο, ευέλικτο τρόπο που περιλαμβάνει διαδικασίες αυτοελέγχου. Αυτό έχει ως συνέπεια να καθίσταται πλέον δυνατή η γρήγορη και ευέλικτη αντίδραση στις απαιτήσεις των πελατών και η παραγωγή πολλών παραλλαγών του αρχικού προϊόντος με χαμηλό κόστος καθώς και η εισαγωγή νέων επιχειρηματικών μοντέλων που έχουν ως κέντρο τον πελάτη και αυξάνουν την ανταγωνιστικότητα. Φυσικά, κάθε εταιρεία θα πρέπει να βρει τον δικό της ιδανικό συνδυασμό και χάρτη πορείας προς τη Βιομηχανία 4.0 και την Ψηφιοποίηση. Ακολουθεί μία απαρίθμηση και επεξήγηση των βασικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα Κυκλικής Οικονομίας με σκοπό την Ψηφιοποίηση:

3.5.1 Συλλογή Δεδομένων (Data Collection)

1. Radio Frequency Identification (RFID): Μία τεχνολογία συλλογής δεδομένων η οποία έχει προσελκύσει πολύ το ενδιαφέρον στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. Χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία για την αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση ετικετών που είναι προσαρτημένες στα διάφορα αντικείμενα. Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, το RFID βοηθά στην παρακολούθηση της ροής της ύλης ώστε να καταστεί δυνατή η ανάκτηση αξίας των αντικειμένων μέσω της εφαρμογής στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης, επισκευής και ανακατασκευής. Οι (Govindan et al., 2015) υποστηρίζουν χαρακτηριστικά ότι η τεχνολογία πληροφοριών και η συνεργασία μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο, αφού η RFID διευκολύνει δραστηρικά τη μετάβαση σε συστήματα κλειστού βρόγχου. Επιπλέον, σύμφωνα με τους (Jayaraman et al., 2008), τα δικτυακά RFID συστήματα βοηθούν στη σύνδεση προϊόντων που διαθέτουν RFID τσιπ με ένα δίκτυο πληροφοριών που παρέχει τα πλήρη δεδομένα για τον κύκλο ζωής του προϊόντος σε όλους τους συνεργάτες που έχουν σχέση με το προϊόν αυτό.

2. Internet of Things (IoT): Αποτελείται από αισθητήρες και ενεργοποιητές που είναι συνδεδεμένοι με δίκτυα υπολογιστικών συστημάτων ικανά να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται την «υγεία» και ενέργειες των συνδεδεμένων σε αυτά αντικειμένων και μηχανών (McKinsey, 2015). Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας το IoT μπορεί να

συλλέξει πληροφορίες που παράγονται από αισθητήρες ώστε να συνδέσει όλους τους ενδιαφερόμενους κρίκους της αντίστοιχης αλυσίδας αξίας του. Στην ανασκόπηση για ψηφιοποίηση της Κυκλικής Οικονομίας και της σημασίας της για τον τομέα της μεταλλουργίας, ο (Reuter, 2016) υποστηρίζει ότι το IoT μπορεί να βοηθήσει στη μετατροπή μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας σε δυναμικούς βρόχους ελέγχου ανάδρασης. Επιπρόσθετα, το IoT παρέχει μία θεμελιώδη βάση για την αξιολόγηση των συνεπειών των πράξεων των διαφόρων ενδιαφερόμενων μερών κατά τη διάρκεια ζωής φυσικών προϊόντων. Οι (Salminen et al., 2017) υπογραμμίζουν τη σημασία του IoT για την Κυκλική Οικονομία, καθώς η διαχείριση και η ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές δρομολογείται μέσω data-to-service διαδικασιών, οδηγώντας στην επιχειρησιακή εξέλιξη προς την Κυκλική Οικονομία.

3.5.2 Ενσωμάτωση Δεδομένων (Data Integration)

1.Relational Database Management Systems (RDBMS) and database handling systems: Συστήματα που σχετίζονται με την οργάνωση δεδομένων σε δομημένους περιγραφικούς πίνακες. Επιτρέπουν την ενσωμάτωση δεδομένων που προέρχονται από ετερογενείς πηγές, ορίζοντας μία συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και δομή των δεδομένων που ικανοποιεί τις απαιτήσεις του αντίστοιχου συστήματος (Sherman, 2014). Εξαιτίας του πολλαπλασιασμού των ψηφιακών τεχνολογιών και της εκθετικής αύξησης του όγκου των δεδομένων που παράγονται, η αναγνώριση και η χρήση των πραγματικά πολύτιμων πληροφοριών ενός οργανισμού αποτελεί μία πρόκληση-κλειδί για τις επιχειρήσεις (Thompson, 2012). Τα RDBMS και τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, με την ικανότητα να εκμεταλλεύονται τον πλούτο των δεδομένων από διαφορετικές πηγές συμβάλλουν τα μέγιστα σε αυτό. Οι (Salminen et al., 2017) υπογραμμίζουν το ρόλο της τυποποίησης και της αποθήκευσης δεδομένων στη διαχείριση των αποβλήτων, αφού διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων που οδηγούν στον επανασχεδιασμό του δικτύου αξίας. Ωστόσο, παρά τη σημασία τους, η περιγραφή του ρόλου, της πολυπλοκότητας και των τεχνικών απαιτήσεων τέτοιων συστημάτων συχνά υποβαθμίζεται.

2.Product Lifecycle Management Systems (PLM): Συστήματα διαχείρισης πληροφοριών που μπορούν να ενσωματώσουν δεδομένα, διαδικασίες, επιχειρηματικά συστήματα και, τελικά, άτομα σε μία εκτεταμένη επιχείρηση. Τα PLM υποστηρίζουν την Κυκλική Οικονομία συμβάλλοντας στην ενσωμάτωση πληροφοριών σε πολλαπλούς κύκλους ζωής και σε διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς της αλυσίδας αξίας. Οι (Lieder & Rashid, 2016) υπογραμμίζουν τη σημασία, σε εταιρικό επίπεδο, αυτής ακριβώς της ικανότητας των συστημάτων αυτών να παρακολουθούν προϊόντα και εξαρτήματα σε πολλαπλούς κύκλους ζωής. Οι συγγραφείς αυτοί ορίζουν το «διαβατήριο προϊόντος», δηλαδή ένα σύνολο πληροφοριών σχετικά με τα τμήματα και τα υλικά που έχει ένα προϊόν καθώς και με το πώς

αυτά μπορούν να αποσυναρμολογηθούν και να ανακυκλωθούν στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αναφορά στα PLM κάνουν και οι (Srai et al., 2016), καθώς όπως σωστά επισημαίνουν τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν τη βέλτιστη διαχείριση των αποθεμάτων και της ροής της ύλης.

3.5.3 Ανάλυση Δεδομένων (Data Analysis)

1. Machine Learning: Μέθοδοι που βασίζονται σε αλγορίθμους που μπορούν να μάθουν από τα δεδομένα χωρίς να εξαρτώνται από αυστηρό προγραμματισμό με κανόνες. Αναφέρεται και ως Artificial Intelligence (AI), είναι η εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης όπως τα Νευρωνικά Δίκτυα που βασίζονται σε μαζική επεξεργασία δεδομένων και όχι σε ένα σύνθετο σύνολο κανόνων για τον εντοπισμό μοτίβων στα δεδομένα και την πραγματοποίηση προβλέψεων. Η μηχανική μάθηση μπορεί να εφαρμοστεί στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας για την υποστήριξη της διαδικασίας και της βελτιστοποίησης του συστήματος με βάση τον τεράστιο όγκο δεδομένων. Οι (Weichhart et al., 2016) υποστηρίζουν ότι η χρήση εργαλείων και τεχνικών Τεχνητής Νοημοσύνης για το σχεδιασμό ευφών επιχειρηματικών συστημάτων αξιοποιεί αυτή τη νέα εποχή της θεωρίας υπολογιστών και των εφαρμογών κυκλικών μοντέλων στις επιχειρήσεις.

2. Big Data Analytics: Συνέπεια της αύξησης της χωρητικότητας στη συλλογή τεχνικών δεδομένων εξαιτίας του πολλαπλασιασμού και της μείωσης του κόστους του εξοπλισμού επεξεργασίας τους, που οδήγησε στην τεράστια αύξηση του μεγέθους των σετ δεδομένων. Χαρακτηρίζεται από τα 4 V's: Volume (Όγκος), Velocity (Ταχύτητα), Variety (Ποικιλία) and Veracity (Εγκυρότητα). Αυτός ο τεράστιος όγκος δεδομένων είναι αδύνατο να υποστεί επεξεργασία από τις παραδοσιακές τεχνικές διαχείρισης βάσεων δεδομένων και από τα κοινά προγραμματιστικά εργαλεία (KPMG, 2016). Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, η ανάλυση των Big Data θεωρείται μία υλοποιήσιμη προσέγγιση ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί η πληροφορία που λαμβάνεται από συστήματα καταγραφής όπως οι αισθητήρες ή το IoT, με συνέπεια τη λήψη ορθών αποφάσεων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι πολλές φορές τα Big Data Analytics δεν αντιμετωπίζονται ως ένα ευθύ concept, αλλά περισσότερο σαν μία προσέγγιση για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων προερχόμενα από διαφορετικές πηγές. Για παράδειγμα, οι (Ge & Jackson, 2014) συζητώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν τα Big Data στην αυτοκινητοβιομηχανία, τονίζουν την αποτελεσματικότητά τους μέσω 3 αντιπροσωπευτικών παραδειγμάτων: τη συντήρηση μηχανών εσωτερικής καύσης, την επαναχρησιμοποίηση περισσευούμενων εξαρτημάτων και την ανακατασκευή μηχανών. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, ότι με τα Big Data μπορούν να συγκρατηθούν πληροφορίες ολόκληρης της ζωής των αντικειμένων και αυτό να οδηγήσει στην εφαρμογή νέων στρατηγικών για αυτά. Στα πλαίσια των βιομηχανιών, οι (Lieder et al., 2017) υποστηρίζουν ότι η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να επιφέρει την

προσαρμοστική βαθμονόμηση της παραγωγής τους. Εκτενής αναφορά στα Big Data γίνεται και από τους (Moreno & Charnley, 2016) που τονίζουν τις δυνατότητες τους σε διαδικασίες παρακολούθησης της παραγωγής και της κατανάλωσης και που διευκολύνουν το μετέπειτα «κλείσιμο» της αλυσίδας της ροής της ύλης.

3.6

Βιβλιογραφία: Ψηφιοποίηση-Βιομηχανία 4.0 και Κυκλική

Οικονομία

Εξαιτίας του ευμετάβλητου της κατάστασης με τη ψηφιοποίηση και της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας, έγινε προσπάθεια να μελετηθούν κυρίως άρθρα και δημοσιεύσεις της τελευταίας πενταετίας. Ακολουθεί ένας πίνακας με δημοσιεύσεις που ασχολήθηκαν με τη σχέση Κυκλικής Οικονομίας και Βιομηχανίας 4.0, καθώς και με ποιον συγκεκριμένο τομέα καταπιάστηκαν.

Συγγραφέας, Έτος	Μοντέλα, Αρχιτεκτονικές, Πλαίσια αξιολόγησης	Εφαρμογή
(Yadav et al., 2020)	Ανέπτυξαν framework για βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω Βιομηχανίας 4.0 και Κυκλικής Οικονομίας.	Αυτοκινητοβιομηχανία
(Piscitelli et al., 2020)	Ανέλυσαν επιστημονική βιβλιογραφία που σχετίζεται με την Κυκλική Οικονομία και τη Βιομηχανία 4.0 και διαχώρισαν τις θεωρητικές μελέτες από τις τεχνικές-πρακτικές δοκιμές.	Έξυπνη Παραγωγή, Πράσινη Οικονομία
(Nascimento et al., 2019)	Παρουσίασαν επιχειρηματικό μοντέλο που ενσωματώνει την Βιομηχανία 4.0 στην Κυκλική Οικονομία	Βελτίωση της επιχειρηματικής βιωσιμότητας με την ανάκτηση αποβλήτων και την επαναφορά τους στην εφοδιαστική αλυσίδα
(Rosa et al., 2020)	Καινοτόμο framework «χαρτογράφησης» Κυκλικής Οικονομίας και Βιομηχανίας	Για πολύπλοκες εφοδιαστικές αλυσίδες

	4.0	
(Tseng et al., 2018)	(Big) data driven ανάλυση	Διεπιχειρησιακά δίκτυα
(Lopes de Sousa Jabbour et al., 2018)	Πρότειναν ένα πρωτοποριακό σύνολο οδηγιών για να βελτιώσουν την προσαρμογή των βασικών αρχών της Κυκλικής Οικονομίας στη Βιομηχανία 4.0	Σε βιομηχανίες παραγωγής για βιώσιμες λειτουργίες
(Antikainen et al., 2018)	Υιοθέτηση τεχνικών απεικόνισης προϊόντων και ψηφιοποίησης για επιχειρηματικά μοντέλα Κυκλικής Οικονομίας	Βιομηχανίες παραγωγής
(Fatimah et al., 2020)	Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης αποβλήτων χρησιμοποιώντας το IoT	Υπόθεση στην Ινδονησία

Πέρα βέβαια από τα frameworks και θεωρητικά συστήματα, κάποιοι αναφέρονται στη χρήση αισθητήρων, RFID, IoT και ενεργοποιητών. Ακολουθεί ένας πίνακας που παρουσιάζει τη σχετική βιβλιογραφία.

Συγγραφέας, Έτος	Τεχνολογία που εφαρμόστηκε	Σενάριο Βιομηχανία 4.0	Εφαρμογή
(Rajput & Singh, 2019)	IoT	Διαλειτουργικότητα, ανθεκτικότητα συστημάτων	Logistics, fog computing
(Vidhyotma & Singh, 2019)	IoT, RFID	Βελτίωση διαλειτουργικότητας, ποιότητας υπηρεσιών	Εφοδιαστική αλυσίδα λιανικής πώλησης, μεταφορές, φαρμακευτική και υγεία
(Mouapi et al., 2020)	Wireless Sensor Network (WSN)	Εξασφάλιση αξιόπιστων μετρήσεων φυσικών δεδομένων	Βιομηχανία εξόρυξης
(Khan et al., 2020)	IoT	Παρακολούθηση, συλλογή, επεξεργασία και	«Εξυπνες» κατοικίες, μεταφορές και

		επικοινωνία γεγονότων σε πραγματικό χρόνο, υψηλή αποδοτικότητα λειτουργιών, αύξηση παραγωγής με έξυπνη παρακολούθηση, προληπτική και προβλεπτική συντήρηση	ιατροφαρμακευτική περίθαλψη
(A. Kumar, 2018)	IoT, Sensors	Προσαρμοστικότητα συστημάτων, παρακολούθηση και αυτόματη προσαρμογή	Robotic manufacturing, additive manufacturing
(Lezzi et al., 2018)	IoT, WSN	Έλεγχος και παρακολούθηση λειτουργιών των εγκαταστάσεων, διαδικτυακή ασφάλεια	Discrete manufacturing, ιατροφαρμακευτική περίθαλψη
(Alqahtani et al., 2019)	Sensor	Εγγύηση και συντήρηση ανακατασκευασμένων προϊόντων	«Έξυπνη» παραγωγή
(Muhuri et al., 2019)	WSN, IoT	Ασφάλεια, αξιοπιστία και ακεραιότητα πληροφοριών	Ιατρική περίθαλψη, βιομηχανία ημιαγωγών
(Para et al., 2019)	Sensors	Απόκτηση ευαίσθητου εξοπλισμού, ποσοτική αξιολόγηση συλλεγμένων πληροφοριών, βελτίωση του κύκλου παραγωγής	Αυτοκινητοβιομηχανία
(Hamdi et al., 2019)	IoT	Βελτιστοποίηση της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων και της κατανάλωσης τους	«Έξυπνα» εργοστάσια
(Olsen & Tomlin, 2020)	IoT, RFID	Συντήρηση βασισμένη στις επικρατούσες συνθήκες, βελτιστοποίηση σε	Βιομηχανία 4.0 στη γεωργία

		πραγματικό χρόνο	
(Kabugo et al., 2020)	Sensors	Πλεονεκτήματα βιομηχανικών big data	Εγκαταστάσεις καύσης αποβλήτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
(Manavalan & Jayakrishna, 2019)	IoT, Sensors	Βελτίωση της δυνατότητας να αξιολογηθεί η κατάσταση ενός προϊόντος, μείωση των αποβλήτων από τη χρήση πόρων και αύξηση της παραγωγικότητας βασισμένη στις ανάγκες των πελατών	Βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες, «Έξυπνη» παραγωγή, «Έξυπνες πόλεις», «Έξυπνα» εργοστάσια, «Έξυπνες» λειτουργίες, logistics, ιατρική περίθαλψη και διαχείριση ενέργειας
(Ardito et al., 2019)	IoT	Απόκτηση και αποθήκευση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο	Supply Chain Management-Marketing (SCM-M) integration
(Sipsas et al., 2016)	Sensors	Βελτίωση των context-aware έξυπνων συστημάτων υπηρεσιών	«Έξυπνα» εργοστάσια
(Sha et al., 2017)	Wireless sensor-actuator networks (WSAN)	Αυτοματοποίηση λειτουργιών με αξιόπιστη και πραγματικού χρόνου επικοινωνία, βελτίωση της αξιοπιστίας δικτύων και της ενεργειακής απόδοσης	Βλάβες μετάδοσης
(Hofmann & Rüschi, 2017)	IoT	Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της ροής υλικών, αυτόματη ρύθμιση της και βελτίωση της απόδοσης	Logistics management
(Yan et al., 2017)	Sensors	Παρακολούθηση βιομηχανικών big data μέσω μίας χωροχρονικής	Προβλεπτική συντήρηση, εξοικονόμηση

		ιδιότητας	ενέργειας
(Zhong et al., 2017)	IoT, RFID	Πραγματικού χρόνου απόκτηση και ανάλυση δεδομένων, ορατότητα και ιχνηλάτηση των λειτουργιών της παραγωγής	«Εξυπνα» δίκτυα, βιομηχανίες παραγωγής ημιαγωγών
(Strandhagen et al., 2017)	IoT, Sensors	Συνεχής ροή πληροφορίας που βελτιώνει την απόδοση της παραγωγικής διαδικασίας	Manufacturing logistics, 3-D printing, additive manufacturing
(Garrido-Hidalgo et al., 2018)	IoT, Sensors	Παρακολούθηση εργαστηριακών δραστηριοτήτων και ενδυνάμωση/ενσωμάτωση της εργασιακής ασφάλειας, βιώσιμη ψηφιοποίηση	Αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής με σκοπό τη δημιουργία κοινωνικά βιώσιμων εργοστασίων
(Xu et al., 2018)	IoT, RFID, WSN	Βελτιωμένη παραγωγική αποδοτικότητα και ανταγωνιστικότητα	Ανθεκτικά «Εξυπνα» εργοστάσια
(Lin et al., 2016)	IoT, group-based industrial wireless sensor networks (GIWSNs)	Εργοστασιακή αυτοματοποίηση και ευελιξία σε δυναμικό περιβάλλον	Εισαγωγή συνδέσμων και προγραμματισμός της αναστολής της λειτουργίας αισθητήρων σε μία γραμμή παραγωγής

Τέλος, σε ό,τι αφορά την Ψηφιοποίηση και τη Βιομηχανία 4.0, κάποιος καταπιάνεται με το θέμα της ενεργειακής κατανάλωσης. Οι (Mohamed et al., 2019) ενεργοποίησαν αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες για τη Βιομηχανία 4.0 βασισμένοι στην κατανάλωση ενέργειας και τα εφάρμοσαν σε «έξυπνα» εργοστάσια πετυχαίνοντας καλύτερη διαλειτουργικότητα και καλύτερο προσανατολισμό των υπηρεσιών. Επιπλέον, οι (Lu et al., 2019) δημιουργώντας ένα διαδίκτυο παραγωγής για ενεργειακά αποδοτική παραγωγή, πέτυχαν να δημιουργήσουν ενεργειακά αποδοτικά και ευέλικτα “engineering-to-order”

μοντέλα παραγωγής. Αξιοσημείωτο είναι και το έργο των (Shukla et al., 2020) που χρησιμοποιώντας έναν γενετικό αλγόριθμο για την επίλυση προβλήματος σχετικά με τον προγραμματισμό των εργασιών σε μία ενεργειακά αποδοτική παραγωγική διαδικασία, πέτυχαν τον ορθό προγραμματισμό των εργασιών αυτών (Real Time Embedded Systems).

3.7

Κυκλική Οικονομία και Αυτοκινητοβιομηχανία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω σε αυτή τη διπλωματική, η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ένας κλάδος που έχει τεράστια ανάγκη την τα μοντέλα Κυκλικής Οικονομίας αφού χρησιμοποιεί πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών, οι οποίες βρίσκονται σε έλλειψη, αλλά και επιβαρύνει πολύ το περιβάλλον λόγω της εκπομπής αερίων και της δημιουργίας αποβλήτων που δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Η αυτοκινητοβιομηχανία και ο τομέας των μεταφορών βέβαια έχει σοβαρή δυνατότητα να απεξαρτηθεί από τον άνθρακα και τις βλαβερές συνέπειες του, ιδιαίτερα στην Ευρώπη.

Στην Ευρώπη, το μέσο απόθεμα οχημάτων είναι περίπου 0.5 οχήματα ανά άτομο, γεγονός που μεταφράζεται σε 450-750 κιλά υλικών ανά άτομο (Huisman et al., 2017). Τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους (End-of-life vehicles -ELVs) παράγουν 7-8 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων ετησίως, ποσότητα η οποία χρειάζεται ειδική διαχείριση και επεξεργασία για να αποφευχθεί η δημιουργία υπέρογκων ποσοτήτων από υλικά που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό με αυτούς τους ενδεικτικούς αριθμούς ότι τα οχήματα αντιπροσωπεύουν έναν εξαιρετικά σημαντικό βιομηχανικό τομέα σε ό,τι έχει να κάνει με τη ζήτηση πρώτων υλών αλλά και την πιθανή επαναφορά ήδη χρησιμοποιημένων πρώτων υλών (secondary raw materials-SRMs). Γίνεται μεγάλη προσπάθεια ώστε τα κομμάτια από τα οποία αποτελούνται τα ELVs να είναι δυνατό να ανακυκλωθούν, να επαναχρησιμοποιηθούν ή να επιστρέφουν στο αρχικό τους στάδιο και το ελάχιστο όριο σε ποσοστό που θα πρέπει να συμβαίνει αυτό έχει οριστεί στο 85% του μέσου βάρους των οχημάτων σε ετήσια βάση. Ωστόσο, η (EC,2019a) επισημαίνει ότι η επαναχρησιμοποίηση συμβάλλει μόλις σε ένα 10% σε αυτό τον στόχο και υπογραμμίζει ότι δεν είναι ξεκάθαρες και ακριβείς πολλές λεπτομέρειες των στατιστικών αυτών, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να αποφανθεί για τους πραγματικούς αριθμούς της επίδρασης της ανακατασκευής (remanufacturing) στην κυκλικότητα της ροής της ύλης στην Ευρώπη.

Παρά το ότι όλα τα υλικά είναι σημαντικά, μερικά από αυτά χρίζουν μεγαλύτερης προσοχής και προβληματισμού καθώς έχουν μεγάλη επίδραση στο οικονομικό σκέλος της κυκλικότητας ιδιαίτερα για την Ευρώπη και είναι ευαίσθητα σε μία πιθανή διακοπή τροφοδότησης τους. Αυτά αποτελούν την κρίσιμη πρώτη ύλη (Critical Raw Materials-CRMs)

(EC,2019a). Ορισμένα τέτοια υλικά που ενσωματώνονται στα οχήματα είναι το κοβάλτιο (σε μπαταρίες ιόντων λιθίου, χρήσιμες κυρίως στα ηλεκτρικά οχήματα), τα μέταλλα της ομάδας της πλατίνας (παλλάδιο, πλατίνα και το ρόδιο σε καταλύτες και σωματιδιακά φίλτρα) και σπάνια στοιχεία της γης (REEs) (χρήση σε μόνιμους μαγνήτες, καταλύτες, φίλτρα). (Huisman et al., 2017) (Bresser et al., 2018) (Knobloch et al., 2018).

Τα CRMs δεν αποτελούν κλειδί αποκλειστικά για την τωρινή αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά είναι πολύ σημαντικά και για τα μελλοντικά οχήματα καθώς παρέχουν σημαντικές λειτουργίες που έχουν να κάνουν με την απόδοση, τη μείωση τους βάρους και τη συνδεσιμότητα. Η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων βάζει ακόμα μεγαλύτερη πίεση στην εφαρμογή τεχνικών για την αντιμετώπιση της συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης των CRMs. Σύμφωνα με τους (Cullbrand & Magnusson, 2012), ο εξηλεκτρισμός και το υψηλό επίπεδο του εξοπλισμού είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν σε καίριο βαθμό τις ποσότητες των CRMs των οχημάτων, και όχι τόσο το μέγεθος του οχήματος.

Παρά το γεγονός ότι τα CRMs είναι τόσο κομβικής σημασίας για την αυτοκινητοβιομηχανία, η λειτουργική ανακύκλωση τους είναι πολύ περιορισμένη. Συνήθως, στα REEs μόλις το 1% ανακυκλώνεται ενώ τα υπόλοιπα μετατρέπονται σε απόβλητα και αφαιρούνται από τον κύκλο των υλικών (Jowitt et al., 2018). Αυτό είναι αποτέλεσμα μη αποδοτικής συλλογής τους, τεχνολογικών προβλημάτων και έλλειψης οργανωμένων ενεργειών προς αυτή την κατεύθυνση, μολονότι αυτή η δυσκολία τροφοδοσίας τους έχει οδηγήσει στο να επενδύσουν στην ανάπτυξη τεχνολογιών για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υλικών αυτών (Yang et al., 2017).

Πέραν της ανακύκλωσης που αναγνωρίζεται σαν βασικό εργαλείο για την αντιμετώπιση των θεμάτων της έλλειψης υλικών, υπάρχουν και άλλες ίσως αποτελεσματικότερες τεχνικές που θα βοηθήσουν στην βελτίωση της απόδοσης των πόρων στο σύστημα μεταφορών. Η επέκταση του χρόνου ζωής των προϊόντων που εμπεριέχουν CRMs, μέσω συνήθως της επαναχρησιμοποίησης, είναι μία καλή επιλογή ώστε να διατηρηθούν στον κύκλο της ύλης για περισσότερο χρόνο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μεταχειρισμένες μπαταρίες στα ηλεκτρικά οχήματα (Bobba, Mathieux, et al., 2018). Η ανακατασκευή είναι επίσης μία επιλογή, που ωστόσο ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα στην Ευρώπη για τα συγκεκριμένα υλικά (Bobba et al., 2019).

Η ανακατασκευή (remanufacturing) έχει την ικανότητα να διατηρεί την αξία τόσο των υλικών όσο και των ίδιων των προϊόντων. Οι (Colledani et al., 2014) υπολόγισαν ότι το κόστος της ανακατασκευής ενός προϊόντος μπορεί να είναι κατά 45-65% μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος κατασκευής του, καθώς στις διαδικασίες ανακατασκευής είναι απαραίτητη 20-25% λιγότερη ενέργεια για το ίδιο προϊόν. Την ίδια στιγμή, η ανακατασκευή διατηρεί περίπου ένα

85% της αρχικής αξίας τους προϊόντος, ενώ η το αντίστοιχο ποσοστό για την ανακύκλωση είναι μόλις 7.5%.

Το πρώτο στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος της αυτοκινητοβιομηχανίας- και αυτό στο οποίο οι κατασκευαστές έχουν τον πιο άμεσο έλεγχο για το προϊόν- είναι η φάση των υλικών και της παραγωγής του. Οι αποφάσεις γύρω από την προμήθεια των υλικών, το σχεδιασμό του προϊόντος, την επιλογή της διαδικασίας και της σχετικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και καθορίζουν την περιβαλλοντική απόδοση του κύκλου ζωής ενός οχήματος και της γενικότερης αλυσίδας αξίας του σε ό,τι αφορά τη βιωσιμότητα.

3.7.1 Κατασκευή υλικών (*Materials manufacturing*):

Η κατασκευή των υλικών περιλαμβάνει την εξόρυξη/εξαγωγή, βελτίωση της κατάστασης, μεταφορά και επεξεργασία ουσιών ώστε να μετατραπούν σε υλικά επιθυμητής ποιότητας που απαιτείται ώστε μετέπειτα να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή προϊόντων και εξαρτημάτων. Παρά το αυξανόμενο ποσοστό των πλαστικών και του αλουμινίου που χρησιμοποιούνται, η σύσταση των υλικών των συμβατικών ελαφρού τύπου οχημάτων παραμένει σχετικά όμοια με αυτή των περασμένων δεκαετιών. Σύμφωνα με τους (Keoleian & Sullivan, 2012) η οικογένεια του χάλυβα έχει τη μερίδα του λέοντος στη συμμετοχή στη συνολική μάζα των οχημάτων με ποσοστό 40%-60%. Σχεδόν τα $\frac{3}{4}$ του χάλυβα που χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι πρωτογενής (primary) ενώ το υπόλοιπο $\frac{1}{4}$ είναι ανακυκλωμένο ατσάλι. Η τυπική επεξεργασία του πρωτογενούς χάλυβα που χρησιμοποιεί ημίκαυστο άνθρακα σε βασικούς φούρνους οξυγόνου μοιραία περιορίζει κατά πολύ τη βιωσιμότητα του, αφού κατά μέσο όρο μόλις το 8% της ενέργειας είναι από ανανεώσιμες πηγές. Αντίθετα, ο ανακυκλωμένος χάλυβας υπόκειται επεξεργασία σε ηλεκτρικούς φούρνους και έχει 54% μικρότερη εκπομπή αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου (GHG) ανά μονάδα μάζας συγκριτικά με τον πρωτογενή χάλυβα. Επιπλέον, οι ηλεκτρικοί αυτοί φούρνοι χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και το ποσοστό της ανανεώσιμης που χρησιμοποιούν ανέρχεται σε 15%. Έτσι, φαίνεται ότι η χρήση ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας στην παραγωγή χάλυβα σε συνδυασμό με κατάλληλα μέτρα για την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας μπορούν να συνδράμουν σημαντικά στη βιωσιμότητα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον γεγονός για τον χάλυβα είναι ότι ενώ αποτελεί το πιο ανακυκλωμένο υλικό παγκοσμίως σε όρους μάζας, ένα μεγάλο τμήμα του χάλυβα της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι open-loop recycled, δηλαδή βγαίνει από τον κύκλο της ύλης της αυτοκινητοβιομηχανίας και χρησιμοποιείται σε άλλους τομείς (Walker et al., 2018). Επίσης, ενώ το ατσάλι θεωρείται ένα σχετικά «κυκλικό» υλικό καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά εναλλακτικά συστήματα, η παραγωγή του παρθένου ατσαλιού έχει

περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφού προκύπτουν μεγάλες ποσότητες λάσπης και σκόνης κατά την παραγωγή του. Για αυτό λοιπόν, οι κατασκευαστές θα πρέπει, όπου είναι εφικτό, να χρησιμοποιούν ανακυκλωμένο ατσάλι, ενώ παρουσιάζεται και μία μεγάλη ευκαιρία οι κατασκευαστές να συνεργαστούν με τους προμηθευτές ώστε να βελτιώσουν τις κυκλικές πρακτικές σχετικά με την κατασκευή του χάλυβα και στη χρήση στα προϊόντα αλλά και από την άποψη των καθαρότερων πηγών ενέργειας.

Μία σημαντική τάση στην αυτοκινητοβιομηχανία σήμερα αποτελεί και η χρήση του αλουμινίου, συχνά αντί για σίδηρο ή ατσάλι. Θα πρέπει να γίνει μία αξιολόγηση και εκτίμηση στην αντιστάθμιση των επιπτώσεων της παραγωγής και χρήσης του αλουμινίου συγκριτικά με τα δυνητικά οφέλη της χρήσης του έναντι στον χάλυβα (Hertwich et al., 2019). Και αυτό γιατί το αλουμίνιο, ενώ είναι ελαφρύτερο από τον χάλυβα με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτικό από τη σκοπιά της χρήσης καυσίμων, μπορεί να απαιτεί σημαντικά περισσότερη ενέργεια και να έχει μεγαλύτερες εκπομπές GHGs (για παράδειγμα υπερφθοράνθρακες) κατά την παραγωγή του (Hertwich et al., 2019) (Luk et al., 2017). Βέβαια, η αντικατάσταση με αλουμίνιο μπορεί να επιφέρει μία μείωση 11%-25% του βάρους του οχήματος. Συμπερασματικά, θα πρέπει οι κατασκευαστές να αναλύσουν τα περιβαλλοντικά κόστη του κύκλου ζωής του αλουμινίου σκεπτόμενοι τα χρηστικά οφέλη του.

Σε επίπεδο οχημάτων, 2 παραλλαγές του αλουμινίου χρησιμοποιούνται συνήθως: cast και wrought. Το cast αλουμίνιο της αυτοκινητοβιομηχανίας κατά κανόνα έχει μεγαλύτερο ανακυκλωμένο περιεχόμενο από ό,τι το wrought αλουμίνιο. Επίσης, το cast συνήθως χρησιμοποιείται στα συστήματα μετάδοσης κίνησης όπως τα πιστόνια, τα μπλοκ της μηχανής, οι εξαρτήσεις ενώ το wrought για την κατασκευή των πλαισίων του σώματος του αυτοκινήτου, λόγω της υπεροχής του στη δύναμη και στη συμπεριφορά απέναντι στην ένταση (Filho, 2016). Και τα δύο είδη αργιλίου χρησιμοποιούν περίπου 37% μη ορυκτή ενέργεια για να παραχθούν, όμως το wrought αργίλιο έχει πολύ λιγότερο ανακυκλωμένο υλικό από το cast, 11% και 85% αντίστοιχα αν θέλουν να διατηρήσουν της επιθυμητή κατάσταση και τις ιδιότητες τους. Φαίνεται, λοιπόν, ότι και οι 2 ανακυκλωμένες μορφές αλουμινίου εκπέμπουν σαφώς λιγότερα GHGs συγκριτικά με τις αντίστοιχες πρωτογενείς μορφές τους. Οι κατασκευαστές θα πρέπει να λειτουργήσουν σε συνεργασία με τους προμηθευτές υλικών και τους διαχειριστές των οχημάτων όταν ολοκληρώνεται ο κύκλος ζωής τους ώστε να κλείσουν την αλυσίδα της ροής αλουμινίου.

Το τρίτο πολύ σημαντικό γκρουπ υλικών για την αυτοκινητοβιομηχανία είναι τα πλαστικά, το μερίδιο των οποίων στη σύσταση των οχημάτων σταδιακά αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες εξαιτίας της μικρής μάζας και πλεονεκτημάτων που έχουν να κάνουν με την επίδοση. Η παραγωγή και οι διαδικασίες μεταποίησης και επεξεργασίας των πλαστικών στηρίζονται κατά

κύριο λόγο σε ορυκτά καύσιμα και είναι μη κυκλικές. Επίσης, ένα στοιχείο των πλαστικών που αποτελεί μεγάλο πρόβλημα για τη χρήση τους είναι η περιορισμένη δυνατότητα ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Keoleian & Sullivan, 2012).

Πέρα από το αλουμίνιο και τα πλαστικά, που αποτελούν γενικά ελαφρά υλικά, το χαμηλό βάρος επιτυγχάνεται και με εναλλακτικά υλικά και σχεδιασμούς για τη μηχανή, τα καθίσματα ή τα τζάμια. Μολονότι υλικά όπως τα ενισχυμένα με ανθρακονήματα πλαστικά (σύνθετα) και το μαγνήσιο θα μπορούσαν έχουν σοβαρή επιρροή στην αυτοκινητοβιομηχανία σχετικά με το θέμα του βάρους των εξαρτημάτων και των οχημάτων, τα οφέλη από τη χρήση τους θα πρέπει να σταθμιστούν με την εκπομπή GHGs και της ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή τους (Kim & Wallington, 2013). Η ενσωμάτωση περισσότερων εναλλακτικών λύσεων βιολογικής βάσης, όπως η κυτταρίνη, οι ίνες kenaf και η σόγια, μπορεί να διατηρήσει το επιθυμητό χαρακτηριστικό του χαμηλού βάρους, εκτοπίζοντας τους πεπερασμένους πόρους και προωθώντας φυσικές ανανεώσιμες πρώτες ύλες (Boland et al., 2016). Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι τα υφιστάμενα βιοϋλικά δεν είναι εξ' ολοκλήρου κυκλικά από την άποψη ότι απαιτούν ορισμένες ορυκτές/μη ανανεώσιμες εισροές. Η LCA μέθοδοι μπορούν να συγκρίνουν τις επιπτώσεις αυτών των υλικών συγκριτικά με τα συμβατικά μη ανανεώσιμα και να αποφανθούν για την αξία χρησιμοποίησής τους. Η εισχώρηση τέτοιων βιολογικών υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία παραμένει ακόμα χαμηλή. Επίσης, δεν είναι πάντα κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν, αφού για παράδειγμα το να είναι ελαφρύ ένα όχημα δε λειτουργεί θετικά σε περιπτώσεις που ζητούμενα είναι η δύναμη και η ένταση.

Τέλος, μεγάλη βαρύτητα έχει και η ομάδα των CRMs η οποία έχει αναλυθεί παραπάνω.

3.7.2 Σχεδιασμός προϊόντος (Product design):

Μία κοινή τεχνική για την επίτευξη κυκλικών οχημάτων είναι η δημιουργία βέλτιστων στρατηγικών σχεδιασμού που βελτιώνουν την περιβαλλοντική απόδοση του κύκλου ζωής τους. Το πόσο βιώσιμο είναι ένα προϊόν εξαρτάται άμεσα από τη βαρύτητα που δίνει ο εκάστοτε κατασκευαστής του στον διάφορους στόχους σχεδιασμού (για παράδειγμα στο κόστος, στην απόδοση κ.ά.), αφού δημιουργείται ένα ζήτημα ισορροπιών. Από την υλική σκοπιά, μερικές στρατηγικές για την επίτευξη κυκλικότητας περιλαμβάνουν την αποϋλοποίηση, κατά την οποία προσφέρεται το ίδιο επίπεδο λειτουργικότητας του προϊόντος ή μίας υπηρεσίας χρησιμοποιώντας λιγότερα υλικά, τη μείωση της έντασης των υλικών όπου υποβαθμίζονται τμήματα του οχήματος αλλά διατηρώντας την ανθεκτικότητά του, τη αυξημένη αποδοτικότητα των υλικών, όπου μεγαλύτερο μέρος του αποθέματος μετατρέπεται σε τελικό προϊόν, με αποτέλεσμα λιγότερα απόβλητα και τη σωστή επιλογή υλικών, όπου εναλλακτικά υλικά με μικρότερη επιβάρυνση είναι ανακυκλωμένα ή επαναχρησιμοποιούνται

από προηγούμενες εφαρμογές. Ωστόσο, όλο αυτό αποτελεί σπαζοκεφαλιά για τους κατασκευαστές, καθώς ακόμα και αν για παράδειγμα βελτιώσουν την αποδοτικότητα των υλικών μειώνοντας τα κόστη και τις ποσότητες αποβλήτων και μεγιστοποιώντας την απόδοση, επηρεάζονται αρνητικά άλλες μεταβλητές όπως είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται.

Δυνατότητα αύξησης της κυκλικότητας δίνεται και μέσω του σχεδιασμού οχημάτων με μεγάλο χρόνο ζωής. Ο σχεδιασμός για βέλτιστη μακροζωία (longevity) εμπεριέχει τη χρήση πιο ανθεκτικών, προσαρμόσιμων και αξιόπιστων υλικών που μπορούν εύκολα να συντηρηθούν, να ανακατασκευαστούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν. Επίσης, ίσως είναι ανάγκη οι κατασκευαστές να εισηγηθούν εγγυήσεις για επαναχρησιμοποιημένα τμήματα. Η ανάγκη για μεγάλο χρόνο ζωής οχημάτων γίνεται ακόμα επιτακτικότερη με την έλευση νέων επιχειρηματικών μοντέλων μεταφορών σαν υπηρεσία, πλατφόρμων κοινής χρήσης για μεταφορές και αυτοματοποιημένων στόλων (Nyström, 2019). Συγκεκριμένα, η κατασκευή ανθεκτικότερων εξαρτημάτων όπως οι μεντεσέδες ή οι διακόπτες αυξάνει το προσδόκιμο ζωής των οχημάτων. Η αυτοκινητοβιομηχανία μέχρι τώρα τα έχει πάει αρκετά καλά στο σχεδιασμό οχημάτων με γνώμονα τη διαχείριση τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους υιοθετώντας τεχνικές σχεδιασμού που δίνουν βάση στην ευκολία αποσυναρμολόγησης, στην ταυτοποίηση των υλικών και στην ενοποίηση εξαρτημάτων. Η ανακύκλωση κλειστού βρόχου κατά το σχεδιασμό των προϊόντων μπορεί να στηριχτεί περαιτέρω μέσω της επιλογής υλικών παρόμοιων ιδιοτήτων και ποιότητας για τμήματα που διατηρούνται σταθερά για πολλά χρόνια και σε διαφορετικά μοντέλα οχημάτων, καθώς και υλικών των οποίων η συνδυαστική μόλυνση που προκαλούν στο τέλος της ζωής τους ελαχιστοποιείται.

3.7.3 Κατασκευή αυτοκινήτων (Automotive manufacturing):

Σε επίπεδο διεργασίας, οι ροές υλικών μπορούν να επεκταθούν ώστε να συμπεριλάβουν τα λύματα και τα απόβλητα. Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν την αντικατάσταση διαδικασιών, όπως η μετάβαση σε καύσιμα καθαρής καύσης ή τεχνικές παραγωγής πρόσθετων υλικών χαμηλότερων αποβλήτων. Ακόμη, σημαντική είναι η ενεργειακή απόδοση και μέτρα υπέρ αυτής όπως η αναβάθμιση λαμπτήρων πυρακτώσεως/λαμπτήρων νατρίου/λαμπτήρων μετάλλου-αλογονιδίου σε LED που μειώνουν τα γενικά έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας. Μία άλλη τεχνική είναι η χρήση επί τόπου παραγόμενων ανανεώσιμων υπηρεσιών και η μείωση χρήσης νερού μέσω της επί τόπου επεξεργασίας ή ανακύκλωσης. Επιπλέον, μπορεί να ελεγχθούν οι ροές υλικών για ελαχιστοποίηση των λυμάτων και των αποβλήτων αλλά και να αποφευχθούν περιπτώσεις εκτροπής των αποβλήτων σε χωματερές με τη χρήση του προϊόντος. Ακόμη, σημαντικός είναι και ο έλεγχος των αποθεμάτων και πρακτικές διαχείρισης υλικών καθώς και η προώθηση

ανακυκλώσιμων υλικών για συσκευασία. Τέλος, καίριος είναι ο σχεδιασμός της διάταξης εγκαταστάσεων και διαδικασιών με μέλημα την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και των απωλειών (Aguilar Esteva et al., 2020).

3.7.4 Logistics:

Οι κατασκευαστές πλέον εξετάζουν τις επιβαρύνσεις από τα κανάλια υλικοτεχνικής υποστήριξης για τη διανομή που προέρχονται από τα upstream και downstream των εγκαταστάσεων τους. Upstream, τα εισερχόμενα υλικά και εξαρτήματα παραδίδονται σε μονάδες συναρμολόγησης οχημάτων. Downstream (μετά τη συναρμολόγηση), τα έτοιμα για πώληση οχήματα αποστέλλονται στις διάφορες αντιπροσωπείες. Παρά το γεγονός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες δεν έχουν πάντα τον πλήρη έλεγχο της διαχείρισης της διανομής, μπορούν να λειτουργήσουν μαζί με τους συνεργάτες που έχουν τα δίκτυα διανομής ώστε να ενισχυθεί η κυκλικότητα των logistics. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής μεθόδων και στρατηγικών που προσανατολίζονται στη διανομή, όπως οι βελτιώσεις στην οικονομία του καυσίμου εμπορευματικών μεταφορών, η ανάπτυξη οχημάτων με εναλλακτικά καύσιμα για τη μείωση της εκπομπής των GHGs και η αποτελεσματικότερη χρήση των εμπορευματικών δικτύων και των μεταφορέων (Piecyk et al., 2015).

Είναι ξεκάθαρο ότι η επιλογή των υλικών παίζει πολύ μεγάλο ρόλο σε ό,τι αφορά τις εκπομπές βλαβερών αερίων όπως το CO₂. Ωστόσο, εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας είναι και η ύπαρξη μίας κυκλικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μία τέτοια αλυσίδα είναι τα εξής (Buruzs, 2017) :

1. Design: Όχι μόνο το προϊόν αλλά και ολόκληρος ο κύκλος ζωής του θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος για να βελτιστοποιεί την επαναφορά και επαναχρησιμοποίηση των πόρων.
2. Scale: Επαρκής αριθμός μεταχειρισμένων οχημάτων θα πρέπει να είναι διαθέσιμος ώστε να είναι δικαιολογημένες οι επενδύσεις στην υποδομή της ανακύκλωσης.
3. Policy: Κανονισμοί θα πρέπει να απαγορεύουν την ακατάλληλη δημιουργία αποβλήτων και θα πρέπει να παρέχονται κατάλληλα κίνητρα ώστε οι παραγωγοί να ανακυκλώνουν τόσο τα δικά τους προϊόντα όσο και προϊόντα ανταγωνιστών.
4. Collection: Θα πρέπει να είναι δυνατή η ενσωμάτωση της συλλογής των χρησιμοποιημένων προϊόντων μέσω των ίδιων διαύλων και συνεργατών που διακινούνται και τα νέα προϊόντα.
5. Cost: Τεχνολογίες ευνοϊκές τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία των επιχειρήσεων θα πρέπει να ενισχύσουν την προσπάθεια για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση.

6. Continuous improvement: Ικανότητα για αναγνώριση, παρακολούθηση και προσαρμογή σε κινδύνους και ευκαιρίες που μπορούν να μειώνουν ή να αυξάνουν δυνητικά αντίστοιχα αξία.

3.7.5 Βιβλιογραφία για συγκεκριμένα εξαρτήματα και καύσιμα

Πέραν αυτών, πολλή βιβλιογραφία έχει καταπιαστεί με τη βελτίωση και αντικατάσταση εξοπλισμού των οχημάτων και συγκεκριμένων εξαρτημάτων, ή με τα καύσιμα τους. Ακολουθεί πίνακας με τη σχετική βιβλιογραφία και το μέρος του οχήματος με το οποίο ασχολείται.

Συγγραφέας, Έτος	Εξάρτημα του οχήματος/Καύσιμο
(Cucchiella et al., 2016b)	Ανακύκλωση πλακετών τυπωμένου κυκλώματος
(Wurster & Schulze, 2020)	EOL λάστιχα
(Baars et al., 2021)	Στρατηγικές για μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων
(Arnault et al., 2017)	Πρώτο πλαστικό φίλτρο καυσίμου diesel χρησιμοποιώντας 100% ανακυκλωμένο πολυμερές
(Helin, 2020)	Δαγκάνα φρένων
(Pissot et al., 2019)	Θερμοχημική ανακύκλωση του τεμαχιστή υπολειμμάτων για αυτοκινητοβιομηχανία
(Riegel et al., 2002)	Αισθητήρες εξάτμισης αερίων για έλεγχο των εκπομπών των οχημάτων
(Bobba, Di Torino, et al., 2018)	Εφαρμογές μεταχειρισμένων μπαταριών για αυτοκινητοβιομηχανία
(Pagliaro & Meneguzzo, 2019)	Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση μπαταριών λιθίου
(Richa et al., 2017)	Ανάλυση της οικολογικής απόδοσης της ιεραρχίας των αποβλήτων από μπαταρίες ιόντων λιθίου
(Groenewald et al., 2017)	Επιταχυνόμενη μέτρηση της ενεργειακής χωρητικότητας των μορίων των ιόντων λιθίου
(Comamala et al., 2018)	Οικονομία του ρεύματος και του καυσίμου μιας ακτινικής θερμοηλεκτρικής γεννήτριας για την αυτοκινητοβιομηχανία

<i>(Cucchiella et al., 2016a)</i>	Κομμάτια αυτοκινητοβιομηχανικού εξοπλισμού ηλεκτρονικών
<i>(Pacheco et al., 2020)</i>	Συμπαγής θερμοηλεκτρική γεννήτρια οχημάτων με ενσωματωμένους σωλήνες θερμότητας για θερμικό έλεγχο
<i>(Banov & Shirov, 2020)</i>	Καινοτόμες μπαταρίες μολύβδου-αέρα-οικολογικότερη εναλλακτική στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος για εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία
<i>(Hu et al., 2008)</i>	Βιοκαύσιμα με βάση τη σόγια
<i>(Velázquez-Martínez et al., 2019)</i>	Lithium-ion battery recycling processes Διαδικασίες ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου
<i>(Antonίου & Zorpas, 2019)</i>	Πετρέλαιο από πυρόλυση ελαστικών
<i>(Song et al., 2020)</i>	Θερμοχημική υγροποίηση αποβλήτων της γεωργίας και των δασών σε βιοκαύσιμα

3.7.6 Ενεργειακή σκοπιά

Η ενέργεια που επιστρατεύεται σε μία μονάδα αυτοκινητοβιομηχανίας μπορεί να διαχωριστεί σε πρωτεύουσα και δευτερεύουσα για διάφορες λειτουργίες και εφαρμογές. Οι πρωτεύουσες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι ο ηλεκτρισμός και το καύσιμο, ενώ παραδείγματα δευτερευουσών πηγών είναι ο συμπιεσμένος αέρας, το καυτό και το κρύο νερό και ο ατμός, πηγές οι οποίες προκύπτουν από τις πρωτεύουσες ώστε να αποδώσουν ενέργεια στη μονάδα. Φυσικά, εξαιτίας της διαφορετικότητας των μοντέλων οχημάτων, του όγκου, της διαθεσιμότητας εξωτερικών προμηθευτών, των πηγών ενέργειας, της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του κλίματος, οι κατασκευαστές τείνουν να υιοθετούν διαφορετικές διαδικασίες παραγωγής και υλικά ανάλογα με την περίσταση και τις συνθήκες. Ακολουθεί παρουσίαση της κατανομής της ενέργειας στις μονάδες στη γενική περίπτωση.

Ηλεκτρισμός:

1. Συμπιεσμένος αέρας:
 - a) Μεταφορείς
 - b) Σύστημα συλλογής
 - c) Αφαίρεση πτητικών οργανικών χημικών ενώσεων
 - d) Ψεκασμός χρωμάτων
2. Παγωμένο νερό:
 - a) Air conditioning

- b) Χώρος ανάμιξης βαφών
- 3. Διαχείριση υλικών
- 4. Βαφή (ανεμιστήρες, συντήρηση και λοιπά)
- 5. Συγκολλήσεις
- 6. Μορφοποίηση μετάλλων
- 7. Εξαερισμός
- 8. Φωτισμός

Καύσιμο:

- 1. Ατμός:
 - a) Βαφή
 - b) Θέρμανση χώρου
 - c) Πλύσιμο αυτοκινήτων
 - d) Δραστηριότητες άσχετες με την κατασκευή
- 2. Καυτό νερό:
 - a) Προεπεξεργασία (βαφή)
 - b) Θέρμανση χώρου
- 3. Χύτευση μετάλλων
- 4. Άμεση θέρμανση χώρου
- 5. Αφαίρεση πτητικών οργανικών χημικών ενώσεων
- 6. Φούρνοι

Εξαιτίας της εκτεταμένης κατανάλωσης των φορέων δευτερεύουσας ενέργειας, οι περισσότερες μονάδες παραγωγής οχημάτων δίνουν ενέργεια στις γραμμές παραγωγής τους μέσω on-site μετατροπών ενέργειας και συστημάτων μετάδοσης (Feng et al., 2016). Η ηλεκτρική ενέργεια και ο ατμός συνήθως παράγονται σε κεντρικές τοποθεσίες και στη συνέχεια μεταφέρονται στις επιμέρους εγκαταστάσεις. Αντίθετα, τα συστήματα που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο αέρα και γεννήτριες συνήθως βρίσκονται πιο κοντά στο χώρο που καταναλώνονται.

Η ηλεκτρική ενέργεια για τις εγκαταστάσεις και τα κοινά συστήματα ολόκληρης της μονάδας υποδομής συνήθως διανέμεται σε βαφή (27%-50%), θέρμανση, εξαερισμό και air-conditioning (11%-20%), φωτισμό (14%-15%), συμπιεσμένο αέρα (9%-14%), συγκολλήσεις (9%-11%) και εργαλεία διαχείρισης υλικών (7%-8%) (Galitsky & Worrell, 2008). Σε γενικές γραμμές η χρήση των κοινών εγκαταστάσεων μίας μονάδας γίνεται ως εξής:

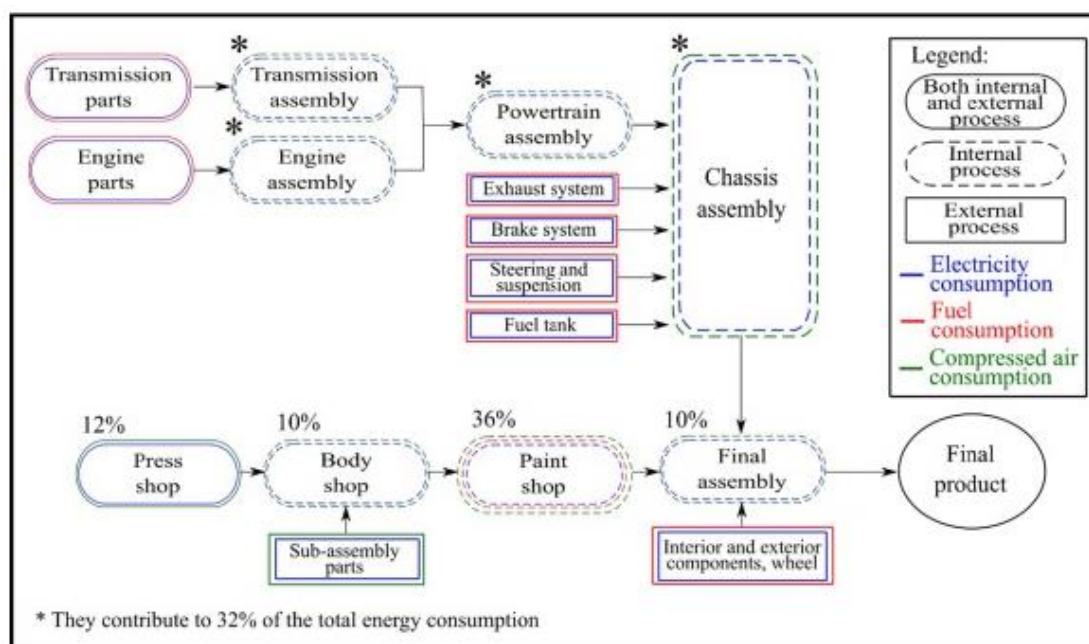
- Η κατανάλωση ενέργειας για το φωτισμό εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης, της δομής του κτιρίου και της διαθεσιμότητας του φυσικού φωτός

(Feng, 2016). Εγκαταστάσεις με έντονη χειρωνακτική εργασία καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια για φωτισμό.

- Οι μονάδες εξαερισμού και κλιματισμού προμηθεύουν τους θαλάμους βαφής και τους εργασιακούς χώρους με αέρα. Είναι πολύ σημαντική η βέλτιστη λειτουργία των μονάδων αυτών ώστε να διασφαλιστεί η παραγωγικότητα των εργατών και η ποιότητα της βαφής του τελικού προϊόντος
- Οι κινητήρες αποτελούν μία από τις ομάδες με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε μία παραγωγική μονάδα, ιδιαίτερα στα σημεία συναρμολόγησης. Βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορα συστήματα και διαδικασίες όπως το stamping.
- Ο ηλεκτρισμός που καταναλώνεται για διαχείριση υλικών και εργαλεία σχετίζεται με μεταφορείς και ρομπότ. Οι μεταφορείς μεταφέρουν υλικά, εξαρτήματα και εξοπλισμό μετατρέποντας την ηλεκτρική σε μηχανική ενέργεια. Φυσικά, το πόσο καταναλώνουν είναι άμεσα εξαρτώμενο από της ένταση και τον χρόνο κατά τον οποίο δουλεύουν (Alkadi & Kissock, 2011). Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση βαριού εξοπλισμού ή βαφής κατά τις διαδικασίες σφράγισης και βαφής. Παράγοντες όπως το μήκος και η ταχύτητα του υλικού που μετακινείται, η απόδοση των κινητήρων και άλλα σχετικά καθορίζουν το πόση ενέργεια απαιτείται και καταναλώνεται.
- Οι ανεμιστήρες είναι υπεύθυνοι για την υψηλή κατανάλωση ενέργειας σε μία μονάδα αυτοκινητοβιομηχανίας, ιδιαίτερα σε διαδικασίες βαφής, δεδομένου ότι απαιτούνται υψηλά επίπεδα ροής εξαερισμού του αέρα. Επίσης, στα σημεία βαφής χρησιμοποιούνται αντλίες για την τροφοδοσία κρύου ή καυτού νερού στις μονάδες τροφοδοσίας αέρα (Romagnoli, 2016).
- Τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα είναι επίσης πολύ συνηθισμένα για όλη την κατασκευαστική μονάδα. Χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες λειτουργίες όπως η συναρμολόγηση και η βαφή και για διαφορετικές εφαρμογές ,όπως κινητήρες, καθάρισμα, σπρέι (Çanka Kılıç et al., 2018). Παρά το ότι ο συμπιεσμένος αέρας είναι καθαρός και ασφαλής είναι ταυτόχρονα και εξαιρετικά αναποτελεσματικός αφού μόλις το 10% της ισχύος εισόδου μετατρέπεται σε χρήσιμη ενέργεια.
- Διάφορες τεχνικές συγκολλήσεων χρησιμοποιούνται επίσης πολύ στη βιομηχανία για να διατηρηθεί μία μόνιμη σύνδεση μεταξύ των τμημάτων του οχήματος. Η κατανάλωση ενέργειας αυτών είναι άμεση συνάρτηση της ποσότητας των εξαρτημάτων που παράγονται σε ένα χρονικό διάστημα. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ελαφρύτερα και δυνατότερα υλικά απαιτεί να γίνουν προσαρμογές στις διαδικασίες συγκόλλησης που χρησιμοποιούνται από τους κατασκευαστές.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας σε μία συμβατική μονάδα παραγωγής οχημάτων (Seog-Chan, 2018).

Παρακάτω σχήμα: *Συνολική κατανάλωση ενέργειας σε μία συμβατική μονάδα παραγωγής οχημάτων (Seong-Chan, 2018).*



Η εκτίμηση της κατανάλωσης της ενέργειας μέσω ειδικών μοντέλων είναι παράγοντας κλειδί για την βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη μείωση της ενέργειας που απαιτείται και για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών στις κατασκευαστικές μονάδες. Ένα τέτοιο μοντέλο που χρησιμοποιείται αναπτύχθηκε από τον (Boyd, 2014) και υιοθετεί δείκτες απόδοσης, γνωστούς σαν δείκτες απόδοσης ενέργειας (EPIs) προκειμένου να εκφράσει την ενέργεια που καταναλώνεται ανά όχημα που παράγεται (MWh/όχημα). Μία ενδιαφέρουσα στατιστική μέθοδο ανέπτυξαν και οι (Oh & Hildreth, 2014) που συνδυάζει στοχαστική συνοριακή ανάλυση (SFA) με data envelopment ανάλυση (DEA) ώστε να συσχετίσουν την απόδοση των στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας εντός κατασκευαστικών μονάδων.

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ενσωματώσει συστήματα διαχείρισης ενέργειας, ποιότητας και περιβαλλοντικά συστήματα όπως προτείνεται από τους παγκόσμιους οργανισμούς ISO. Ωστόσο, δεδομένου ότι οι οδηγίες συνεχώς ανανεώνονται, για να συμβαδίσουν με τις νέες χρειάζεται μία συνεχής προσαρμογή η οποία επιτυγχάνεται μέσω συνεχών εξονυχιστικών αναλύσεων που γίνονται σε ενεργειακά-σχετιζόμενες διαδικασίες. Ορισμένες από τις στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για αυτή την προσαρμογή είναι οι εξής:

- Συστήματα που συνδυάζουν ισχύ και θέρμανση (CHP systems), τα οποία οι κατασκευαστές εκμεταλλεύονται για την ταυτόχρονη προμήθεια ηλεκτρισμού, ατμού και θέρμανσης και ανακτούν την θερμική ενέργεια η οποία διαφορετικά θα είχε

σπαταληθεί για την παραγωγή ατμού ή καυτού νερού (*Economical Alternative / Article / Automotive Manufacturing Solutions*, n.d.). Η χρήση τέτοιων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει στη μείωση του κόστους παραγωγής και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ιδιαίτερα διαδικασιών παραγωγής που απαιτούν υψηλή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον αποδοτικότητα μπορεί να διασφαλιστεί και μέσω του συνδυασμού CHP συστημάτων με τεχνολογίες απορρόφησης ψύξης.

- Εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης για αυτοματισμούς στις αυτοκινητοβιομηχανίες, οι κινητήρες ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συστήματα ελέγχου της ταχύτητας τους (VSD), που μειώνουν την ταχύτητα τους ελέγχοντας την τερματική τάση του στάτη, μπορούν να έχουν ευεργετικά αποτελέσματα. Μάλιστα, η General Motors ήταν μία από τις πρώτες κατασκευαστικές εταιρείες που εισήγαγαν τέτοια συστήματα κινητήρων για να βοηθήσουν την ψύξη συστημάτων αντλιών και την ομαλή και ακριβέστερη λειτουργία ανεμιστήρων.
- Οι μεταφορείς χρησιμοποιούνται εκτενώς στις μονάδες για τη μεταφορά υλικών και ευθύνονται και αυτοί σε μεγάλο βαθμό για την υψηλή κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που μπορεί να περιοριστεί με καλά σχεδιασμένα συστήματα. Πιθανές λύσεις για το θέμα αυτό είναι η ενίσχυση των μεταφορέων με πιο αποδοτικά τμήματα όπως αδρανοποιητές, συστήματα πλοήγησης και ζώνες/αλυσίδες (Feng et al., 2015).
- Ο αποδοτικός φωτισμός όπως η χρήση LED, η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός, η χρήση αυτόματων συστημάτων ελέγχου με φως και αισθητήρες κίνησης, μπορεί να μειώσει τη θερμότητα του κτιρίου και σαν επακόλουθο και την απαιτούμενη ενέργεια.
- Αποκατάσταση μηχανικής ενέργειας με τη χρήση σφονδύλων (flywheels) στο τμήμα συναρμολόγησης είναι μία τεχνική παρόμοια με εκείνη που εφαρμόζεται στη Formula 1 για κινητικά συστήματα. Συγκριτικά με τις μπαταρίες, μπορούν να επιφέρουν μία 40% παραπάνω αύξηση της αποθηκευμένης ενέργειας (Hedlund et al., 2015).
- Σχετικά με τον εξαερισμό και τον κλιματισμό, τεχνικές βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης περιλαμβάνουν υψηλής απόδοσης ψυγεία, ηλιακή ενέργεια για θέρμανση, ανάκτηση κρύου νερού από άλλες πηγές, ρύθμιση θερμοκρασίας τις ημέρες μη λειτουργίας της μονάδας και τεχνολογίες ικανές να ελέγξουν τη θερμοκρασία και την υγρασία εκμεταλλευόμενη τη θερμότητα που είναι διαθέσιμη στη μονάδα.

- Εναλλακτικές στρατηγικές για αντικατάσταση των συστημάτων συμπιεσμένου αέρα τα οποία, όπως έχει ήδη επισημανθεί, είναι πολύ αναποτελεσματικά.
- Για τον ατμό και τα μπόιλερ για καυτό νερό, οι πρακτικές βασίζονται σε αρχές όπως η συντήρηση, ο βελτιωμένος έλεγχος (αποσβεστήρες για έλεγχο της ροής σύμφωνα με τη λειτουργία) και μειωμένες απώλειες ενέργειας. Ακόμα και τα VSD μπορούν να συνδράμουν στην αύξηση της απόδοσης των μπόιλερ μειώνοντας την ταχύτητα των ανεμιστήρων. Μπορούν να επιφέρουν εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας έως και 60%.
- Η διαδικασία συγκόλλησης στις μονάδες είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένη. Η ενεργειακή απόδοση για αυτή έχει επιτευχθεί μέσω του ελέγχου και της χρήσης κατάλληλων τεχνολογιών συγκόλλησης, όπως η RAFFT που αφορά την επεξεργασία και μορφοποίηση μετάλλων.

3.7.7 Οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους (End-of-Life Vehicles - ELVs)

Ένα πολύ μεγάλο κεφάλαιο για τη βιωσιμότητα της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι η διαχείριση των οχημάτων που φτάνουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους (ELVs). Τα ELVs αποτελούν μία ομάδα οχημάτων συνήθως άνω των 10 χρόνων των οποίων τα εξαρτήματα δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη αξία πια. Υπάρχουν και τα P-ELVs, τα οποία είναι νεότερα οχήματα, συνήθως κάτω από 10 χρόνια με αξιοσημείωτη αξία των επιμέρους τμημάτων που τα αποτελούν. Παρατίθεται μία περιγραφή διαδικασιών και ενεργειών που οφείλουν να ακολουθούν οι stakeholders των EOL οχημάτων, ανάλογα και με το αν τα οχήματα ανήκουν στην κατηγορία των ELVs ή των P-ELVs, προκειμένου να βελτιώσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αυτών και να επωφεληθούν και οι ίδιοι κλείνοντας το βρόχο του κύκλου ζωής ορισμένων εξαρτημάτων τους (Gedda & Malmström, n.d.):

Για τα ELVs: Ο εκάστοτε ιδιοκτήτης θα πρέπει να μεταφέρει το όχημα του σε έναν σταθμό αποσυναρμολόγησης και αποσύνθεσης του χωρίς χρέωση (υπό συνθήκες). Αφού το παραλάβει ο υπεύθυνος του σταθμού (dismantler) αποδεχόμενος τη μηδενική χρέωση, εξασφαλίζει ότι λαμβάνει σωστή περιβαλλοντική αντιμετώπιση. Σε κάποιες περιπτώσεις, αποσυναρμολογεί το όχημα για να πάρει υλικά, ρεζέρβες ή εξαρτήματα και παραδίδει το «κουφάρι» του αυτοκινήτου σε έναν shredder όπως λέγεται. Τα τμήματα και τα υλικά που απέσπασε μπορεί να τα διαθέσει σε ιδιώτες ή σπανιότερα σε συνεργεία. Με τη σειρά του ο shredder αγοράζει το άχρηστο όχημα από τον dismantler, το οποίο και διαλύει σε διαφορετικά κομμάτια, εκ των οποίων τα κύρια και μεγαλύτερα αποτελούνται από πολύτιμα

μέταλλα και υλικά, ενώ άλλα συνδέονται με κόστη δημιουργίας αποβλήτων και τοποθετούνται στις χωματερές.

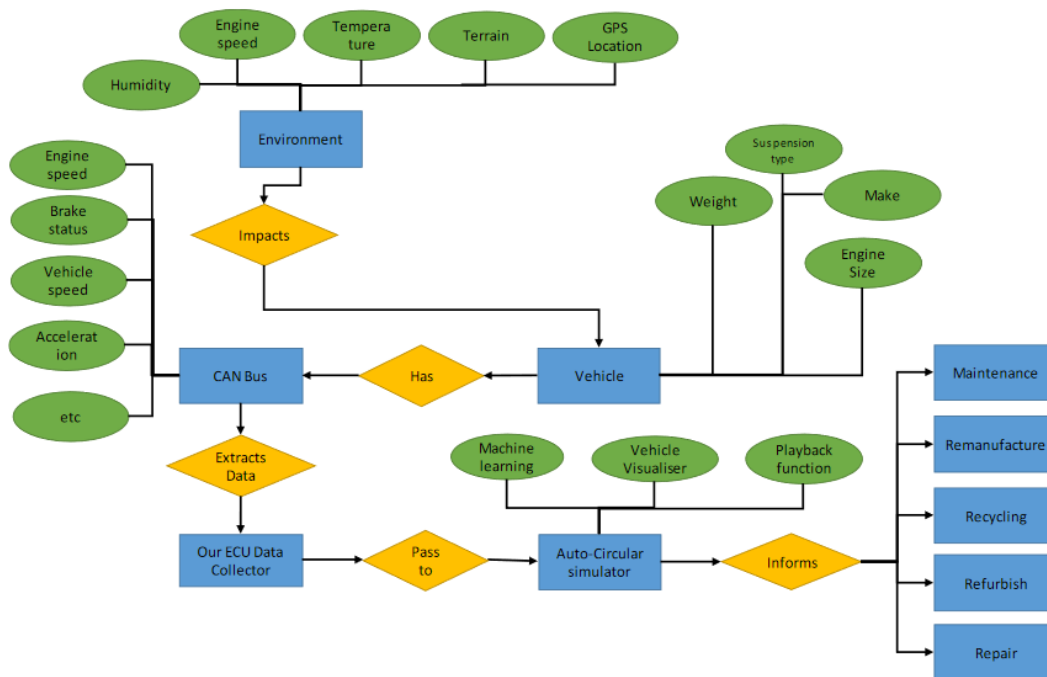
Για τα P-ELVs: Ο ιδιοκτήτης μεταβιβάζει την κυριότητα του οχήματος σε μία ασφαλιστική εταιρεία δεδομένου ότι το όχημα είναι ακατάλληλο για χρήση, και λαμβάνει πίσω την αξία του στην αγορά. Αφού η ασφαλιστική εξοφλήσει τον τελευταίο ιδιοκτήτη, πουλάει το όχημα σε έναν dismantler. Φυσικά, πρώτα αποφασίζει βάσει προδιαγραφών για το ποια μεταχειρισμένα εξαρτήματα του οχήματος μπορούν να φανούν χρήσιμα σε ένα συνεργείο το οποίο τα χρησιμοποιεί για τα σχετικά με την ασφαλιστική ζητήματα του. Το συνεργείο με τη σειρά του κάνει μία εκτίμηση των ζημιών και του κόστους επισκευής του. Αποτελεί ταυτόχρονα και τον μεγαλύτερο πελάτη του dismantler για τα μεταχειρισμένα εξαρτήματα. Ο dismantler, όπως αναφέρθηκε, αγοράζει το όχημα από την ασφαλιστική εταιρεία. Όπως και στα ELVs έτσι και εδώ ευθύνεται για την κατάλληλη περιβαλλοντική αντιμετώπιση του οχήματος, και δίνει το όχημα στον shredder αφού επιλέξει αν θα διαθέσει κάποια εξαρτήματα σε συνεργεία ή σε ιδιώτες (προτεραιότητα στα συνεργεία καθώς τα εξαρτήματα είναι σε καλύτερη κατάσταση στα P-ELVs από ό,τι στα ELVs). Τέλος, ο ρόλος του shredder διαφοροποιείται καθόλου από αυτόν που διαδραμάτισε στη διαδικασία για τα ELVs.

Με αυτό τον τρόπο κάθε stakeholder ενός EOL οχήματος αναλαμβάνει μεν μία ευθύνη, έχει δε και τα αντίστοιχα οφέλη εκτελώντας τις προβλεπόμενες ενέργειες, καθιστώντας το μοντέλο αυτό κυκλικής οικονομίας υλοποιήσιμο.

3.7.8 Ψηφιακή τεχνολογία και αυτοκινητοβιομηχανία

Έχει ήδη γίνει λόγος για την ψηφιοποίηση της Κυκλικής Οικονομίας και τη Βιομηχανία 4.0, σε αυτή την ενότητα, λοιπόν, θα συγκεκριμενοποιηθεί η ψηφιοποίηση μιλώντας για την εφαρμογή της στην κυκλική παραγωγή εξαρτημάτων οχημάτων μέσα από ένα framework από τους (C. Turner et al., 2020):

Παρακάτω σχήμα: *Πλαίσιο υλοποίησης της ψηφιοποίησης στην κυκλική παραγωγή εξαρτημάτων οχημάτων (C. Turner et al., 2020).*



Το καθολικό αυτό framework σχεδιάστηκε μετά από ανασκόπηση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας για τα ακόλουθα πεδία: συντήρηση, εργοστασιακή βιωσιμότητα, κυκλική παραγωγή, σχεδιασμός κυκλικών εξαρτημάτων. Μέσω αυτής της ανασκόπησης κατέστη δυνατή η άντληση, με τη βοήθεια ανάλυσης και διαβούλευσης εμπειρογνομόνων της αυτοκινητοβιομηχανίας, ενός συνόλου παραμέτρων που περιγράφουν επαρκώς την κυκλικότητα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ενός κατασκευασμένου περιουσιακού στοιχείου. Η εν λόγω κατηγορία περιουσιακού στοιχείου είναι αυτή των οχημάτων και επιλέχθηκε εξαιτίας του σύνθετου χαρακτήρα της και της δυνατότητας της να επωφεληθεί από την εξέταση της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μέσω κυκλικών τεχνικών παραγωγής. Το παραπάνω framework αναπτύχθηκε από αυτό το προαναφερθέν σύνολο προσδιορισμένων παραμέτρων που είναι διαθέσιμα από τα σύγχρονα προϊόντα της αυτοκινητοβιομηχανίας μέσω των θεμελιωδών «συστατικών» από τα οποία αποτελούνται. Στο πλαίσιο που απεικονίζεται τα διαφορετικά κομμάτια του γραφήματος έχουν αναγνωριστικά χρώματα. Συγκεκριμένα, τα πράσινα οβάλ αντιπροσωπεύουν κατηγορίες παραμέτρων, τα μπλε ορθογώνια στο κέντρο εξαρτήματα και συγκροτήματα εξαρτημάτων και τα μπλε ορθογώνια στα δεξιά use cases για τα επεξεργασμένα δίκτυα. Επιπλέον, οι κίτρινοι ρόμβοι εμφανίζουν τις ενέργειες στις ροές δεδομένων. Στην πράξη, το πλαίσιο καθιστά δυνατή μία καθολική απεικόνιση των σύνθετων ροών δεδομένων που προέρχονται από μεμονωμένα τμήματα και ομάδες εξαρτημάτων. Η συλλογή δεδομένων από γενικούς αισθητήρες οχημάτων (όπως αυτοί που περιγράφουν περιβαλλοντικούς παράγοντες σαν τη θερμοκρασία και το έδαφος) μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω Controller Area Network (CAN bus). Αυτό το αποκεντρωμένο δίκτυο είναι ένα ισχυρό πρότυπο διόδου που επιτρέπει

την διάδοση ενός αριθμού από δεδομένα ανάμεσα σε microcontrollers εντός του οχήματος (Dellantoni et al., 2020). Τα ECUs (Electronic Control Unit) των οχημάτων μπορούν να παρέχουν μία γενική διεπαφή στις ροές αυτές των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες που συνδέονται μέσω του CAN bus. Το framework αυτό προτείνει μία μονάδα προσομοίωσης για την κυκλικότητα του οχήματος (Auto-circular simulator) που θα είναι υπεύθυνη για τα στατιστικά και τα analytics που απαιτούνται ώστε να παραχθούν επεξεργασμένα δεδομένα, σει αποτελεσμάτων και what-if σενάρια που αφορούν την κυκλική συντήρηση, την ανακατασκευή, και τα συστήματα ανακύκλωσης. Η διεπαφή αυτού του προσομοιωτή θα έχει τη μορφή πίνακα δεδομένων, παρέχοντας παραδοσιακά διαγράμματα και σημεία data mining σε συνδυασμό με γραφήματα προσομοιώσεων επιτρέποντας έναν what-if πειραματισμό σε αυτά (χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης). Ο προσομοιωτής επίσης θα μπορεί να δώσει αποτελέσματα και αναφορές προόδου σε τεχνικές οπτικοποίησης μικτής πραγματικότητας, επιτρέποντας στους χρήστες, μέσω ακουστικών, να δουν τα πιθανά αποτελέσματα των σεναρίων που δοκίμασαν στον προσομοιωτή (πριν την υποβολή των επεξεργασμένων δεδομένων στους χρήστες της κυκλικής οικονομίας) (C. J. Turner et al., 2016).

Οι (Tsybunov et al., 2018) υποστηρίζουν ότι η χρήση ECU στα οχήματα είναι περιορισμένη εξαιτίας της εντύπωσης ότι έχουν περιορισμένη δυναμική και δυνατότητα για μελλοντική αναβάθμιση της λειτουργικότητας τους. Σε απάντηση αυτής της περιορισμένης δυνατότητας εξετάζουν την πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί τηλεματική λειτουργικότητα για επί-τόπου διάγνωση των σφαλμάτων των οχημάτων και προτείνουν την συλλογή δεδομένων από εξαρτήματα που έχουν βλάβη μέσω κέντρων υπηρεσιών για την ανάπτυξη βελτιωμένων διαγνωστικών και προγνωστικών σε πρακτικές συντήρησης. Ένα τυπικό οικογενειακό αυτοκίνητο αποτελείται από 150 ECUs που παρακολουθούν ποικίλες πτυχές και μεταβλητές του οχήματος όπως η επίβλεψη, η ρύθμιση και η τροποποίηση της λειτουργίας των ηλεκτρονικών συστημάτων του αυτοκινήτου, τα καύσιμα, το σύστημα μη εμπλοκής κατά την πέδηση και άλλα. Τα ECUs επίσης περιλαμβάνουν αισθητήρες που μετρούν διάφορες μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα, η επιτάχυνση και οι στροφές του κινητήρα. Το προτεινόμενο framework αναγνωρίζει επίσης την ανάγκη για την αναγνώριση εξαρτημάτων για αποφάσεις EOL και επαναχρησιμοποίησης/ανακατασκευής. Επίσης, επισημαίνει το διαχωρισμό ανάμεσα στην επισκευή και τη συντήρηση, αφού η συντήρηση είναι κρίσιμη για πραγματικά κυκλικά συστήματα παραγωγής σε αντίθεση με το να προσθέτεις αντίστροφες ροές στην αλυσίδα στα κοινότυπα συστήματα παραγωγής μέσω της επισκευής (Takata, 2013). Για το σκοπό αυτό, το framework θα μπορεί να διασταυρώσει αριθμούς και κώδικες εξαρτημάτων αναφοράς ώστε να μπορεί να καθορίσει τη σύνθεση και να παραμετροποιήσει

της οδηγίες συναρμολόγησης/αποσυναρμολόγησης (αν φυσικά υπάρχουν τέτοια έγγραφα) μέσω της χρήσης τεχνικών text mining.

Με τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό να συρρικνώνεται από πλευράς μεγέθους και με τις απαιτούμενες μειώσεις στο κόστος ανά μονάδα, ένα μεγαλύτερο σύνολο παραμέτρων μπορεί να αποθηκεύεται για διαγνωστικούς σκοπούς. Επιπρόσθετα, το CAN bus ενισχύει την πιθανότητα εξόρυξης δεδομένων από συγκεκριμένα ECUs για σκοπούς παρακολούθησης της οδηγικής συμπεριφοράς του οδηγού (Wang et al., 2020) (Evin et al., 2020). Αυτό ανοίγει τη δυνατότητα της συλλογής δεδομένων κατά τη χρήση του οχήματος καθώς και την υποβάθμιση σε βάθος χρόνου. Μέσω της χρήσης προσομοιώσεων και ψηφιακών διδύμων, η έρευνα αυτή προτείνει την αξιοποίηση των δεδομένων που υπάρχουν στα ECUs για την παρακολούθηση των συνθηκών χρήσης του οχήματος και για την παροχή πληροφοριών σχετικά με το ποια εξαρτήματα είναι κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση, ανακατασκευή ή χρήζουν επισκευής. Αυτός ο συνδυασμός αισθητήρων, τεχνολογίας επικοινωνίας δικτύων και αναλυτικών προσομοιώσεων θα φανούν εξαιρετικά βοηθητικά στην εφαρμογή μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας στην αυτοκινητοβιομηχανία. Με αυτό τον τρόπο οι εταιρείες του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας θα μπορέσουν να ανταποκριθούν στις πιέσεις που δέχονται να φέρουν νέα μοντέλα στην αγορά ώστε να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Η συντήρηση, η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή και ανακατασκευή τμημάτων οχημάτων υποστηριζόμενη από ψηφιακές τεχνολογίες μπορεί να μειώσει την επιβάρυνση της εφοδιαστικής αλυσίδας (μέσω της μείωσης στα κόστη) καθώς και να αυξήσει τα κοινωνικά διαπιστευτήρια και τις ενδείξεις βιωσιμότητας. Συνολικά, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα κέρδη για τις εταιρείες που χρησιμοποιούν τις δυνατότητες αυτού του framework στο έπακρο.

3.7.9 Προκλήσεις στην ανακατασκευή στην αυτοκινητοβιομηχανία

Οι εταιρείες που καταπιάνονται με την ανακατασκευή (remanufacturing) αντιμετωπίζουν σήμερα ένα μεγάλο εύρος προκλήσεων και δυσκολιών από τις σκοπιές των προμηθευτών, των παραγωγών και των πελατών. Πολλά βήματα διαδικασιών αναλύονται και τα πεδία των προβλημάτων διαχωρίζονται σε πολλές κατηγορίες: από την κεντρική, βασική διαχείριση, στην αποσυναρμολόγηση και στον καθαρισμό, στη μηχανοποίηση και στο testing (Casper & Sundin, 2018).

3.7.9.1 Προβλήματα σύνδεσης με τους προμηθευτές:

Η ζήτηση για ανακατασκευασμένα εξαρτήματα συχνά ανακοινώνεται από την πλευρά των εταιρειών σε πολύ αρχικό στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, δεν υπάρχει όμως άμεση

ανταπόκριση από την πλευρά των κατασκευαστών. Η γραμμή παραγωγής του νέου ανταλλακτικού τρέχει, αλλά το τμήμα μεταπώλησεων ακόμα δεν το έχει λάβει υπόψη στις βάσεις δεδομένων του.

Επίσης, τέτοια κομμάτια δεν αποθηκεύονται στις κεντρικές αποθήκες. Οι αυθεντικοί κατασκευαστές των ανταλλακτικών σε αυτό το σημείο προμηθεύουν μόνο τις γραμμές παραγωγής. Συχνά δεν υπάρχουν καν συμβόλαια μεταξύ των κατασκευαστών των ανταλλακτικών και του οργανισμού μεταπώλησης αυτών. Η συχνότητα της διανομής, ο τύπος της συσκευασίας, το περιεχόμενο και η σκοπιά της διανομής δεν είναι προσαρμόσιμα στη ζήτηση των ανταλλακτικών από τους ανακατασκευαστές. Αυτοί είναι λόγοι εξαιτίας των οποίων συχνά μπορεί να μη γίνει η προμήθεια ορισμένων ανταλλακτικών παρά το ότι ακόμα γίνεται η παραγωγή και η χρήση τους σε σειριακές γραμμές παραγωγής. Ακόμη, σε πολλές περιπτώσεις η συσκευασία και το μέγεθος της μπορεί να μην είναι συμβατή με διαδικασίες ανακατασκευής. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται σε 2 περιπτώσεις:

- Στη σειριακή παραγωγή ανακατασκευασμένων προϊόντων: Μερικές φορές τα εξαρτήματα είναι διαθέσιμα στην αγορά αλλά παρέχονται σε μορφή μη συμβατή με σειριακές διαδικασίες. Οι παρτίδες που διανέμονται είναι μικρές, οι διαδικασίες των logistics των κεντρικών αποθηκών των προμηθευτών δεν είναι σχεδιασμένες για μεγαλύτερη ζήτηση μικρών ποσοτήτων ανταλλακτικών και ο τύπος της συσκευασίας προσαρμόζεται μόνο για μικρού όγκου χρήσεις.
- Σε παραγωγές μικρών παρτίδων και σε 1 προς 1 ανακατασκευή.

3.7.9.2 Προβλήματα και κίνδυνοι στη διαχείριση βασικών εξαρτημάτων:

- Ακόμα και αν το προγραμματισμένο αποτέλεσμα είναι γνωστό, πρέπει να αποκτηθούν επιπλέον βασικά τμήματα του προϊόντος ώστε να υπάρξει ανταπόκριση σε επιστροφές πελατών από τις οποίες κάτι λείπει συγκριτικά με αυτά που έχουν συμφωνηθεί. Τα ελάχιστα επίπεδα αποθέματος θα πρέπει να παραμένουν υψηλά, ακόμα και αν αυτό είναι επιβαρυντικό από οικονομικής άποψης.
- Η ποιότητα των βασικών εξαρτημάτων που επιστρέφονται από τους πελάτες δεν είναι ξεκάθαρη ή εξασφαλισμένη.
- Η ανάγκη για τέτοια κομμάτια του πυρήνα ενός προϊόντος και η αξία τους δεν είναι γνωστή και σεβαστή από όλη την πλευρά των κατασκευαστών
- Η πολυπλοκότητα των διαθέσιμων αυτών αντικειμένων είναι μεγάλη και οδηγεί σε μία αχανή προσπάθεια. Αυτή η πολυπλοκότητα θα πρέπει να αντιμετωπιστεί, καθώς

η αναγνώριση των ανταλλακτικών συνεχώς δυσκολεύει και τα επίπεδα του αποθέματος συνεχώς αυξάνονται.

- Η ακριβής ημερομηνία κατά την οποία το εξάρτημα επιστρέφεται από τον πελάτη και τίθεται στη διάθεση της διαδικασίας της παραγωγής είναι δύσκολο να προσδιορισθεί. Τα συστήματα που είναι υπεύθυνα για να προβλέψουν αυτό το χρονικό σημείο ακόμα δεν έχουν βρει κατάλληλες τεχνικές για να το κάνουν με συνέπεια. Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συζητούνται και τσεκάρονται για να βελτιώσουν αυτό το γεγονός (University of Sussex, 2017).

3.7.9.3 Προβλήματα και προκλήσεις στα πεδία της υποδοχής του εξοπλισμού, της αναγνώρισης του και των πρώτων οπτικών τεστ:

Αυτή η διαδικασία είναι το πρώτο βήμα της διαδικασίας προστιθέμενης αξίας στην επιχείρηση της ανακατασκευής στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η κακή εκτέλεση αυτής της διαδικασίας οδηγεί σε λανθασμένη αναγνώριση εξαρτημάτων και σε λανθασμένες αποφάσεις σχετικά με την ποιότητα του που με τη σειρά τους προκαλούν προβλήματα στην παραγωγική διαδικασία. Μία μεγάλη πρόκληση στη σημερινή εποχή είναι η διαχείριση της αχανούς ποικιλίας. Μία πρόσφατη έρευνα ενός γερμανικού πανεπιστημίου κατέληξε ότι ο υψηλός αριθμός ορθής αναγνώρισης αντικειμένων για σωστή ανακατασκευή εναπόκειται στη διαχείριση της ποικιλίας και στην επίλυση της πολυπλοκότητας τους.

3.7.9.4 Προβλήματα και προκλήσεις στην αποσυναρμολόγηση, στον καθαρισμό και στη δεύτερη επιθεώρηση των εξαρτημάτων:

Σε αυτό το βήμα της διαδικασίας της ανακατασκευής πρέπει να επιτευχθούν τεχνικές εκτιμήσεις και περιβαλλοντικοί κανονισμοί και στόχοι. Πολλές φορές όμως, τα εξαρτήματα δεν είναι σχεδιασμένα για αποσυναρμολόγηση, ή βασικά τμήματα του εξοπλισμού είναι λερωμένα με λάδια, λίπος, είναι σκουριασμένα και άλλα. Το είδος και ο βαθμός μόλυνσης συνήθως είναι άγνωστη πριν την παραλαβή αυτών των εξαρτημάτων. Η ίδια η διαδικασία καθαρισμού αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τις εταιρείες και συχνά αντιμετωπίζεται σαν βασικότερη αρμοδιότητα και ξεχωριστό χαρακτηριστικό των εταιρειών ανακατασκευής (Sundin et al., 2012).

3.7.9.5 Προβλήματα και προκλήσεις στις διαδικασίες μετασχηματισμού:

Η διαδικασία μετασχηματισμού, που αποτελεί την κύρια διαδικασία κατά την παραγωγή ανακατασκευασμένων προϊόντων, είναι το βήμα με την μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία. Στην

πραγματικότητα δεν είναι μία μόνο διαδικασία. Ανάλογα με το προϊόν και το μέγεθος προστιθέμενης αξία που έχει τη δυνατότητα να περικλείει μπορεί να αποτελείται από περισσότερες διεργασίες. Είναι το κύριο μέλημα και η βασική αρμοδιότητα ολόκληρου του τμήματος αυτού της εταιρείας και το πεδίο στο οποίο οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες που υιοθετούνται θα το ξεχωρίσουν από συγκρινόμενα εταιρικά τμήματα. Φυσικά, μαζί με το μεγάλο ρόλο έρχονται και προβλήματα και μεγάλες ευθύνες (Weiland & Fernand, 2012):

Για διάφορους λόγους προκύπτουν περιπτώσεις κατά τις οποίες εξαρτήματα οχημάτων είτε δεν είναι ακόμα διαθέσιμα ή δεν είναι πια διαθέσιμα. Εδώ μπορεί να βασιστεί η ιδέα της ανακατασκευής για να επωφεληθεί και να δημιουργήσει ενδιαφέρουσες εργασιακές ευκαιρίες.

Παρά το ότι οι υπεύθυνοι του προγραμματισμού της ζήτησης εξαρτημάτων του τμήματος κατασκευαστών δουλεύουν σε πολύπλοκα προγράμματα για να κάνουν σωστό προγραμματισμό έως και της παράδοσης του εξαρτήματος, παρατηρούνται ελλείψεις σε επίπεδο αποθέματος και αδυναμία της δυνατότητας διανομής του προϊόντος. Οι ανακατασκευαστικές εταιρείες μπορούν να γίνουν δυνατότερες αν μπορούν να αντιμετωπίσουν και διαχειριστούν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα εργασιακά μοντέλα (Matsumoto et al., 2012):

- Εντοπισμός και συλλογή σωστών εξαρτημάτων στην κατάλληλη ποιότητα.
- Ανάπτυξη και εφαρμογή μίας ασφαλούς ανακατασκευαστικής διαδικασίας.
- Ανταλλακτικά.
- Διατήρηση δεδομένων, τεχνικών λεπτομερειών και διαγραμμάτων.
- Reverse engineering, σε περίπτωση που δεν είναι γνωστός ο προμηθευτής και δεν υπάρχουν δεδομένα για το προϊόν. Περιλαμβάνει ανάλυση υλικών και πιθανή ανάλυση βελτίωσης.

Μία ακόμη μεγάλη πρόκληση είναι η ανακατασκευή ηλεκτρονικών και μηχανικών εξαρτημάτων. Αυτά τα πολύπλοκα συστήματα πρέπει να κατανοηθούν, πρέπει να αναπτυχθούν τεχνικές για το τσεκάρισμα και την επισκευή τους και πρέπει να βρεθούν και οι πηγές των ανταλλακτικών τους. Είναι μεγάλη πρόκληση για τον εργοστασιακό κλάδο να προσαρμοστεί στη νέα ψηφιακή εποχή, αλλά είναι απαραίτητο να ανταποκριθεί στην πρόκληση αυτή για να παραμείνει στο προσκήνιο.

Τέλος, συχνό είναι το φαινόμενο μηχανικοί να έρχονται αντιμέτωποι με αντικείμενα και υλικά τα οποία καθιστούν πολύ δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη τη διαδικασία ανακατασκευής.

3.7.9.6 Προβλήματα και προκλήσεις στη σύνδεση με τους πελάτες:

Όπως σε κάθε επιχείρηση, έτσι και οι εταιρείες ανακατασκευής έχουν να αντιμετωπίσουν ανταγωνισμό. Γεγονός ευεργετικό για το κοινό καλό, καθώς υποχρεώνει τις επιχειρήσεις να βελτιώνουν τα προϊόντα, τις διαδικασίες και τις υπηρεσίες τους. Στη συγκεκριμένη βιομηχανία, ο ανταγωνιστής συνήθως αυτό που κάνει και είναι δύσκολο να ακολουθηθεί είναι η γραμμή παραγωγής για καινούρια εξαρτήματα. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις οι τιμές των ανακατασκευασμένων αντίστοιχων εξαρτημάτων δεν μπορούν να συγκριθούν με των καινούριων. Αυτό αλλάζει δραστικά στο στάδιο του τέλους παραγωγής (End of Production).

Μία δυνητικά ευεργετική συνθήκη για τις επιχειρήσεις ανακατασκευής είναι η συνεχής άνοδος της αγοράς εγγυήσεων. Αυτό συμβαίνει για 2 λόγους: Αρχικά, από την αναμόρφωση του ευρωπαϊκού νόμου το 2000 όλες οι εταιρείες πρέπει να προσφέρουν στους πελάτες τους τουλάχιστον 2 χρόνια εγγύηση. Έτσι, καθώς οι εταιρείες έπρεπε να επιμηκύνουν τα διαστήματα εγγύησης, μοιραία άνοιξε η αγορά εγγυήσεων. Επίσης, πολλοί κατασκευαστές μεγάλωσαν από μόνοι τους το διάστημα της εγγύησης, ανεβάζοντας το συχνά στα 5-7 χρόνια. Η βιομηχανία πλέον έχει γίνει πολύ ευαίσθητη και σκεπτική με το θέμα του κόστους. Απαιτεί υψηλή απόδοση και υψηλή χρηστική ικανότητα της δυναμικής της παραγωγής με πρακτικές πιεστικές ως προς το κόστος.

Τέλος, η δυνατότητα να «πουλήσει» το concept της ανακατασκευής είναι και αυτό μία μεγάλη πρόκληση. Η προέλευση, οι εμπειρίες, η συμπεριφορά και η φιλοσοφία του κάθε ατόμου-πελάτη συγκρίνεται με την πολιτική της εταιρείας και το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης είναι καθοριστικό στο αν θα γίνει κάποια προσφορά ή θα συνάψουν κάποιο συμβόλαιο. Πρέπει, λοιπόν, η κάθε εταιρεία να προωθήσει σωστά και συνετά τα περιβαλλοντικά, τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα της χρήσης ανακατασκευασμένων εξαρτημάτων

3.7.10 Προτεινόμενη αλληλουχία ενεργειών

Οι εταιρείες οφείλουν να ακολουθήσουν μία σειρά ενεργειών προκειμένου να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα που περιεγραφήκαν παραπάνω αλλά και να ανταποκριθούν και σε άλλες προκλήσεις οι οποίες δεν έχουν επισημανθεί. Μία τέτοια σειρά ενεργειών παρουσιάζεται παρακάτω, όπως γράφθηκε από τους (Casper & Sundin, 2018):

1. Οι εταιρείες ανακατασκευής πρέπει να έχουν ενεργή εκπροσώπηση, με θετική έννοια, σε πολιτικό επίπεδο προκειμένου να ενδυναμωθεί ο κλάδος της ανακατασκευής οχημάτων. Έτσι μπορεί να γίνει εντοπισμός και κατασκευή ξεκάθαρων ορισμών για βασικά εξαρτήματα του πυρήνα προϊόντων και να αποφευχθούν οι ασάφειες σχετικά

με τη φορολογική αξία τους και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που τα αφορούν.

2. Πρέπει να επικεντρωθούν στη συνεχή εκπαίδευση και εξειδίκευση του προσωπικού τους και των μηχανικών τους. Ειδικά στον τομέα των ηλεκτρονικών, το προσωπικό πρέπει να ενθαρρυνθεί ώστε να διευρύνει τους ορίζοντες του. Οι μηχανικοί οφείλουν να έχουν τη γνώση, την ικανότητα και το κουράγιο για καινοτόμες λύσεις ώστε να ξεπεραστούν όλα τα τεχνικά εμπόδια.
3. Η εστίαση σε μία αποδοτική κεντρική διαχείριση θέτει τις βάσεις για μία γενικά πετυχημένη εταιρεία. Πρέπει να γίνεται ενεργή παρακολούθηση των συνθηκών και των γεγονότων και όχι απλώς να αντιδρά στη ζήτηση που υφίσταται.
4. Πρέπει να γνωρίζουν και να αντιδρούν στις θετικές και στις αρνητικές προκλήσεις εξαιτίας της αυξανόμενης ποικιλίας και πολυπλοκότητας. Εξειδίκευση εναντίον γενικών γνώσεων.
5. Μία καλή, ανοικτή, ειλικρινής και αντικειμενική ανταλλαγή μεταξύ των εταιρειών ανακατασκευής και των πελατών τους είναι σημαντική για τη σφυρηλάτηση της σχέσης τους και θα πρέπει να είναι ο στόχος κάθε εταιρείας. Πολλές λεπτομερείς ερωτήσεις σχετικές με την ανακατασκευή είναι αναγκαίο να επεξηγούνται σε άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με το επιχειρηματικό αυτό μοντέλο.
6. Οι ανακατασκευαστικές εταιρείες επωφελούνται πολύ από την ανάμιξη τους στα πρώτα στάδια της παραγωγής των προϊόντων αφού έτσι μπορούν να βελτιώσουν τις πιθανότητες για δυνατότητα αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής τμημάτων του προϊόντος.

3.8

Covid-19 και Κυκλική Οικονομία

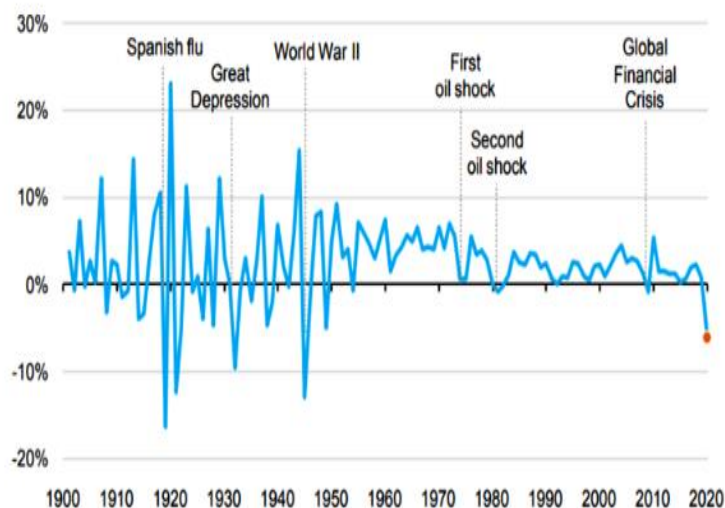
Στις 11 Μαρτίου 2020 ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανακήρυξε τον ιό COVID-19 παγκόσμια πανδημία και οι επιπτώσεις αυτής της πανδημίας ολοένα και πολλαπλασιάζονται. Τα μέτρα που έχουν ληφθεί από κάθε κράτος για την αντιμετώπιση του έχουν επηρεάσει διάφορες πτυχές της ζωής, της κοινωνίας, της οικονομίας, του περιβάλλοντος και άλλων διαστάσεων είτε θετικά είτε αρνητικά. Ο κόσμος έχει μπει σε μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης και συνεχώς προσαρμόζονται τα πλάνα σε όλους τους τομείς προκειμένου να ανταποκριθούν σε αυτά που ο καιρός επιτάσσει. Διάφορες κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες έχουν ανασταλεί, αφού εκατομμύρια άνθρωποι είναι σε καραντίνα, τα σύνορα έχουν κλείσει, τα σχολεία κλείνουν και ξανανοίγουν, οι εταιρείες αυτοκινήτων, οι βιομηχανίες, οι αεροπορικές εταιρείες και τα ταξιδιωτικά γραφεία έχουν καταρρακωθεί, η ανεργία έχει αυξηθεί, όλα τα αθλητικά γεγονότα και οι εκδηλώσεις έχουν ακυρωθεί και αυτά είναι μερικά μόνο από τον αμέτρητο κατάλογο αρνητικών συνεπειών της πανδημίας αυτής

(Basilaia & Knavadze, 2020) (Kraemer et al., 2020) (Baker et al., 2020). Μοιραία, έχει επηρεαστεί αρνητικά η μακροοικονομία, η παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα και το παγκόσμιο εμπόριο, ο αεροπορικός τομέας, ο τουρισμός και οι στόχοι βιωσιμότητας (Ibn-Mohammed et al., 2021).

Σχετικά με την επίδραση στους στόχους βιωσιμότητας, το 2015, τα Ηνωμένα Έθνη υιοθέτησαν 17 στόχους βιωσιμότητας (Sustainable Development Goals-SDGs) με το όραμα να βελτιωθεί αισθητή η ζωή και ο φυσικός κόσμος έως το 2030, εξαναγκάζοντας όλες τις χώρες του κόσμου να συμφωνήσουν σε αυτό. Για να επιτευχθεί αυτό, τα θεμέλια των SDGs βασίστηκαν σε 2 μεγάλες υποθέσεις, που είναι η παγκοσμιοποίηση και η συνεχής οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, η πανδημία έχει κατακεραυνώσει αυτή την υπόθεση για λόγους οι οποίοι ήδη αναφέρθηκαν. Έκανε επίσης αισθητό το γεγονός ότι οι στόχοι που έχουν τεθεί δεν είναι ανθεκτικοί σε τέτοια σοκ και γεγονότα που επηρεάζουν τόσο πολύ τη ζωή. Βέβαια, ακόμα και πριν την πανδημία, η πρόοδος προς τους στόχους ήταν αργή. Μάλιστα, οι (Naidoo & Fisher, 2020) επισήμαναν ότι, δεδομένης της πανδημίας, για τα 2/3 αυτών των 169 στόχων είναι εξαιρετικά αμφίβολο το αν θα επιτευχθούν έως το 2030, και μάλιστα μερικοί ίσως γυρίσουν και μπούμερανγκ εξαιτίας του COVID-19.

Κάθε νόμισμα, ωστόσο, έχει 2 όψεις. Παρά τα αρνητικά, ο ιός έχει προκαλέσει ορισμένες φυσικές αλλαγές στη συμπεριφορά με θετικές επιδράσεις για τον πλανήτη. Μάλιστα, φαίνεται μία αυξανόμενη τάση, ακόμα και αν προήλθε από την πανδημία, προς τη μετατροπή της παραγωγής και επιχειρηματικών λειτουργιών προς αυτό που τα μοντέλα Κυκλικής Οικονομίας θεωρούν ιδανικά. Εξαιτίας του COVID-19, έχει παρατηρηθεί βελτίωση στην καθαρότητα του αέρα, αφού όλες οι εργοστασιακές δραστηριότητες έχουν μειωθεί (Muhammad et al., 2020), έχει μειωθεί ο θόρυβος, η εικόνα και η καθαρότητα των παραλιών είναι εμφανώς βελτιωμένη (Zambrano-Monserrate et al., 2020), έχει μειωθεί η κατανάλωση πρωτεύουσας ενέργειας -όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4), (IEA, 2020)- έχει σημειωθεί ρεκόρ στη μείωση εκπομπών CO₂ και έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος προς την ψηφιοποίηση (Bayram et al., 2020).

Σχήμα 4: Ετήσια μεταβολή της ζήτησης της ενέργειας από το 1900 (IEA, 2020).



Υπό αυτές τις συνθήκες, η πανδημία έχει αναδείξει την τοπική βιομηχανία σαν οντότητα κλειδί για την ανθεκτικότητα της οικονομίας και τη δημιουργία θέσεων εργασίας, έχει προκαλέσει αλλαγή στη συμπεριφορά των καταναλωτών, υπέδειξε την ανάγκη για ποικιλία και κυκλικότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων και φανέρωσε τη δυναμική της δημόσιας πολιτικής για την αντιμετώπιση τέτοιων επειγουσών καταστάσεων και κοινωνικοοικονομικών κρίσεων. Προσπαθώντας να φανούμε αντάξιοι των περιστάσεων, το ερώτημα δεν είναι πλέον το αν είναι ανάγκη να θέσουμε πιο γερές βάσεις, αλλά το πώς. Κατά συνέπεια, βαδίζοντας μπροστά, η δημιουργικά ενός πλαισίου οδηγιών και βημάτων για ένα βιώσιμο μέλλον είναι τόσο θέμα της επιθυμίας της εξουσίας να χαράξει ένα νέο μονοπάτι προς την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη όσο και ευθύνη των τοπικών επιχειρήσεων να συνεργαστούν με τους πελάτες για μία μετάβαση στην Κυκλική Οικονομία. Ακόμα και μετά τις οικονομικές ρυθμίσεις των κυβερνήσεων για να αντιμετωπίσουν την υφιστάμενη κρίση, η υιοθέτηση μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας είναι αυτή που μακροπρόθεσμα θα πετύχει επιθυμητές τεχνικές αλλαγές και αλλαγές στη συμπεριφορά που θα λειτουργήσουν υπέρ των χωρών ανά τον κόσμο. Η στροφή σε κυκλικά μοντέλα θα βοηθήσει να αντιμετωπιστούν μερικά από τα προβλήματα που η πανδημία έθεσε. Για παράδειγμα, θα μειώσει την εξάρτηση από μεμονωμένες χώρες που παίζουν τον ρόλο κατασκευαστικών κόσμων παγκοσμίως. Επίσης, το προφανές, θα μειωθεί αισθητά η ρύπανση. Ακόμη, θα δημιουργηθούν θέσεις εργασίες σε διάφορους άξονες κοινωνικών αναγκών, όπως η υγεία, τα αναλώσιμα, η μεταφορά. Συγκεκριμένα μιλώντας, για τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας και των μεταφορών, σχετικά με ενέργειες που πρέπει να γίνουν: Η διευκόλυνση της κυκλοφορίας ανθρώπων, προϊόντων και υλικών και οι υποδομές για μεταφορές κρίνονται επιβεβλημένα για την επιτυχία της στροφής προς πιο βιώσιμες πόλεις (van Buren et al., 2016). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους τομείς που επλήγησαν περισσότερο με το ξέσπασμα την πανδημίας. Μελλοντικά, πολλές στρατηγικές Κυκλικής Οικονομίας θα μπορούσαν να υιοθετηθούν στην προσπάθεια για έναν ανθεκτικό τομέα μεταφορών. Ωστόσο, η αλλαγή συμπεριφοράς που επήλθε λόγω της κοινωνικής απομόνωσης μπορεί να έχει και αρνητική επιρροή στην άποψη που έχουν οι πολίτες για αυτό

το πλάνο της δημιουργίας πιο συμπαγών και δικτυωμένων πόλεων. Η χρήση στρατηγικών για αστικές μεταφορές εμπορευμάτων είναι ίσως ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση καθώς θα βελτιώσει τις ροές των υλικών (EMF, 2019) και επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών κατά τρόπο που υποστηρίζει παρόμοιες προτεραιότητες για την οικονομική ανάπτυξη, την ποιότητα του αέρα, τον περιβαλλοντικό θόρυβο και τη διαχείριση των αποβλήτων (Kiba-Janiak, 2019). Πέρα από τα οχήματα και τις υποδομές, η υιοθέτηση τέτοιων στρατηγικών μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και πρακτικών όπως η ψηφιοποίηση των προϊόντων, οι ψηφιακές κατασκευές, η συλλογή αποβλήτων και συστήματα διαλογής.

Η διαθεσιμότητα πλούσιων δεδομένων μεταφοράς (όπως οι επιπτώσεις γεγονότων στις μεταφορές και οι συνήθειες των ατόμων που μετακινούνται) καθώς και πολύπλοκες τεχνολογίες επεξεργασίας δεδομένων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης μπορούν επίσης να βοηθήσουν κομβικά στη διαχείριση και στη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς με την πάροδο του χρόνου. Μπορούν, ακόμα, να αξιοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, που προσθέτουν μάλιστα και τη δυνατότητα άμεσης παρέμβασης στην κυκλοφορία μέσω της ρύθμισης της ροής κυκλοφορίας βάσει του σχεδιασμού διαδρομών, αλλά και τη δυνατότητα δυναμικής τιμολόγησης και κατανομής των χώρων στάθμευσης. Φυσικά, τέτοιες καινοτόμες πρωτοβουλίες χρειάζονται τη στήριξη ενός αποτελεσματικού μηχανισμού διακυβέρνησης (Janné & Fredriksson, 2019). Ο συνδυασμός αυτών με την ανάπτυξη περιβαλλοντικά αποδοτικών οχημάτων και τεχνικών λύσεων που βασίζονται στο IoT θα αυξήσει τη δυνατότητα απορρόφησης των ωφελειών που η Κυκλική Οικονομία μπορεί να προσφέρει. Δεδομένου ότι ο πολεοδομικός σχεδιασμός μίας πόλης είναι αρμοδιότητα κυβερνητικών οργανισμών, το βάρος για ανάπτυξη ολοκληρωμένων οδών και στρατηγικών σχετικά με την κυκλοφορία για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης ροής υλικών και της λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας πέφτει σε αυτούς. Τέλος, σημαντικό ρόλο μπορούν να διαδραματίσουν και οι stakeholders μέσα από δεσμεύσεις τους στον τομέα των μεταφορών οι οποίες θα ενεργοποιήσουν και θα στηρίξουν καινοτόμες λύσεις για την καλύτερη διαχείριση των υποδομών μέσω και της χρήσης των big data.

4

Συμπεράσματα

Παρά το ότι η βιβλιογραφία για το θέμα της Κυκλικής Οικονομίας, ιδιαίτερα στο κομμάτι της εφαρμογής της στην αυτοκινητοβιομηχανία, εμπλουτίζεται συνεχώς, υπάρχουν ορισμένα κενά και ελλείψεις. Ορισμένες διαστάσεις των μοντέλων Κυκλικής Οικονομίας εξετάζονται πολύ λίγο από τη βιβλιογραφία. Τέτοιες είναι τα νομοθετικά πλαίσια, καθώς και θεσμικά θέματα και προβλήματα που δημιουργούνται από την κουλτούρα του κάθε λαού. Οι περισσότερες από τις δημοσιεύσεις επί του θέματος φαίνεται να έρχονται από την Κίνα, και αν φανταστεί κανείς πόσο διαφορετική είναι η κουλτούρα τους, συγκριτικά για παράδειγμα με των Ευρωπαίων, γίνεται αντιληπτό ότι είναι ανέφικτη η καθολική εφαρμογή των μοντέλων που προτείνονται σε αυτά. Επιπλέον, σχετικά με τις εφοδιαστικές αλυσίδες, παρ' όλο που το ερευνητικό πεδίο για αυτές φαίνεται να είναι αρκετά ευρύ και να έχει δημιουργήσει ανθεκτικές αλυσίδες και καλά ορισμένες, το γεφύρωμα αυτών με την κυκλική οικονομία, έστω θεωρητικά, παρουσιάζει κενά και χρήζει βελτίωσης. Ακόμη, ενώ έχει γίνει προσπάθεια να στηριχθεί η μετάβαση στην Κυκλική Οικονομία και να στηθεί σωστά το δίκτυο επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων της προσπάθειας αυτής, η επικοινωνία μεταξύ των εταιριών και μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συνεργατών δε λειτουργεί στο μέγιστο βαθμό. Η επικοινωνία αυτή είναι κλειδί για την αποδοτικότητα των μοντέλων - ιδιαίτερα στην αυτοκινητοβιομηχανία με την αναγκαιότητα για παράδειγμα για ανταλλακτικά, αλλά και με τη δυνατότητα που προσφέρεται για χρήση μεταχειρισμένων τμημάτων και υλικών ακόμα και σε άλλους, εξωτερικούς κλάδους- και ίσως πρέπει να δοθεί πολύ μεγαλύτερη βάση στη δόμηση αυτής από ό,τι στη δημιουργία νέων εργαλείων και πρακτικών. Λιγосτές φαίνεται να είναι και οι δημοσιεύσεις που καταπιάνονται με το ζήτημα της αποϋλοποίησης των προϊόντων και της σύνδεσης τους με υπηρεσίες για την άμεση αξιοποίηση των υλικών. Γενικώς, οι περισσότερες δημοσιεύσεις στηρίζονται σε ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες κάνοντας μικρές βελτιώσεις και προσαρμογές σε αυτές, γεγονός που δε βοηθάει σημαντικά σε αυτή τη μετάβαση σε κυκλικά μοντέλα, αφού για να επέλθει μία

τόσο ραγδαία και σημαντική αλλαγή, χρειάζονται και ραγδαίες και ρηξικέλευθες εξελίξεις και προτάσεις. Προκειμένου, λοιπόν, να μεγαλώσουν τα όρια της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, ιδιαίτερα σε βιομηχανίες που απαιτούν μεγάλες εισροές από υλικά και ενέργεια, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, πρέπει να γίνουν περισσότερες πρακτικές και εμπειρικές μελέτες που θα συμβάλλουν στην κατανόηση των οικονομικών και περιβαλλοντικών συνεπειών από την εφαρμογή κυκλικών στρατηγικών.

Κατά τη γνώμη μου, η μεγαλύτερη παγίδα και το σημαντικότερο πρόβλημα με αυτή τη μετάβαση στην Κυκλική Οικονομία με την εφαρμογή κυκλικών μοντέλων είναι ότι αυτά τα μοντέλα είναι καταδικασμένα να επηρεάζονται άμεσα από τις επιθυμίες των χρηστών-πελατών αφού πρέπει να είναι αποδεκτά για αυτούς τα προϊόντα που παράγονται. Προφανώς, επιχειρήσεις που δεν πουλάνε δεν είναι βιώσιμες και είναι πολύ φυσικό να επηρεάζονται από τον παράγοντα που προαναφέρθηκε. Οι απαιτήσεις των πελατών για υψηλής απόδοσης προϊόντα, όπως τα γρήγορα οχήματα, σε συνδυασμό με τη μη λελογισμένη και μη οικολογική χρήση τους κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους δυσχεραίνουν την κατάσταση. Στη βιβλιογραφία, σε ό,τι αφορά την κυκλικότητα των προϊόντων το βάρος πέφτει στην ανάγκη για ειδικό κυκλικό σχεδιασμό και στη διαχείριση των υλικών και των προϊόντων μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Σπάνια γίνεται λόγος για τη χρήση τους κατά το διάστημα ζωής τους καθώς αυτό είναι ζήτημα ατομικής ευθύνης και ευαισθησίας του εκάστοτε χρήστη. Είναι μία σοβαρή πρόκληση, λοιπόν, να βρεθεί αυτός ο ιδανικός βαθμός που τα κυκλικά μοντέλα θα επιτρέπουν την παρέμβαση του παράγοντα αποδοχής των προϊόντων από τους πελάτες, καθώς χωρίς αυτή την ιδανική φόρμουλα θα υπάρχουν πάντα αναπάντητα ερωτήματα στο θέμα της προσφοράς και της χρήσης υπηρεσιών και προϊόντων από τις εταιρίες εξαιτίας της ανάγκης να έχουν τον χρήστη σε βασική κατευθυντήρια γραμμή τους. Το περιβάλλον βρίσκεται σε οριακό σημείο, η πανδημία που ξέσπασε το έχει βοηθήσει να αναπνεύσει προς στιγμήν, αλλά ίσως πλέον είναι επιτακτική η ανάγκη να γίνουν σοβαρές αλλαγές με γνώμονα την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στην αυτοκινητοβιομηχανία και στα οχήματα που παράγει, ακόμα και αν αυτό επιφέρει μειωμένη απόδοση καυσίμων, οχημάτων και λοιπά. Εξάλλου, και η ίδια η βιομηχανία θα επωφεληθεί οικονομικά από την αλλαγή αυτή.

5

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aguilar Esteva, L. C., Kasliwal, A., Kinzler, M. S., Kim, H. C., & Keoleian, G. A. (2020). Circular economy framework for automobiles: Closing energy and material loops. *Journal of Industrial Ecology*, jiec.13088. <https://doi.org/10.1111/jiec.13088>
- Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Bello, S. A., Jaiyeoba, B. E., & Kadiri, K. O. (2017). Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*, 60, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017>
- Alkadi, N., & Kissock, J. K. (2011). *Improving Compressed Air Energy Efficiency in Automotive Plants: Practical Examples and Implementation*. http://ecommons.udayton.edu/mee_fac_pubhttp://ecommons.udayton.edu/mee_fac_pub/ 161
- Alqahtani, A. Y., Gupta, S. M., & Nakashima, K. (2019). Warranty and maintenance analysis of sensor embedded products using internet of things in industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 208, 483–499. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.022>
- Angelis-Dimakis, A., Alexandratou, A., & Balzarini, A. (2016). Value chain upgrading in a textile dyeing industry. *Journal of Cleaner Production*, 138, 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.137>
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an Enabler of Circular Economy. *Procedia CIRP*, 73, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>

- Antoniou, N. A., & Zorpas, A. A. (2019). Quality protocol and procedure development to define end-of-waste criteria for tire pyrolysis oil in the framework of circular economy strategy. *Waste Management*, 95, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.035>
- Araujo Galvão, G. D., De Nadae, J., Clemente, D. H., Chinen, G., & De Carvalho, M. M. (2018). Circular Economy: Overview of Barriers. *Procedia CIRP*, 73, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.011>
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 25(2), 323–346. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-04-2017-0088>
- Arnault, N., Batailley, N., Maria, A., & Bechu, L. (2017). First Plastic Diesel Fuel Filter using 100% Recycled Polymer: When Circular Economy Join Automotive Industry. *SAE Technical Papers, 2017-March* (March). <https://doi.org/10.4271/2017-01-1077>
- Baars, J., Domenech, T., Bleischwitz, R., Melin, H. E., & Heidrich, O. (2021). Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials. *Nature Sustainability*, 4(1), 71–79. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00607-0>
- Baker, S., Bloom, N., Davis, S., & Terry, S. (2020). COVID-Induced Economic Uncertainty. *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w26983>
- Banov, K., & Shirov, B. (n.d.). *Innovative lead-air battery-"greener" alternative of lead-acid battery for automotive and storage applications MULTIFUNCTIONAL APPLICATIONS OF COMPOSITE GRAPHENE-QUANTUM DOTS SYSTEMS (MULTIGRAPH) View project*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26622.61768>
- BARRIERS & ENABLERS to Circular Business Models A whitepaper by A.G. Pheifer*. (2017). www.djanko.nl
- Basilaia, G., & Kvavadze, D. (2020). Transition to Online Education in Schools during a SARS-CoV-2 Coronavirus (COVID-19) Pandemic in Georgia. *Pedagogical Research*, 2020(4), 2468–4929. <https://doi.org/10.29333/pr/7937>
- Bayram, M., Springer, S., Garvey, C. K., & Özdemir, V. (2020). COVID-19 Digital Health Innovation Policy: A Portal to Alternative Futures in the Making. In *OMICS A Journal of Integrative Biology* (Vol. 24, Issue 8, pp. 460–469). Mary Ann Liebert Inc. <https://doi.org/10.1089/omi.2020.0089>

- Bechtel, N., Bojko, R., & Völkel, R. (n.d.). *Be in the Loop: Circular Economy & Strategic Sustainable Development*.
- Blomsma, F., Pieroni, M., Kravchenko, M., Pigosso, D. C. A., Hildenbrand, J., Kristinsdottir, A. R., Kristoffersen, E., Shabazi, S., Nielsen, K. D., Jönbrink, A. K., Li, J., Wiik, C., & McAlloone, T. C. (2019). Developing a circular strategies framework for manufacturing companies to support circular economy-oriented innovation. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118271>
- Bobba, S., Di Torino, P., Podias, A., & Persio, F. Di. (2018). *Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries (SASLAB): JRC Exploratory Maarten Messagie Vrije Universiteit Brussel*. <https://doi.org/10.2760/53624>
- Bobba, S., Mathieux, F., & Blengini, G. A. (2019). How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 279–291. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.022>
- Bobba, S., Mathieux, F., Ardente, F., Blengini, G. A., Cusenza, M. A., Podias, A., & Pfrang, A. (2018). Life Cycle Assessment of repurposed electric vehicle batteries: an adapted method based on modelling energy flows. *Journal of Energy Storage*, 19, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.07.008>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Boland, C. S., De Kleine, R., Keoleian, G. A., Lee, E. C., Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2016). Life Cycle Impacts of Natural Fiber Composites for Automotive Applications: Effects of Renewable Energy Content and Lightweighting. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 179–189. <https://doi.org/10.1111/jiec.12286>
- Boyd, G. A. (2014). Estimating the changes in the distribution of energy efficiency in the U.S. automobile assembly industry. *Energy Economics*, 42, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.008>
- Brandoni, C., & Bošnjaković, B. (2018). Energy, food and water nexus in the European Union: towards a circular economy. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 171(3), 140–144. <https://doi.org/10.1680/jener.18.00005>

- Bresser, D., Hosoi, K., Howell, D., Li, H., Zeisel, H., Amine, K., & Passerini, S. (2018). Perspectives of automotive battery R&D in China, Germany, Japan, and the USA. *Journal of Power Sources*, 382, 176–178. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.02.039>
- Buruza, A., Torma, A. (2017). *A Review on the Outlook of the Circular Economy in the Automotive Industry*. (n.d.). Retrieved March 9, 2021, from <https://publications.waset.org/10008699/a-review-on-the-outlook-of-the-circular-economy-in-the-automotive-industry>
- Çanka Kılıç, F., Eyidoğan, M., & Sapmaz, S. (2018). Bir otomobil montaj işletmesinde enerji verimliliği artırıcı çözümlerin irdelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 149–162. <https://doi.org/10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.331104>
- Casper, R., & Sundin, E. (2018). Addressing Today's challenges in automotive remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 8(3), 93–102. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0047-9>
- Comamala, M., Pujol, T., Cózar, I. R., Massaguer, E., & Massaguer, A. (2018). Power and Fuel Economy of a Radial Automotive Thermoelectric Generator: Experimental and Numerical Studies. *Energies*, 11(10), 2720. <https://doi.org/10.3390/en11102720>
- Commission, E. (2014). *Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains*. <https://doi.org/10.2779/29525>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Rosa, P., & Terzi, S. (2016). Automotive printed circuit boards recycling: An economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 121, 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.122>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Rosa, P., & Terzi, S. (2016). Scrap automotive electronics: A mini-review of current management practices. In *Waste Management and Research* (Vol. 34, Issue 1, pp. 3–10). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607429>
- de Jesus, A., & Mendonça, S. (2018). Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- De Römpf, T. J. (2018). *The legal transition towards a Circular Economy EU environmental law examined*. <https://lirias.kuleuven.be/1966325>

- Dellantoni, N., Schinkowitsch, B., Schoenekaes, A., Nix, A., & Lynam, N. R. (2020). *VEHICULAR CONTROL SYSTEM WITH CENTRAL ELECTRONIC CONTROL UNIT*.
- Dwivedi, A., Agrawal, D., & Madaan, J. (2020). Identification and prioritization of issues to implementation of information-facilitated product recovery system for a circular economy. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 2(4), 247–280. <https://doi.org/10.1108/mscra-12-2019-0023>
- EC. (2019a). *Raw Materials Information System*. Available at <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>.
- Economical alternative | Article | Automotive Manufacturing Solutions*. (n.d.). Retrieved March 10, 2021, from <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/economical-alternative/36487.article>
- EMF, (2015a). Delivering the Circular Economy a Toolkit for Policymakers. <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
- EMF, (2015b). Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe Available from: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>.ESA 2013. Going for Growth: A practical route to a Circular Economy.
- EMF, (2019). Planning effective transport of people, products and materials. Ellen MacArthur Foundation.
- Evin, E., Aydin, M. B., & Kardas, G. (2020). Design and Implementation of a CANBus-Based Eco-Driving System for Public Transport Bus Services. *IEEE Access*, 8, 8114–8128. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964119>
- Expósito, A., & Velasco, F. (2018). Municipal solid-waste recycling market and the European 2020 Horizon Strategy: A regional efficiency analysis in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 938–948. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.221>
- Faheem, M., & Gungor, V. C. (2018). Energy efficient and QoS-aware routing protocol for wireless sensor network-based smart grid applications in the context of industry 4.0. *Applied Soft Computing Journal*, 68, 910–922. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.07.045>
- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>

- Favi, C., Germani, M., Luzi, A., Mandolini, M., & Marconi, M. (2017). A design for EoL approach and metrics to favour closed-loop scenarios for products. *International Journal of Sustainable Engineering*, *10*(3), 136–146.
<https://doi.org/10.1080/19397038.2016.1270369>
- Feng, L. (2016). *Manufacturing System Energy Modeling and Optimization*.
https://tigerprints.clemson.edu/all_dissertations
- Feng, L., Mears, L., Beaufort, C., & Schulte, J. (2016). Energy, economy, and environment analysis and optimization on manufacturing plant energy supply system. *Energy Conversion and Management*, *117*, 454–465.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.031>
- Feng, L., Ulutan, D., & Mears, L. (2015). Energy consumption modeling and analyses in automotive manufacturing final assembly process. *2015 IEEE Conference on Technologies for Sustainability, SusTech 2015*, 224–228.
<https://doi.org/10.1109/SusTech.2015.7314350>
- Filho, J. (2016). Opportunities for aluminium components in automotive applications. *Charles Hatchett Seminar, July, London, UK*. Retrieved from <http://www.charles-hatchett.com/public/images/documents/2016/2016-CHA-Seminar-Presentation-Filho.pdf>
- Franklin-Johnson, E., Figge, F., & Canning, L. (2016). Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. *Journal of Cleaner Production*, *133*, 589–598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.023>
- Galitsky, C., & Worrell, E. (2008). *LBNL-50939-Revision Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers Sponsored by the U.S. Environmental Protection Agency*.
- Garcés-Ayerbe, C., Rivera-Torres, P., Suárez-Perales, I., & Leyva-de la Hiz, D. (2019). Is It Possible to Change from a Linear to a Circular Economy? An Overview of Opportunities and Barriers for European Small and Medium-Sized Enterprise Companies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(5), 851. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050851>
- Garrido-Hidalgo, C., Hortelano, D., Roda-Sanchez, L., Olivares, T., Ruiz, M. C., & Lopez, V. (2018). IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-Loop

- Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0. *IEEE Access*, 6, 28417–28437. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2836677>
- Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., & Badami, K. (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- Ge, X., & Jackson, J. (2014). The Big Data Application Strategy for Cost Reduction in Automotive Industry. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 7(2). <https://doi.org/10.4271/2014-01-2410>
- Gedda, E., & Malmström, F. (n.d.). *From Scrap to Resources: On the Road Towards a Circular Automotive Industry A case study at Volvo Cars regarding circular economy, value creation and value capture for End-of-Life Vehicles*. Retrieved March 10, 2021, from www.chalmers.se
- Giampieri, A., Ling-Chin, J., Ma, Z., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2020). A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. In *Applied Energy* (Vol. 261, p. 114074). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114074>
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 240, Issue 3, pp. 603–626). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>
- Grimaud, G., Perry, N., & Laratte, B. (2017). Decision Support Methodology for Designing Sustainable Recycling Process Based on ETV Standards. *Procedia Manufacturing*, 7, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.12.020>
- Groenewald, J., Grandjean, T., & Marco, J. (2017). Accelerated energy capacity measurement of lithium-ion cells to support future circular economy strategies for electric vehicles. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 69, pp. 98–111). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.017>
- Hadzic, A., Voca, N., & Golubic, S. (2018). Life-cycle assessment of solid-waste management in city of Zagreb, Croatia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(2), 1286–1298. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0693-2>

- Hamdi, S. El, Oudani, M., Abouabdellah, A., & Sebbar, A. (2019). Fuzzy approach for locating sensors in industrial internet of things. *Procedia Computer Science*, *160*, 772–777. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.012>
- Hartley, K., van Santen, R., & Kirchherr, J. (2020). Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). *Resources, Conservation and Recycling*, *155*, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104634>
- Hedlund, M., Lundin, J., de Santiago, J., Abrahamsson, J., & Bernhoff, H. (2015). Flywheel Energy Storage for Automotive Applications. *Energies*, *8*(10), 10636–10663. <https://doi.org/10.3390/en81010636>
- Helin, A. (2020). *A Framework for Assessment of and Advancement Towards Sustainable Circular Economy An application on automotive brake calipers*. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-280486>
- Hertwich, E. G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Asghari, F. N., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q., & Wolfram, P. (2019). Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics - A review. *Environmental Research Letters*, *14*(4), 043004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3>
- Heshmati, A. (2017). A review of the circular economy and its implementation. *International Journal of Green Economics*, *11*(3–4), 251–288. <https://doi.org/10.1504/IJGE.2017.089856>
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, *89*, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G., & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 175, pp. 525–543). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064>
- Hu, Z., Tan, P., Yan, X., & Lou, D. (2008). Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. *Energy*, *33*(11), 1654–1658. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.06.00>
- Huisman, J., Habib, H., Brechu, M. G., Downes, S., Herreras, L., Lovik, A. N., Wager, P., Cassard, D., Tertre, F., Mahlitz, P., Rotter, S., Chancerel, P., & Soderman, M. L. (2017,

- January 23). ProSUM: Prospecting secondary Raw Materials in the Urban Mine and Mining Wastes. *2016 Electronics Goes Green 2016+, EGG 2016*.
<https://doi.org/10.1109/EGG.2016.7829826>
- Huysman, S., De Schaepmeester, J., Ragaert, K., Dewulf, J., & De Meester, S. (2017). Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, *120*, 46–54.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.013>
- Ibn-Mohammed, T., Mustapha, K. B., Godsell, J., Adamu, Z., Babatunde, K. A., Akintade, D. D., Acquaye, A., Fujii, H., Ndiaye, M. M., Yamoah, F. A., & Koh, S. C. L. (2021). A critical review of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, *164*, 105169. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105169>
- IEA, (2020). Global Energy Review 2020: The impact of the COVID-19 crisis on global energy demand and CO2 emissions. International Energy Agency, IEA Publications.
- Janik, A., Ryszko, A., & Szafraniec, M. (2020). Greenhouse Gases and Circular Economy Issues in Sustainability Reports from the Energy Sector in the European Union. *Energies*, *13*(22), 5993. <https://doi.org/10.3390/en13225993>
- Janné, M., & Fredriksson, A. (2019). Construction logistics governing guidelines in urban development projects. *Construction Innovation*, *19*(1), 89–109.
<https://doi.org/10.1108/CI-03-2018-0024>
- Jayaraman, V., Ross, A. D., & Agarwal, A. (2008). Role of information technology and collaboration in reverse logistics supply chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *11*(6), 409–425.
<https://doi.org/10.1080/13675560701694499>
- Jowitt, S. M., Werner, T. T., Weng, Z., & Mudd, G. M. (2018). Recycling of the rare earth elements. In *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 13, pp. 1–7). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.008>
- Kabugo, J. C., Jämsä-Jounela, S. L., Schiemann, R., & Binder, C. (2020). Industry 4.0 based process data analytics platform: A waste-to-energy plant case study. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *115*, 105508.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105508>

- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kazancoglu, Y., Kazancoglu, I., & Sagnak, M. (2018). A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1282–1299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.015>
- Keoleian, G. A., & Sullivan, J. L. (2012). Materials challenges and opportunities for enhancing the sustainability of automobiles. *MRS Bulletin*, 37(4), 365–372. <https://doi.org/10.1557/mrs.2012.52>
- Khan, M. S., & Rahman, M. S. (2017). Introduction. In *Pesticide Residue in Foods: Sources, Management, and Control* (pp. 1–6). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52683-6_1
- Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers and Electrical Engineering*, 81, 106522. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106522>
- Kiba-Janiak, M. (2019). EU cities' potentials for formulation and implementation of sustainable urban freight transport strategic plans. *Transportation Research Procedia*, 39, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.017>
- Kim, H. C., & Wallington, T. J. (2013). Life-cycle energy and greenhouse gas emission benefits of lightweighting in automobiles: Review and harmonization. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 47, Issue 12, pp. 6089–6097). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/es3042115>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>

- Knobloch, V., Zimmermann, T., & Gößling-Reisemann, S. (2018). From criticality to vulnerability of resource supply: The case of the automobile industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.027>
- KPMG (2016). A Pragmatic Guide to Big Data & Meaningful Privacy.
- Kraemer, M. U. G., Yang, C. H., Gutierrez, B., Wu, C. H., Klein, B., Pigott, D. M., du Plessis, L., Faria, N. R., Li, R., Hanage, W. P., Brownstein, J. S., Layan, M., Vespignani, A., Tian, H., Dye, C., Pybus, O. G., & Scarpino, S. V. (2020). The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 368(6490), 493–497. <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>
- Kumar, A. (2018). Methods and Materials for Smart Manufacturing: Additive Manufacturing, Internet of Things, Flexible Sensors and Soft Robotics. *Manufacturing Letters*, 15, 122–125. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2017.12.014>
- Laso, J., Margallo, M., Celaya, J., Fullana, P., Bala, A., Gazulla, C., Irabien, A., & Aldaco, R. (2016). Waste management under a life cycle approach as a tool for a circular economy in the canned anchovy industry. *Waste Management and Research*, 34(8), 724–733. <https://doi.org/10.1177/0734242X16652957>
- Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. In *Computers in Industry* (Vol. 103, pp. 97–110). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.09.004>
- Liakos, N., Kumar, V., Pongsakornrungrasit, S., Garza-Reyes, J. A., Gupta, B., & Pongsakornrungrasit, P. (2019). Understanding circular economy awareness and practices in manufacturing firms. *Journal of Enterprise Information Management*, 32(4), 563–584. <https://doi.org/10.1108/JEIM-02-2019-0058>
- Lieder, M., Asif, F. M. A., Rashid, A., Mihelič, A., & Kotnik, S. (2017). Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(5–8), 1953–1970. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0610-9>
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. In *Journal of Cleaner*

Production (Vol. 115, pp. 36–51). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>

Lin, C. C., Deng, D. J., Chen, Z. Y., & Chen, K. C. (2016). Key design of driving industry 4.0: Joint energy-efficient deployment and scheduling in group-based industrial wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 54(10), 46–52.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7588228>

Lin, K. Y. (2018). User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. *Computers and Industrial Engineering*, 125, 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.023>

Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 273–286.
<https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>

Lu, Y., Peng, T., & Xu, X. (2019). Energy-efficient cyber-physical production network: Architecture and technologies. *Computers and Industrial Engineering*, 129, 56–66.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.025>

Luk, J. M., Kim, H. C., De Kleine, R., Wallington, T. J., & MacLean, H. L. (2017). Review of the Fuel Saving, Life Cycle GHG Emission, and Ownership Cost Impacts of Lightweighting Vehicles with Different Powertrains. *Environmental Science and Technology*, 51(15), 8215–8228. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00909>

Macarthur, E. (2012). *Founding Partners of the TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY Economic and business rationale for an accelerated transition*.

Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers and Industrial Engineering*, 127, 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>

Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 70, pp. 1298–1322). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.030>

Martin, M., Wetterlund, E., Hackl, R., Holmgren, K. M., & Peck, P. (2020). Assessing the aggregated environmental benefits from by-product and utility synergies in the Swedish

- biofuel industry. *Biofuels*, 11(6), 683–698.
<https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1387752>
- Masi, D., Kumar, V., Garza-Reyes, J. A., & Godsell, J. (2018). Towards a more circular economy: exploring the awareness, practices, and barriers from a focal firm perspective. *Production Planning and Control*, 29(6), 539–550.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449246>
- Matsumoto, M., Umeda, Y., Masui, K., Fukushige, S. (2012). "Design for Innovative Value towards a sustainable society", Dordrecht
- McDowall, W., Geng, Y., Huang, B., Barteková, E., Bleischwitz, R., Türkeli, S., Kemp, R., & Doménech, T. (2017). Circular Economy Policies in China and Europe. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 651–661. <https://doi.org/10.1111/jiec.12597>
- McKinsey, “Unlocking the potential of the Internet of Things”, (2015).
- Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 26, pp. 187–202). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008>
- Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Lazarova-Molnar, S. (2019). Leveraging the Capabilities of Industry 4.0 for Improving Energy Efficiency in Smart Factories. *IEEE Access*, 7, 18008–18020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897045>
- Momete, D. C. (2020). A unified framework for assessing the readiness of European Union economies to migrate to a circular modelling. *Science of the Total Environment*, 718, 137375. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137375>
- Moreno, M., & Charnley, F. (2016). Can re-distributed manufacturing and digital intelligence enable a regenerative economy? An integrative literature review. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 52, 563–575. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_48
- Mouapi, A., Mrad, H., & Parsad, A. (2020). Implementation of a reliability test protocol for a multimeasurement sensor dedicated to industrial applications of the Internet of things. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 152, 107312.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107312>

- Muhammad, S., Long, X., & Salman, M. (2020). COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of the Total Environment*, 728, 138820. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>
- Muhuri, P. K., Shukla, A. K., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 78, 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007>
- Naidoo, R., & Fisher, B. (2020). Reset Sustainable Development Goals for a pandemic world. In *Nature* (Vol. 583, Issue 7815, pp. 198–201). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01999-x>
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. In *Journal of Manufacturing Technology Management* (Vol. 30, Issue 3, pp. 607–627). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Ng, K. S., & Martinez Hernandez, E. (2016). A systematic framework for energetic, environmental and economic (3E) assessment and design of polygeneration systems. *Chemical Engineering Research and Design*, 106, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.11.017>
- Nyström, T. (2019). *Adaptive Design for Circular Business Models in the Automotive Manufacturing Industry* Title: *Adaptive Design for Circular Business Models in the Automotive Manufacturing Industry*. Retrieved March 9, 2021, from <http://hdl.handle.net/2077/58784><http://hdl.handle.net/2077/58784>
- Oliveira, F. R. de, França, S. L. B., & Rangel, L. A. D. (2018). Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.031>
- Olsen, T. L., & Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. *Manufacturing and Service Operations Management*, 22(1), 113–122. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0796>
- Pacheco, N., Brito, F. P., Vieira, R., Martins, J., Barbosa, H., & Goncalves, L. M. (2020). Compact automotive thermoelectric generator with embedded heat pipes for thermal control. *Energy*, 197, 117154. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117154>

- Pagliaro, M., & Meneguzzo, F. (2019). Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight. In *Heliyon* (Vol. 5, Issue 6, p. e01866). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>
- Pan, H., Zhang, X., Wang, Y., Qi, Y., Wu, J., Lin, L., Peng, H., Qi, H., Yu, X., & Zhang, Y. (2016). Energy evaluation of an industrial park in Sichuan Province, China: A modified energy approach and its application. *Journal of Cleaner Production*, *135*, 105–118.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.102>
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2017). The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review. *Procedia CIRP*, *64*, 19–24.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.047>
- Para, J., Del Ser, J., Nebro, A. J., Zurutuza, U., & Herrera, F. (2019). Analyze, Sense, Preprocess, Predict, Implement, and Deploy (ASPPID): An incremental methodology based on data analytics for cost-efficiently monitoring the industry 4.0. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *82*, 30–43.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.03.022>
- Parida, V., Burström, T., Visnjic, I., & Wincent, J. (2019). Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies. *Journal of Business Research*, *101*, 715–725.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.006>
- Pauliuk, S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling*, *129*, 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>
- Piecyk, M., Browne, M., Whiteing, A., & McKinnon, A. (2015). *Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics*. London, UK: Kogan Page Publishers.
- Piscitelli, G., Ferazzoli, A., Petrillo, A., Cioffi, R., Parmentola, A., & Travaglioni, M. (2020). Circular economy models in the industry 4.0 era: A review of the last decade. *Procedia Manufacturing*, *42*, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.074>
- Pissot, S., Berdugo Vilches, T., Maric, J., Cañete Vela, I., Thunman, H., & Seemann, M. (2019). Thermochemical Recycling of Automotive Shredder Residue by Chemical-Looping Gasification Using the Generated Ash as Oxygen Carrier. *Energy and Fuels*, *33*(11), 11552–11566. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b02607>

- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Identifying Industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach. *Management Decision*, 57(8), 1784–1817.
<https://doi.org/10.1108/MD-04-2018-0378>
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Mäkinen, S. J. (2018). Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 70–82.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.017>
- Reuter, M. A. (2016). Digitalizing the Circular Economy: Circular Economy Engineering Defined by the Metallurgical Internet of Things. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 47(6), 3194–3220. <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5>
- Richa, K., Babbitt, C. W., & Gaustad, G. (2017). Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 715–730. <https://doi.org/10.1111/jiec.12607>
- Riegel, J., Neumann, H., & Wiedenmann, H. M. (2002). Exhaust gas sensors for automotive emission control. *Solid State Ionics*, 152–153, 783–800. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(02\)00329-6](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(02)00329-6)
- Rizos, V., Behrens, A., Kafyeke, T., Hirschnitz-Garbers, M., & Ioannou, A. (2015). *The Circular Economy: Barriers and Opportunities for SMEs*.
<https://papers.ssrn.com/abstract=2664489>
- Rizos, V., Behrens, A., van der Gaast, W., Hofman, E., Ioannou, A., Kafyeke, T., Flamos, A., Rinaldi, R., Papadelis, S., Hirschnitz-Garbers, M., & Topi, C. (2016). Implementation of Circular Economy Business Models by Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): Barriers and Enablers. *Sustainability*, 8(11), 1212. <https://doi.org/10.3390/su8111212>
- Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662–1687.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>
- Salminen, V., Ruohomaa, H., & Kantola, J. (2017). Digitalization and big data supporting responsible business co-evolution. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 498, 1055–1067. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7_96

- Sanguino, R., Barroso, A., Fernández-Rodríguez, S., & Sánchez-Hernández, M. I. (2020). Current trends in economy, sustainable development, and energy: a circular economy view. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 1, pp. 1–7). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07074-x>
- Schütze, A., Helwig, N., & Schneider, T. (2018). Sensors 4.0 – smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 359–371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- Seog-Chan, Hildreth, O. H. (2018). Analytics for smart energy management: tools and applications for sustainable manufacturing. Springer link.
- Sha, M., Gunatilaka, D., Wu, C., & Lu, C. (2017). Empirical Study and Enhancements of Industrial Wireless Sensor-Actuator Network Protocols. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(3), 696–704. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2653362>
- Shahbazi, S., Wiktorsson, M., Kurdve, M., Jönsson, C., & Bjelkemyr, M. (2016). Material efficiency in manufacturing: swedish evidence on potential, barriers and strategies. *Journal of Cleaner Production*, 127, 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.143>
- Sherman, R. (2014). Business Intelligence Guidebook: From Data Integration to Analytics.
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W., & Glenn, G. (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 19, pp. 194–215). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.007>
- Shukla, A. K., Nath, R., Muhuri, P. K., & Lohani, Q. M. D. (2020). Energy efficient multi-objective scheduling of tasks with interval type-2 fuzzy timing constraints in an Industry 4.0 ecosystem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103257. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103257>
- Sipsas, K., Alexopoulos, K., Xanthakis, V., & Chrysolouris, G. (2016). Collaborative Maintenance in flow-line Manufacturing Environments: An Industry 4.0 Approach. *Procedia CIRP*, 55, 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.013>
- Song, C., Zhang, C., Zhang, S., Lin, H., Kim, Y., Ramakrishnan, M., Du, Y., Zhang, Y., Zheng, H., & Barceló, Damià. (2020). Thermochemical liquefaction of agricultural and forestry wastes into biofuels and chemicals from circular economy perspectives. In *Science of the Total Environment* (Vol. 749, p. 141972). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141972>

- Srai, J. S., Kumar, M., Graham, G., Phillips, W., Tooze, J., Ford, S., Beecher, P., Raj, B., Gregory, M., Tiwari, M. K., Ravi, B., Neely, A., Shankar, R., Charnley, F., & Tiwari, A. (2016). Distributed manufacturing: scope, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, *54*(23), 6917–6935.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1192302>
- Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. *Advances in Manufacturing*, *5*(4), 344–358. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0200-y>
- Sundin, E., Elo, K., & Lee, H. M. (2012). Design for automatic end-of-life processes. *Assembly Automation*, *32*(4), 389–398. <https://doi.org/10.1108/01445151211262447>
- Takata, S. (2013). Maintenance-centered circular manufacturing. *Procedia CIRP*, *11*, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.07.066>
- Thompson, D. N. (2012). Oracles: how prediction markets turn employees into visionaries. Harvard Business Review Press.
- Tschandl, M., Peßl, E., Sorko, S., Lenart, K., (2019). Roadmap Industrie 4.0; Roadmap Industrie 4.0 für Unternehmen aus dem Umwelt- bzw. Abfallbereich (“Roadmap industry 4.0 for companies in the environmental and waste management sector”)
- Tseng, M. L., Tan, R. R., Chiu, A. S. F., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 131, pp. 146–147). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.028>
- Tsybunov, E., Shubenkova, K., Buyvol, P., & Mukhametdinov, E. (2018). Interactive (Intelligent) Integrated System for the Road Vehicles’ Diagnostics. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, *222*, 195–204. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93710-6_21
- Turner, C. J., Hutabarat, W., Oyekan, J., & Tiwari, A. (2016). Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *46*(6), 882–894.
<https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2596099>

- Turner, C., Okorie, O., Emmanouilidis, C., Oyekan, J., Turner, C., Okorie, O., Emmanouilidis, C., & Oyekan, J. (2020). *A Digital Maintenance Practice Framework for Circular Production of Automotive Parts*. https://doi.org/10.0/Linux-x86_64
- University of Sussex, (2017). School of Engineering and Informatics, Engine Testing and Modelling, Sussex.
- van Buren, N., Demmers, M., van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. *Sustainability*, 8(7), 647. <https://doi.org/10.3390/su8070647>
- Velázquez-Martínez, Valio, Santasalo-Aarnio, Reuter, & Serna-Guerrero. (2019). A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. *Batteries*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/batteries5040068>
- Vidhyotma, & Singh, J. (2019). IoT: Architecture, Technology, Applications, and Quality of Services. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 904, 79–92. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5934-7_8
- Walker, S., Coleman, N., Hodgson, P., Collins, N., & Brimacombe, L. (2018). Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy. *Sustainability*, 10(3), 666. <https://doi.org/10.3390/su10030666>
- Wang, H., Gu, M., Wu, S., & Wang, C. (2020). A driver's car-following behavior prediction model based on multi-sensors data. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13638-020-1639-2>
- Weichhart, G., Molina, A., Chen, D., Whitman, L. E., & Vernadat, F. (2016). Challenges and current developments for Sensing, Smart and Sustainable Enterprise Systems. *Computers in Industry*, 79, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.002>
- Weiland, Fernand J. (2012). "European Automotive Remanufacturing - Technical Trends & Market Development", Cologne, Editions FJW Consulting.
- Wibowo, S., & Grandhi, S. (2017). Performance evaluation of recoverable end-of-life products in the reverse supply chain. *Proceedings - 16th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, ICIS 2017*, 215–220. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7959996>

- Wurster, S., & Schulze, R. (2020). Consumers' Acceptance of a Bio-circular Automotive Economy: Explanatory Model and Influence Factors. *Sustainability*, *12*(6), 2186. <https://doi.org/10.3390/su12062186>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, *254*, 120112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112>
- Yan, J., Meng, Y., Lu, L., & Li, L. (2017). Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance. *IEEE Access*, *5*, 23484–23491. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2765544>
- Yang, Y., Walton, A., Sheridan, R., Güth, K., Gauß, R., Gutfleisch, O., Buchert, M., Steenari, B. M., Van Gerven, T., Jones, P. T., & Binnemans, K. (2017). REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. In *Journal of Sustainable Metallurgy* (Vol. 3, Issue 1, pp. 122–149). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0090-4>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A., & Sanchez-Alcalde, L. (2020). Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, *728*, 138813. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, *3*(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>