



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

A.M: 3019169

Επιβλέπων καθηγητής: ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ ΞΕΝΟΦΩΝ

Λάρισα, Ιούλιος, 2025.

Πίνακας περιεχομένων

Περιεχόμενα πινάκων και εικόνων.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Εισαγωγή.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°.....	10
1.1 Κυκλική οικονομία για τη διαχείριση απορριμμάτων.....	10
1.1.1 Εξάλειψη των απορριμμάτων.....	10
1.1.2 Κυκλικά υλικά.....	11
1.1.3 Αναγέννηση της φύσης με χρήση οικοσυστημάτων.....	13
1.2 Κυκλική οικονομία και κλιματική αλλαγή.....	14
1.2.1 Στόχοι της κλιματικής αλλαγής.....	14
1.3 Κυκλική οικονομία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	20
1.3.1 Βιομηχανία.....	20
1.3.2 Απόβλητα.....	22
1.3.3 Ενέργεια.....	23
1.3.4 Κτίρια.....	25
1.3.5 Μεταφορές.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°.....	29
2.1 Επιπτώσεις της κυκλικής οικονομίας στη ρύπανση, την ενέργεια, τα απόβλητα, τους φυσικούς πόρους και τη χρήση γης.....	29
2.1.1 Ποιότητα αέρα και νερού.....	29
2.1.2 Κατανάλωση ενέργειας.....	30
2.1.3 Φυσικοί πόροι.....	31
2.1.4 Στερεά και τοξικά απόβλητα.....	32
2.1.5 Χρήση γης και κάλυψη γης.....	33
2.2 Ευκαιρίες της κυκλικής οικονομίας για την κλιματική αλλαγή.....	37
2.3 Κυκλική οικονομία για συστήματα τροφίμων.....	39
2.3.1 Παραγωγή τροφίμων.....	41
2.3.2 Κατανάλωση φαγητού.....	42
2.3.3 Διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°.....	46
3.1 Αξιολόγηση κύκλου ζωής και κυκλική οικονομία.....	46
3.2 Οικονομικές διαδρομές για την κυκλική οικονομία.....	51
3.2.1 Καθιέρωση κυκλικής οικονομίας σε βιομηχανικό πάρκο.....	51

3.2.2	Αύξηση της ανακύκλωσης απορριμμάτων εμπορευμάτων	53
3.3	Σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών απορριμμάτων	55
	Συμπεράσματα	56
	Βιβλιογραφία	59

Περιεχόμενα πινάκων και εικόνων

Εικόνα 1 Μετάβαση από τη γραμμική προσέγγιση της ανακύκλωσης στην κυκλική οικονομία και η σχέση τους με τη διαχείριση απορριμμάτων, Gorrasí et al. (2021)	400
Εικόνα 2 Η κυκλική οικονομία ξεκινά με την κατανάλωση φυσικών πόρων και ολοκληρώνεται με την παραγωγή μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Η θεμελιώδης αρχή της κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση των βιομηχανοποιημένων προϊόντων μετά την καθημερινή κατανάλωση.....	400
Εικόνα 3 Η παραγωγή, η κατανάλωση και η διαχείριση των απορριμμάτων του συστήματος τροφίμων μπορούν όλα να ωφεληθούν από την κυκλική οικονομία.	522
Εικόνα 4 Οικονομικός χάρτης διαδρομής κυκλικής οικονομίας που βασίζεται σε ένα βιομηχανικό πάρκο κυκλικής οικονομίας, την ανακύκλωση χύδην εμπορευμάτων και ένα σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων.....	533
Πίνακας 1 Στόχοι και επιτεύγματα για την αλλαγή του κλίματος έως το 2020–2021.....	15
Πίνακας 2 Ο ειδικός αντίκτυπος της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας στην ποιότητα του αέρα και του νερού, στην κατανάλωση ενέργειας, στους φυσικούς πόρους, στα στερεά και τοξικά απόβλητα και στη χρήση και κάλυψη γης.....	344
Πίνακας 3 Η κυκλική οικονομία υποστηρίζεται από ανάλυση αξιολόγησης κύκλου ζωής	466

Περίληψη

Η παγκόσμια εκβιομηχάνιση και η υπερβολική εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οδήγησαν σε αύξηση των στερεών αποβλήτων και στην κλιματική αλλαγή, απαιτώντας στρατηγικές για την εφαρμογή μιας κυκλικής οικονομίας σε όλους τους τομείς για μείωση των εκπομπών άνθρακα κατά 45% έως το 2030 και για επίτευξη ουδετερότητας άνθρακα έως το 2050. Εδώ εξετάζουμε τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας με έμφαση στη διαχείριση απορριμμάτων, την κλιματική αλλαγή, την ενέργεια, την ποιότητα του αέρα και του νερού, τη χρήση γης, τη βιομηχανία, την παραγωγή τροφίμων, τη ζωή αξιολόγηση του κύκλου και οικονομικά αποδοτικές διαδρομές. Παρατηρήσαμε ότι η αύξηση της χρήσης βιολογικών υλικών αποτελεί πρόκληση όσον αφορά τη χρήση γης και την κάλυψη γης. Οι τεχνολογίες αφαίρεσης άνθρακα είναι στην πραγματικότητα απαγορευτικά ακριβές και κυμαίνονται από 100 έως 1200 δολάρια ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα. Πολιτικά, μόνο λίγες εταιρείες παγκοσμίως έχουν θέσει στόχους για την κλιματική αλλαγή. Ενώ οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορους τομείς όπως η βιομηχανία, τα απόβλητα, η ενέργεια, τα κτίρια και οι μεταφορές, απαιτείται αξιολόγηση του κύκλου ζωής για τη βελτιστοποίηση των νέων συστημάτων. Συνολικά, παρέχουμε μια θεωρητική βάση για ένα βιώσιμο βιομηχανικό, γεωργικό και εμπορικό μέλλον κατασκευάζοντας οικονομικά αποδοτικές διαδρομές προς μια κυκλική οικονομία.

Abstract

Global industrialization and overreliance on non-renewable energy sources have led to an increase in solid waste and climate change, requiring strategies to implement a circular economy across all sectors to reduce carbon emissions by 45% by 2030 and achieve carbon neutrality by 2050. Here, we review circular economy strategies with a focus on waste management, climate change, energy, air and water quality, land use, industry, food production, life cycle assessment, and cost-effective pathways. We note that the increase in the use of bio-based materials poses a challenge in terms of land use and land cover. Carbon removal technologies are in fact prohibitively expensive, ranging from \$100 to \$1200 per ton of carbon dioxide. Politically, only a few companies worldwide have set climate change targets. While circular economy strategies can be applied across sectors such as industry, waste, energy, buildings and transport, life cycle assessment is required to optimise new systems. Overall, we provide a theoretical basis for a sustainable industrial, agricultural and commercial future by constructing cost-effective pathways towards a circular economy.

Εισαγωγή

Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η αντιμετώπιση της εξάντλησης των πόρων και της περιβαλλοντικής ρύπανσης και η βελτιστοποίηση της διαχείρισης των απορριμμάτων έχουν γίνει παγκόσμια καυτά θέματα (Dantas et al. 2021, Sadhukhan et al. 2020, Zhang et al. 2019). Χώρες σε όλο τον κόσμο έχουν εντοπίσει προσπάθειες για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής ως τη δέσμευση για μείωση των εκπομπών ή τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Peña et al. 2021, Serrano et al. 2021). Ωστόσο, μόνο οι κυβερνήσεις του 55% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχουν ανακοινώσει συγκεκριμένους στόχους για αυξημένες μειώσεις εκπομπών άνθρακα έως το 2030, και η πλειονότητα των χωρών εξακολουθεί να σχεδιάζει να επιτύχει καθαρές μηδενικές εκπομπές άνθρακα έως το 2050-2070 (Chen et al. 2022 Wyns and Beagley 2021). Εν τω μεταξύ, τα ενεργειακά συστήματα στις αναπτυσσόμενες χώρες συνεχίζουν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα και η υψηλή κατανάλωση άνθρακα και πετρελαίου στη βιομηχανία και τις μεταφορές συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή και στα ζητήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης (Su and Urban 2021). Επιπλέον, καθώς αυξάνεται ο παγκόσμιος πληθυσμός και το βιοτικό επίπεδο, η αυτοματοποίηση της κατασκευής έχει οδηγήσει σε μαζική παραγωγή και κατανάλωση, με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή στερεών αποβλήτων. Ο αυξανόμενος όγκος και η πολυπλοκότητα των αποβλήτων αποτελούν σημαντική απειλή για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία (Chioatto and Sospiro 2022, Kurniawan et al. 2022).

Σε αυτήν την ανασκόπηση, η εφαρμογή στρατηγικών κυκλικής οικονομίας είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ενίσχυση της βιωσιμότητας του κόσμου. Το σχήμα 1 δείχνει τις τρεις κύριες προσεγγίσεις της γραμμικής, της ανακύκλωσης και της κυκλικής οικονομίας και τη σχέση τους με τη διαχείριση απορριμμάτων. Η αρχή της κυκλικής οικονομίας απεικονίζεται στο Σχ. 2. Από την άποψη της ανθρώπινης οικονομικής βιωσιμότητας, πολλοί μελετητές έχουν επανειλημμένα αναφερθεί στο μοντέλο φυσικού οικοσυστήματος της ροής ύλης και ενέργειας και η κυκλική οικονομία είναι το μοντέλο αυτής της προσέγγισης που τηρεί τους νόμους της φύσης (Korhonen et al. 2018). Γίνεται όλο και πιο προφανές ότι η διαρθρωτική βελτιστοποίηση των μέτρων βιώσιμης ανάπτυξης δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς στρατηγικές κυκλικής οικονομίας (Alhawari et al. 2021). Οι εθνικές κυβερνήσεις

επιδιώκουν να αποσυνδέσουν την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση φυσικών πόρων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος διατηρώντας παράλληλα τους οικονομικούς πόρους για όσο το δυνατόν περισσότερο (Almagtome et al. 2020, Atabaki et al. 2020). Η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας ασχολείται πρωτίστως με την πρόληψη της κατανάλωσης πόρων και τη βελτιστοποίηση της δομής του κύκλου ενέργειας και υλικών στα διάφορα επίπεδα: επιχειρήσεις και καταναλωτές σε μικροεπίπεδο, οικονομικοί παράγοντες ενσωματωμένοι με συμβιωτικό τρόπο στο μέσο επίπεδο, και πόλεις, περιφέρειες και κυβερνήσεις σε μακροοικονομικό επίπεδο (Rincón-Moreno et al. 2021).

Λόγω των τεράστιων διαφορών μεταξύ των επιστημονικών πεδίων και των σχολών σκέψης, οι Nikolaou et al. (2021) διαπίστωσαν ότι οι ορισμοί της κυκλικής οικονομίας δίνουν έμφαση τόσο στη διατήρηση των υλικών όσο και στην οικονομική ανάπτυξη. Ως νέο μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης, η κυκλική οικονομία χρειάζεται να αναδιαρθρώσει και να εκσυγχρονίσει το οικονομικό σύστημα σύμφωνα με τους νόμους που διέπουν την κυκλοφορία των υλικών και τη ροή ενέργειας στο φυσικό οικολογικό σύστημα (Shen et al. 2020). Υπό την αυξανόμενη αποδοχή των αρχών της κυκλικής οικονομίας από τις εθνικές και τοπικές κυβερνήσεις και στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού, η εφαρμογή κυκλικών στρατηγικών σε κλίμακα πόλης καθίσταται απαραίτητη για τη διαχείριση ζητημάτων κλιματικής αλλαγής (Christis et al. 2019). Η κυκλική οικονομία δεν περιορίζεται στην τροποποίηση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων για την αύξηση της αποδοτικότητας των πόρων, τη μείωση των εισροών πόρων και την αύξηση των οικονομικών οφελών. Όλο και περισσότερο, η κυκλική οικονομία αναγνωρίζεται ως μια εξαιρετικά αποτελεσματική στρατηγική τόσο για την ανάπτυξη πολιτικής όσο και για τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (De Pascale et al. 2021, Durán-Romero et al. 2020).

Αυτή η ανασκόπηση δείχνει συστηματικά πώς η κυκλική οικονομία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματική στρατηγική διαχείρισης απορριμμάτων που βασίζεται σε τρεις πτυχές: εξάλειψη των αποβλήτων, ανακυκλοφορία υλικών και αναγέννηση οικοσυστημάτων. Η καινοτομία αυτής της ανασκόπησης επικεντρώνεται κυρίως στη διευκρίνιση της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας ως αποτελεσματικού μέτρου για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στη διερεύνηση του πόσο καλά η κυκλική οικονομία πληροί τους στόχους της κλιματικής αλλαγής και πώς

η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας αντιμετωπίζει το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής. Εν τω μεταξύ, θα διεξαχθεί έρευνα για τις συγκεκριμένες επιπτώσεις των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, την κατανάλωση ενέργειας, τους φυσικούς πόρους, τα στερεά τοξικά απόβλητα και τη χρήση γης. Επιπλέον, οι ευκαιρίες που παρουσιάζει η κυκλική οικονομία θα διερευνηθούν στο πλαίσιο των βιομηχανικών συστημάτων και των συστημάτων τροφίμων. Τελικά, θα διεξαχθεί μια κριτική ανάλυση της ανάλυσης πλήρους κύκλου ζωής της κυκλικής οικονομίας και θα αναπτυχθεί μια οικονομικά αποδοτική διαδρομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Κυκλική οικονομία για τη διαχείριση απορριμμάτων

Υπάρχουν πολλές έννοιες της κυκλικής οικονομίας, που χρονολογούνται από το 1966 (Adami and Schiavon 2021). Επιπλέον, το 1991, οι ερευνητές ανέλυσαν την προσέγγιση της οικονομικής ανακύκλωσης (Leontief 1991). Ωστόσο, η έννοια της κυκλικής οικονομίας ορίστηκε μόλις το 2013. Η κυκλική οικονομία στοχεύει στη μείωση των απορριμμάτων από τις διαδικασίες παραγωγής και διανομής ως ένα από τα συστατικά της. Η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (Ευρωπαϊκή Ένωση 2008) ενίσχυσε περαιτέρω τη σύνδεση μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και της διαχείρισης αποβλήτων. Κατά συνέπεια, η κυκλική οικονομία μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για τη μείωση της ανάκτησης και της ανακύκλωσης απορριμμάτων.

1.1.1 Εξάλειψη των απορριμμάτων

Η ταχεία οικονομική και πληθυσμιακή ανάπτυξη και η αυξημένη αστικοποίηση έχουν οδηγήσει σε αύξηση των στερεών αποβλήτων στα περισσότερα έθνη του κόσμου, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Guerrero et al. 2013). Η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική παράγουν μεταξύ 1,6 και 2,2 τόνους ανά άτομο ανά έτος στερεών αποβλήτων, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν σταδιακά (Aguilar-Hernandez et al. 2011). Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος εκτιμά ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρήγαγαν περίπου 238,5 εκατομμύρια τόνους αστικών στερεών αποβλήτων το 2015, μια σημαντική αύξηση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια (United States Environmental Protection Agency 2015). Η μέση ημερήσια ποσότητα αστικών στερεών αποβλήτων της Κίνας είναι 0,73 κιλά (Zhu et al. 2021). Στην Ινδία, η κατά κεφαλήν παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων είναι περίπου $91,01 \pm 45,5$ γραμμάρια την ημέρα, ενώ η κατά κεφαλήν παραγωγή οργανικών αποβλήτων είναι 74 ± 35 γραμμάρια ανά άτομο την ημέρα (Ramachandra et al. 2018). Η παγκόσμια κατά κεφαλήν παραγωγή στερεών αποβλήτων εκτιμάται σε περίπου 1,74 τόνους ετησίως (Song et al. 2015). Με την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων θα υπάρξει και αντίστοιχα μεγάλη κατανάλωση φυσικών πόρων. Οποιαδήποτε παραγωγή στερεών αποβλήτων καταναλώνει φυσικούς πόρους, καθιστώντας αναγκαία την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, γεγονός που όχι μόνο διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση των

αποβλήτων αλλά και μειώνει το οικονομικό κόστος που σχετίζεται με τη διαχείριση των απορριμμάτων.

Οι παγκόσμιες κυβερνήσεις βρίσκονται υπό τεράστια πίεση να μειώσουν την παραγωγή αποβλήτων εφαρμόζοντας διάφορες βιώσιμες προσεγγίσεις για την αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων λόγω της τεράστιας ποσότητας αποβλήτων (Cheng and Hu 2010). Οι μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων είναι τεχνικές μηχανικής που ανακτούν και επαναχρησιμοποιούν τους πόρους στερεών αποβλήτων. Η περιβαλλοντική μηχανική διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη τεχνολογιών διάθεσης, ανακύκλωσης και χρήσης στερεών αποβλήτων, ανάλογα με την πηγή, τη φύση, τα χαρακτηριστικά και τους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα στερεά απόβλητα συνήθως απορρίπτονται μέσω αποθήκευσης, σωρών περιορισμού, χωματερών, αποτέφρωσης και βιοαποδόμησης. Ωστόσο, οι ερευνητές έχουν προτείνει στρατηγικές μηδενικών αποβλήτων για τη μείωση της αυξανόμενης ποσότητας στερεών αποβλήτων (Bartl 2011, Phillips et al. 2011, Song et al. 2015). Μια στρατηγική μηδενικών αποβλήτων είναι ο επανασχεδιασμός του κύκλου ζωής ενός πόρου για να διασφαλίσει ότι όλα τα προϊόντα ανακυκλώνονται και ότι δεν αποστέλλονται απόβλητα σε χώρους υγειονομικής ταφής, αποτέφρωση ή άλλες παραδοσιακές μεθόδους διάθεσης, επιτρέποντας στα απόβλητα να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν (Zaman 2014, Zaman and Lehmann 2011). Ουσιαστικά, η ανακύκλωση απορριμμάτων σε νέα υλικά είναι μια μέθοδος επαναχρησιμοποίησης πόρων, επιτυγχάνοντας έτσι τον στόχο της βιωσιμότητας.

Αυτή η ενότητα εστιάζει στον τρόπο επίλυσης της αυξανόμενης ποσότητας στερεών αποβλήτων λόγω της ταχείας οικονομικής και πληθυσμιακής αύξησης. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος εκτιμά ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρήγαγαν 238,5 εκατομμύρια τόνους αστικών στερεών αποβλήτων το 2015, μια σημαντική αύξηση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Ως αποτέλεσμα, οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο δέχονται τεράστια πίεση να μειώσουν την παραγωγή αποβλήτων εφαρμόζοντας διάφορες βιώσιμες προσεγγίσεις, όπως στρατηγικές κυκλικής οικονομίας για την αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων.

1.1.2 Κυκλικά υλικά

Ο αυξανόμενος όγκος στερεών αποβλήτων έχει προκαλέσει έλλειψη χώρων υγειονομικής ταφής (Li et al. 2019, Silva et al. 2017). Οι συμβατικές μέθοδοι διάθεσης

των απορριμμάτων όχι μόνο σπαταλούν τους πόρους της γης αλλά και ρυπαίνουν το περιβάλλον. Τα φυσικά υλικά είναι επίσης σε έλλειψη λόγω της εκτεταμένης χρήσης φυσικών πόρων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των στερεών αποβλήτων λύνει το πρόβλημα της σπανιότητας των φυσικών πόρων, προστατεύει το περιβάλλον και τελικά οδηγεί σε ένα μοντέλο ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας. Στο τέλος του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, το μοντέλο ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας παρέχει μεγαλύτερα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη επιδεικνύοντας οφέλη διαχείρισης απορριμμάτων σε πολλαπλά χωρικά επίπεδα και διευκολύνοντας τη μετατροπή των αποβλήτων σε κυκλοφορούντα υλικά.

Επί του παρόντος, υπάρχουν πέντε κύριες πτυχές της ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων σε κυκλοφορούντα υλικά (Abdel-Shafy και Mansour 2018, Chen et al. 2019, Ibrahim and Mohamed 2016, Li et al. 2019):

- (1) εξόρυξη πολύτιμων μετάλλων όπως ο χαλκός, σίδηρος, χρυσός και ασήμι από σκωρία τήξης μετάλλων. εξαγωγή γυάλινων σφαιριδίων από ιπτάμενη τέφρα. ανάκτηση θείουχου σιδηρομεταλλεύματος από γάνωμα άνθρακα
- (2) ανακύκλωση στερεών αποβλήτων όπως χαρτί, γυαλί, μέταλλο και πλαστικό
- (3) η παραγωγή δομικών υλικών από σκωρία υψικαμίνου, ιπτάμενη τέφρα, κάρβουνο, πλαστικά απόβλητα, λάσπη, απορρίμματα και οικοδομικά απόβλητα, τα οποία περιλαμβάνουν ελαφρά αδρανή, θερμομονωτικά και θερμομονωτικά υλικά, διακοσμητικά πάνελ, ρολά και επιστρώσεις στεγανοποίησης, ανακυκλωμένο σκυρόδεμα και άλλα υλικά
- (4) την παραγωγή τσιμέντου από ιπτάμενη τέφρα, κάρβουνο και κόκκινη λάσπη, τη χρήση σκωρίας χρωμίου αντί ασβεστόλιθου ως παράγοντα σύντηξης για την παραγωγή σιδήρου και άλλα εναλλακτικά υλικά
- (5) στερεά απόβλητα υψηλής θερμογόνου δύναμης μέσω αποτέφρωσης για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χρήση απορριμμάτων κουζίνας, άχυρου φυτών, κοπριάς ανθρώπου και ζώων και λάσπης μπορεί να ζυμωθεί για την παραγωγή εύφλεκτου βιοαερίου. Έτσι, τα στερεά απόβλητα διαλέγονται πρώτα για την ανάκτηση χρήσιμων πόρων όπως πλαστικά, καουτσούκ, χαρτί, γυαλί και μέταλλο. Στη συνέχεια συνθλίβεται σε κατάλληλο μέγεθος σωματιδίων και ταξινομείται περαιτέρω χρησιμοποιώντας μαγνητικό διαχωρισμό και

άλλες τεχνικές για την ανάκτηση χρήσιμων πόρων. Μετά τον διαχωρισμό, τα διάφορα κλάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κομποστοποίηση, παραγωγή βιοαερίου, παραγωγή παράγωγων καυσίμων ή αποτέφρωση για την ανάκτηση θερμικής ενέργειας. Τα απόβλητα αέρια και τα λύματα που παράγονται κατά τη διαδικασία αξιοποίησης των πόρων πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα πριν απελευθερωθούν. Τα υπολείμματα απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οικοδομικά και οδικά υλικά. Όσα δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν απορρίπτονται σε χωματερές, επιτυγχάνοντας στο τέλος ένα κυκλικό οικοσύστημα.

Αυτή η ενότητα εστιάζει στην έλλειψη χώρου υγειονομικής ταφής λόγω του αυξανόμενου όγκου στερεών αποβλήτων. Επιπλέον, οι συμβατικές μέθοδοι διάθεσης απορριμμάτων όχι μόνο ρυπαίνουν τους ερημικούς πόρους αλλά και ρυπαίνουν το περιβάλλον. Επομένως, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση στερεών αποβλήτων μπορεί να διευκολύνει τη μετατροπή των αποβλήτων σε κυκλοφορούντα υλικά, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

1.1.3 Αναγέννηση της φύσης με χρήση οικοσυστημάτων

Λόγω της κατανάλωσης μη ανανεώσιμων πόρων από τις παραδοσιακές βιομηχανίες και του υψηλού επιπέδου περιβαλλοντικής ρύπανσης, η μετατροπή των απορριμμάτων σε κυκλοφορούντα υλικά είναι ένα παράδειγμα οικολογικού μετασχηματισμού των παραδοσιακών οικονομικών συστημάτων (Ghisellini et al. 2016). Το οικοδυναμικό σύστημα είναι η θεμελιώδης κινητήρια δύναμη πίσω από την ανάπτυξη μιας περιφερειακής κυκλικής οικονομίας, η οποία προάγει τη βελτίωση και την αναβάθμιση της οργανωτικής δομής και των λειτουργικών μηχανισμών της περιφερειακής παραγωγής, κυκλοφορίας και κατανάλωσης και τελικά επιτυγχάνει τα μέγιστα οικονομικά οφέλη ενώ ταυτόχρονα μειώνει την κατανάλωση πόρων και την πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Με άλλα λόγια, η μετατροπή των απορριμμάτων σε κυκλοφορούντα υλικά είναι ένας τρόπος για την ανθρωπότητα να επιδιώκει την οικολογική και ανθρώπινη πρόοδο επιδιώκοντας παράλληλα την οικονομική βιωσιμότητα στο στάδιο του οικολογικού πολιτισμού.

Το πιο αντιπροσωπευτικό μοντέλο για την ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας είναι η νέα μέθοδος παραγωγής στην οποία οι άνθρωποι ζουν σε αρμονία με το οικοσύστημα. Η διαισθητική έκφραση της δυναμικής της οικολογικής παραγωγικότητας, γνωστή και ως οικοδυναμική, είναι ότι η οικολογική

παραγωγικότητα προωθεί την αρμονική ανταλλαγή πληροφοριών, ενέργειας και υλικών μεταξύ του ανθρώπου και της φύσης. Προωθείται διαρκώς η ενσωμάτωση και οικολογική νομοθεσία των φυσικών οικοσυστημάτων, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του οικολογικού πολιτισμού στην ανθρώπινη κοινωνία. Τελικά, σύμφωνα με τους οικολογικούς νόμους, διαμορφώνεται ένα σύνθετο οικολογικό σύστημα.

Αυτή η ενότητα εξετάζει την κυκλική οικονομία ως προσέγγιση για τη διαχείριση των απορριμμάτων, ξεκινώντας από τις τρέχουσες πιέσεις στα μεμονωμένα έθνη να απορρίψουν τα απόβλητα και να τα μετατρέψουν σε κυκλοφορούντα υλικά με διάφορα μέσα, και τελικά δημιουργώντας οικοσυστήματα που μεγιστοποιούν την οικονομική απόδοση, μειώνουν την κατανάλωση πόρων και αποτρέπουν περιβαλλοντική ρύπανση.

1.2 Κυκλική οικονομία και κλιματική αλλαγή

1.2.1 Στόχοι της κλιματικής αλλαγής

Οι χώρες σε όλο τον κόσμο έχουν συμφωνήσει να επιτύχουν τους στόχους μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Fawzy et al. 2021). Ένας από τους στόχους είναι να μειωθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη κάτω από 1,5 °C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Επιπλέον, μείωση των εκπομπών άνθρακα κατά 45% έως το 2030 και επίτευξη ουδετερότητας άνθρακα έως το 2050, όπως ορίζεται στη Συμφωνία του Παρισιού, η οποία εγκρίθηκε από 196 μέρη στην 21η διάσκεψη των μερών. Επιπλέον, η συμφωνία του Παρισιού ενθαρρύνει τις ανεπτυγμένες χώρες να παρέχουν στα αναπτυσσόμενα έθνη οικονομική και τεχνολογική υποστήριξη για τον μετριασμό και την προσαρμογή της κλιματικής αλλαγής. Η εφαρμογή μηδενικών εκπομπών άνθρακα ήταν ανταγωνιστική, όσον αφορά περίπου το 25% των εκπομπών από οικονομικούς τομείς, ιδιαίτερα τους τομείς της ενέργειας και των μεταφορών. Ωστόσο, οι χώρες προφανώς εγκαταλείπουν το σχέδιο του 2030 για μείωση των εκπομπών άνθρακα κατά 45%, καθώς η τρέχουσα πρόβλεψη προβλέπει αύξηση 14% στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030 (Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή 2021). Επιπλέον, η πλειονότητα των εκπομπών προέρχεται από μικρό αριθμό χωρών, καθώς οι δέκα κορυφαίες εκπομπές αντιπροσωπεύουν πάνω από το 68% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αντίθετα, λιγότερες από εκατό χώρες ευθύνονται για το 3% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι δέκα πρώτες χώρες εκπομπών

είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ινδία, η Ρωσική Ομοσπονδία, η Ιαπωνία, η Βραζιλία, η Ινδονησία, το Ιράν και ο Καναδάς. Η περίληψη των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών του 2020/2021 των δέκα κορυφαίων εκπομπών μπορεί να βρεθεί στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Στόχοι και επιτεύγματα για την αλλαγή του κλίματος έως το 2020–2021

Χώρα	Στόχοι	Επιτεύγματα μέχρι το 2020/2021
Κίνα	Επίτευξη κορυφής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 και ουδετερότητας άνθρακα έως το 2060 Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος κατά 65% από τα επίπεδα του 2005. Αύξηση του μεριδίου ενέργειας των μη ορυκτών καυσίμων στο 25% και αύξηση της ηλιακής και αιολικής ισχύος σε 1,2 δισεκατομμύρια κιλοβάτ έως το 2030	Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος το 2019 μειώθηκαν κατά 48,1% σε σύγκριση με το 2005, ποσοστό που είναι καλύτερο από τον στόχο του 2020 για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος κατά 40-45% Το 2019, το μερίδιο της ενέργειας από μη ορυκτά καύσιμα ήταν 15,3% που αυξήθηκε από 7,9% το 2005
Ηνωμένες Πολιτείες	Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 50–52% το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 Επίτευξη ηλεκτρικής ενέργειας 100% χωρίς εκπομπές άνθρακα έως το 2035 Επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών σε ολόκληρη την οικονομία πριν από το 2050	Το 2020, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ήταν 17% χαμηλότερες σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 Το 2020, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έφτασαν τις 761 εκατομμύρια μεγαβατώρας, περίπου το 19% της συνολικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας
Ευρωπαϊκή Ένωση	Επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050	Μέχρι το 2019, η Ευρωπαϊκή Ένωση είχε μειώσει τις εκπομπές τους κατά 26% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990

	Αύξηση της κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 32% έως το 2030, που είναι διπλάσιο από το ποσοστό του 2017 Μείωση των εκπομπών άνθρακα ανά χιλιόμετρο για επιβατικά και φορτηγά αυτοκίνητα κατά 37,5% και 31% το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2021 Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990	Οι μέσες κατά κεφαλήν εκπομπές έχουν μειωθεί από 12 τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα το 1990 σε 8,3 τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα το 2019
Ινδία	Μείωση της έντασης των εκπομπών του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος κατά 20–25% και 33–35% το 2020 και το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 Επίτευξη του 40% της εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας από μη ορυκτά καύσιμα Επίτευξη 60 γιγαβάτ και 100 γιγαβάτ εγκατεστημένης αιολικής και ηλιακής ισχύος το 2022	Η ένταση των εκπομπών του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος μειώθηκε κατά 12% μεταξύ 2005 και 2010 Αυξήθηκε η ανανεώσιμη ενέργεια από 2% (3,9 γιγαβάτ) σε 13% (36 γιγαβάτ) μεταξύ 2002 και 2015
Ρωσική Ομοσπονδία	Μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου κατά 70% το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 Μείωση αθροιστικά πάνω από 55 δισεκατομμύρια τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα έως το 2030 από το 1990	-

Ιαπωνία	Μείωση των εκπομπών θερμοκηπίου κατά 46% (760 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα) το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2013 Επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών άνθρακα έως το 2050	-
Βραζιλία	Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 37% και 50% το 2025 και το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 Επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050	Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν το 48,4% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης το 2020
Ινδονησία	Από το 2020 έως το 2030, μείωση των εκπομπών κατά 29% χωρίς όρους και έως και 41% υπό όρους της επιχείρησης ως συνήθως Αύξηση του μεριδίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε τουλάχιστον 23% και 31% το 2025 και το 2050	-
Ιράν	Υπόσχεση μείωσης εκπομπών άνευ όρων 4% και υπόσχεση μείωσης εκπομπών 12% το 2030. Και οι δύο δεσμεύσεις υπόκεινται σε άρση των τρεχουσών κυρώσεων Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των βιομηχανιών κατά 1% ετησίως	-

	Επέκταση της εγκατάστασης αιολικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας στα 6 γιγαβάτ και 18,7 γιγαβάτ έως το 2030	
Καναδάς	Μείωση των εκπομπών κατά 40–45% το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005 Επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050	Παράγει το 82% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας από καθαρές πηγές

Εκτός από τους εθνικούς στόχους για την κλιματική αλλαγή, οι εταιρείες σε όλο τον κόσμο έχουν θέσει τους στόχους τους για την κλιματική αλλαγή. Μελετήθηκαν 1495 εταιρείες παγκοσμίως και περίπου 1099 (73,5%) εταιρείες υιοθέτησαν στόχους για την κλιματική αλλαγή (Wang and Sueyoshi 2018). Οι χώρες που πρωτοστατούν στην υιοθέτηση της κλιματικής αλλαγής από τις εταιρείες είναι η Ιαπωνία, η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι Ηνωμένες Πολιτείες με 97,35%, 76,76% και 73,91%, ενώ οι ανεπτυγμένες χώρες με τη χαμηλότερη υιοθέτηση της κλιματικής αλλαγής είναι η Αυστραλία και ο Καναδάς με 56% και 47,87%. τιμή. Οι εταιρείες στον Καναδά και την Αυστραλία υστερούν στην υιοθέτηση της κλιματικής αλλαγής λόγω των αδύναμων εθνικών πολιτικών για το κλίμα και των οικονομιών που βασίζονται στους πόρους. Ο τομέας των υλικών, ιδιαίτερα οι βιομηχανίες μετάλλων και εξόρυξης, έχει τη χαμηλότερη υιοθέτηση της κλιματικής αλλαγής στον Καναδά και την Αυστραλία με 43,48% και 26,67%, αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, το υψηλό ποσοστό στόχου των ιαπωνικών εταιρειών για την κλιματική αλλαγή είναι εξαιρετικό, γεγονός που αποδίδεται στη σπανιότητα των πόρων, τη συγκέντρωση της κυβέρνησης σε καθαρές εξελίξεις και την έμφαση στις λιτές λειτουργίες.

Εκτός από τις παγκόσμιες εταιρείες, οι τομείς του λιανικού εμπορίου έχουν επίσης θέσει τους στόχους τους για την κλιματική αλλαγή. Οι εκπομπές των σούπερ μάρκετ του Ηνωμένου Βασιλείου αντιπροσωπεύουν το 0,9% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. ο τομέας λιανικής πώλησης των Ηνωμένων Πολιτειών αντιπροσωπεύει την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας και τις δεύτερες υψηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με όλους τους εμπορικούς τομείς (Sullivan and Gouldson 2016). Μερικοί από τους στόχους των σούπερ μάρκετ του Ηνωμένου

Βασιλείου περιλαμβάνουν τον στόχο της Tesco να είναι μια επιχείρηση καθαρού μηδενικού άνθρακα έως το 2050 και να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της αλυσίδας εφοδιασμού κατά 30% το 2020 σε σύγκριση με το 2008. Άλλα σούπερ μάρκετ είναι της Sainsbury's, με στόχο τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου κατά 50% εκπομπές έως το 2030 και Morrisons, με στόχο τη μείωση των λειτουργικών αερίων θερμοκηπίου εκπομπές κατά 30% το 2020 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005. Από την άλλη πλευρά, τα σούπερ μάρκετ των Ηνωμένων Πολιτειών όπως το Best Buy είχαν στόχο να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα κατά 20% το 2020 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2009. Η Walmart είχε στόχο να εξαλείψει 20 εκατομμύρια τόνους εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τον κύκλο ζωής των προϊόντων έως το 2015 και η Home Depot είχε στόχο να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη μεταφορά και τη διανομή κατά 20% το 2015 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2009. Από τα λίγα σούπερ μάρκετ που επισημάνθηκαν, τα στοιχεία δείχνουν ότι οι λιανοπωλητές του Ηνωμένου Βασιλείου έχουν απόλυτους στόχους εκπομπών, με έμφαση στις αλυσίδες εφοδιασμού και μεγαλύτερα χρονοδιαγράμματα. Αντίθετα, οι λιανοπωλητές των Ηνωμένων Πολιτειών έχουν στενή εστίαση στις εκπομπές που σχετίζονται με τις μεταφορές και τη λειτουργία και σε μικρότερα χρονικά πλαίσια. Η παρατήρηση του τομέα λιανικής έδειξε ότι εάν επιτευχθούν όλοι οι στόχοι των λιανοπωλητών του Ηνωμένου Βασιλείου, η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου θα είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τα επιτεύγματα των στόχων των λιανοπωλητών των Ηνωμένων Πολιτειών.

Συμπερασματικά, η επίτευξη των στόχων για την κλιματική αλλαγή είναι ακόμη πίσω από το χρονοδιάγραμμα και οι κυβερνήσεις, ιδιαίτερα οι κορυφαίες εκπομπές ρύπων, θα πρέπει να λάβουν άμεση δράση για τη μείωση των εκπομπών και την ενίσχυση της εθνικά καθορισμένης συνεισφοράς τους.

Οι χώρες υιοθετούν οικονομικές και κοινωνικές μεταρρυθμίσεις για να επιτύχουν τους στόχους τους για την κλιματική αλλαγή. Ένας από τους τομείς που υπόκεινται σε αλλαγές είναι ο ενεργειακός τομέας, καθώς οι χώρες στρέφουν την προσοχή τους σε ενεργειακές τεχνολογίες όπως η βιομάζα, η ηλιακή, η αιολική, η πυρηνική ενέργεια, το υδρογόνο και τα απόβλητα σε ενέργεια για να επιτύχουν τους στόχους τους για την κλιματική αλλαγή (Kang et al. 2020 Osman et al. 2022b). Επιπλέον, άλλες τεχνολογίες που υιοθετήθηκαν για την απαλλαγή του ενεργειακού

τομέα περιλαμβάνουν τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα βιοενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα, τα έξυπνα δίκτυα, τις τεχνολογίες αποθήκευσης και εξοικονόμησης ενέργειας (Osman et al. 2021a). Η δημιουργία κοινωνικής ευαισθητοποίησης, η εφαρμογή φιλικών προς το κλίμα πολιτικών, η εφαρμογή βιώσιμου αστικού σχεδιασμού, η μετάβαση από μια γραμμική σε μια κυκλική οικονομία, η διευκόλυνση της ανθεκτικότητας στη γεωργία, η προώθηση καθαρών μεταφορών και η διεξαγωγή κλιματικής έρευνας είναι πρόσθετα μέτρα που λαμβάνονται για την επίτευξη των στόχων της κλιματικής αλλαγής (Moore et. al. 2021). Επιπλέον, επιλογές αφαίρεσης άνθρακα όπως η αναδάσωση που κοστίζει 3–30 δολάρια ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα και είναι εμπορικά έτοιμη για εφαρμογή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη των στόχων εκπομπών άνθρακα (Princiotta 2021). Ωστόσο, άλλες επιλογές αφαίρεσης άνθρακα, όπως η άμεση σύλληψη αέρα, ο βιοαπάνθρακας και η επιταχυνόμενη διάβρωση έχουν προβλήματα όπως υψηλό κόστος 100–1200 δολαρίων ανά τόνο διοξειδίου του άνθρακα και δεν είναι εμπορικά έτοιμες καθώς βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης. εκτός από το biochar που είναι τεχνολογικά έτοιμο για άμεση ανάπτυξη. Καμία μεμονωμένη δράση δεν μπορεί να επιτύχει τους στόχους για την κλιματική αλλαγή. Η επίτευξη των στόχων απαιτεί πολλαπλές δράσεις για το κλίμα και τεχνολογικές προόδους σε όλους τους τομείς.

Συνοπτικά, οι χώρες χρησιμοποιούν ποικίλες στρατηγικές για να επιτύχουν τους στόχους τους για την κλιματική αλλαγή. Μία από τις στρατηγικές είναι η μετάβαση από τη γραμμική σε μια κυκλική οικονομία, η οποία συζητείται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες αυτής της ανασκόπησης.

1.3 Κυκλική οικονομία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας βελτιώνει την αποδοτικότητα των πόρων ενώ μειώνει τις εισροές και τις εκπομπές και ως εκ τούτου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Όπως συζητήθηκε σε αυτή την ενότητα, η κυκλική οικονομία μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, τα απόβλητα, η ενέργεια, τα κτίρια και οι μεταφορές.

1.3.1 Βιομηχανία

Καθώς η εκβιομηχάνιση προχωρά, το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τη βιομηχανία αυξάνεται σταδιακά. Οι στρατηγικές κυκλικής

οικονομίας μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα και παρέχουν ένα κερδοφόρο επιχειρηματικό μοντέλο για τη βιομηχανία με βελτιωμένη ποιότητα, απόδοση και συνθήκες εργασίας μέσω ενός ανιχνεύσιμου αποτυπώματος άνθρακα σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος (Khan et al. 2021). Η χρήση της τεχνολογίας blockchain στις αλυσίδες εφοδιασμού μπορεί να παρέχει ακριβή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο των διαδικασιών κυκλικής οικονομίας, όπως ο κυκλικός σχεδιασμός, η αποδοτικότητα παραγωγής και η ανακύκλωση, μειώνοντας έτσι το αποτύπωμα άνθρακα των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας κατά ένα σημαντικό ποσό. Η μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη, σε προϊόντα με υψηλή προστιθέμενη αξία έχει γίνει ένας σημαντικός τομέας μελέτης. Οι συγγραφείς υπολόγισαν ότι το 5-10% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καυσίμων και χημικών ουσιών σε μια κυκλική οικονομία (Cucciniello και Cespi 2018). Οι Wang et al. (2019) ανακάλυψε ότι τα μέτρα ανάκτησης πόρων θα μειώναν τις συνολικές εκπομπές άνθρακα των βιομηχανικών πάρκων αντικαθιστώντας πηγές ενέργειας έντασης άνθρακα μέσω μιας ποσοτικής ανάλυσης του αντίκτυπου μιας κυκλικής οικονομίας. Συνοψίζοντας, η χρήση βιομηχανικών υποπροϊόντων στην κυκλική οικονομία μπορεί να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα ενώ προσθέτει αξία στις βιομηχανικές διαδικασίες.

Άλλοι κλάδοι που μπορούν να υιοθετήσουν μέτρα κυκλικής οικονομίας είναι οι βιομηχανίες καταναλωτικών αγαθών. Τα οικιακά πλυντήρια δεν χρησιμοποιούνται πλήρως όπως τις περισσότερες φορές, είναι αδρανείς. Ο κλάδος των πλυντηρίων ρούχων μπορεί να μετατραπεί σε μια κυκλική οικονομία μέσω τρόπων όπως η κοινή χρήση μεταξύ των νοικοκυριών, ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση και η χρήση τεχνολογιών του Διαδικτύου των πραγμάτων και των μεγάλων δεδομένων (Bressanelli et al. 2017). Η χρήση στρατηγικών κυκλικής οικονομίας μπορεί να εξοικονομήσει το 30% του κόστους πλύσης, ενώ παράλληλα μειώνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατανάλωση νερού στη χώρα κατά 0,6% και 1% και ως εκ τούτου αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή. Ο μετασχηματισμός της βιομηχανίας τροφίμων σε μια κυκλική οικονομία μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Μια μελέτη αξιολόγησης κύκλου ζωής του κονσερβοποιημένου τόνου στη Γαλικία της Ισπανίας έδειξε ότι η συμπερίληψη της αξιοποίησης των βιολογικών αποβλήτων και η παραγωγή πατέ τόνου, ιχθυαλεύρου και ελαίου στη διαδικασία κονσερβοποιημένου τόνου μειώνει τις

περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά 0,03 κιλά ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα ανά κουτί (Cortés et al. 2021). Συνοψίζοντας, η επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας στις βιομηχανίες απαιτεί προσπάθειες όπως η αλλαγή στο σχεδιασμό των αγαθών και η εισαγωγή νέων διαδικασιών στην αλυσίδα παραγωγής, οι οποίες μπορεί να είναι ακριβές στην αρχή, αλλά θα ωφελήσουν τις βιομηχανίες και θα αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή μακροπρόθεσμα.

Συνολικά, η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές άνθρακα από τις βιομηχανικές διαδικασίες και να μετριάσει το παγκόσμιο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής.

1.3.2 Απόβλητα

Η αύξηση του πληθυσμού προκαλεί αύξηση των απορριμμάτων, των οποίων η διάθεση γίνεται δύσκολη και συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή, ενώ η κυκλική οικονομία της ανακύκλωσης των απορριμμάτων μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Osman et al. 2022a). Η αποτελεσματικότητα δύο συστημάτων διαχείρισης οικιακών οργανικών απορριμμάτων, της αναερόβιας χώνευσης και της αποτέφρωσης, μελετήθηκε στο Trondheim της Νορβηγίας (De Sadeleer et al. 2020). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανακύκλωση μέσω αναερόβιας χώνευσης παρήγαγε χαμηλότερες εκπομπές από την αποτέφρωση, υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται βιοαέριο αντί του ντίζελ. Επιπλέον, η μείωση της σπατάλης τροφίμων κατά 15% έως 30% οδήγησε σε μεγάλες ποσότητες αποφυγής εκπομπών. Επομένως, η πρόληψη της σπατάλης τροφίμων υπερτερεί της ανακύκλωσης και της αποτέφρωσης. Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, μια άλλη μελέτη εξέτασε τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από τις εκπομπές των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Η παραγωγή βιοαπανθράκων από λάσπη, κατασκευασμένους υγροτόπους και μικροβιακές ηλεκτροχημικές διεργασίες είναι μεταξύ των τεχνολογιών που εξετάστηκαν (Pahunang et al. 2021). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ιλύς και ο βιοαπάνθρακας των κατασκευασμένων υγροτόπων ήταν οι πιο οικονομικές τεχνολογίες. Επιπλέον, οι μικροβιακές ηλεκτροχημικές διεργασίες ήταν οι πιο αποτελεσματικές στην παραγωγή πολύτιμων υποπροϊόντων από τα επεξεργασμένα λύματα. Εδώ, οι συγγραφείς προτείνουν ότι η παραγωγή απορριμμάτων θα πρέπει να αποφεύγεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Εάν

παράγονται απόβλητα, θα πρέπει να εφαρμόζονται στρατηγικές κυκλικής οικονομίας για τη μεγιστοποίηση της χρήσης των πόρων και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, εφαρμόζονται στρατηγικές για την επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας απορριμμάτων, όπως η αύξηση της ανακύκλωσης των αστικών απορριμμάτων κατά 65% και η ανακύκλωση όλων των πλαστικών συσκευασιών έως το 2030 (Aceleanu et al. 2019). Μέχρι το 2018, από 2,2 δισεκατομμύρια τόνους απορριμμάτων, 0,6 δισεκατομμύρια τόνοι (27%) ανακυκλώθηκαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η στροφή σε μια κυκλική οικονομία αποβλήτων έχει τα πλεονεκτήματα της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, της μείωσης των δαπανών διαχείρισης απορριμμάτων και της δημιουργίας θέσεων εργασίας. Άλλες τεχνικές κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν τη χρήση οργανικών απορριμμάτων τροφίμων και επεξεργασμένων λυμάτων για την παραγωγή ανακυκλωμένου νερού και λιπασμάτων (Oliveira et al. 2021). Το άχυρο από την εκτροφή σιταριού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, ζωοτροφή ή ανάκτηση ενέργειας. Επιπλέον, τα υπολείμματα των φύλλων ανανά στα αγροκτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκτηση ινών νανοκυτταρίνης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επούλωση πληγών και τη χορήγηση φαρμάκων. Επιπλέον, τα απόβλητα φυτικών και μαγειρικών ελαίων μπορούν να μεταποιηθούν σε βιοαποικοδομήσιμα απορρυπαντικά και το πίτουρο σιταριού μπορεί να μεταποιηθεί σε βιοδιασπώμενα επιτραπέζια σκεύη.

Συμπερασματικά, η ανακύκλωση και η μετατροπή των αποβλήτων σε χρήσιμες πρώτες ύλες για την παραγωγή άλλων αγαθών προστιθέμενης αξίας έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματική χρήση των πόρων και μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα από τις επιβλαβείς μεθόδους διάθεσης αποβλήτων όπως η υγειονομική ταφή και η αποτέφρωση. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να διεξαχθεί περισσότερη έρευνα σχετικά με την ανακύκλωση μεγάλης κλίμακας και τη χρήση τεχνολογίας απορριμμάτων για την επίτευξη κυκλικής οικονομίας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

1.3.3 Ενέργεια

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται λόγω της βελτίωσης της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής. Ωστόσο, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας συνοδεύεται από αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή. Η εφαρμογή στρατηγικών κυκλικής οικονομίας και ψηφιακών τεχνολογιών που σχετίζονται με την τεχνητή

νοημοσύνη μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και να διευκολύνει το εμπόριο άνθρακα για να βοηθήσει τις χώρες να επιτύχουν τους στόχους τους μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Jose et al. [2020](#)). Χρησιμοποιώντας ένα τυπικό μοντέλο ποσοτικοποίησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ανάλυση σεναρίων, οι Islam et al. ([2021](#)) καθόρισε ότι ένας συνδυασμός αρχών της κυκλικής οικονομίας και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση κατά 37,5% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον κτηνοτροφικό τομέα στο Μπαγκλαντές. Για να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών, μετά το τέλος της ζωής τους, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να ανακτηθούν οι ίνες και να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή νέων ανεμογεννητριών. Ωστόσο, οι ίνες άνθρακα αποικοδομούνται μετά από πολλαπλές θερμικές επεξεργασίες. ως εκ τούτου απαιτείται έρευνα σχετικά με τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της διαδικασίας ανάκτησης ινών (Hao et al. [2020](#)). Εδώ, οι συγγραφείς προτείνουν την ανάπτυξη τεχνολογιών κυκλικής οικονομίας από εργαστηριακή σε μεγάλη κλίμακα, έτσι ώστε οι τεχνολογίες να μπορούν να εφαρμοστούν στον τρέχοντα ενεργειακό τομέα και να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή.

Η χρήση των νησιών Åland στη Φινλανδία ως μελέτη περίπτωσης, τα ενεργειακά δεδομένα δείχνουν ότι η χρήση περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων και διαδικασιών κυκλικής οικονομίας που αυξάνουν την αξία των απορριμμάτων είναι πιο επικερδής από την εξαγωγή της υπερβολικής ενέργειας που παράγεται (Kiviranta et al. [2020](#)). Από την ανάλυση, το ενεργειακό σύστημα που περιλαμβάνει μια κυκλική οικονομία είχε ετήσιο καθαρό κέρδος 0,72 εκατ. ευρώ υψηλότερο από τις εξαγωγές που υπερέβαιναν την παραγόμενη ενέργεια (- 0,43 εκατ. ευρώ). Ωστόσο, το σύστημα κυκλικής οικονομίας αντιμετώπισε προβλήματα με την τοπική διαθεσιμότητα πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου. Η κυκλικότητα ενέργειας και υλικών, όπως η χρήση σκραπ χάλυβα, η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση πλαστικών, χαρτιών και τσιμέντου μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και την εξάρτηση από ακριβές τεχνολογίες όπως η δέσμευση άνθρακα (Φράγκος [2022](#)). Όλα τα μέτρα της κυκλικής οικονομίας απαιτούν αλλαγές στην κοινωνική συμπεριφορά, επενδύσεις κεφαλαίων, νέα επιχειρηματικά μοντέλα και πολιτικές. Στην πόλη Meili στην Κίνα, ο μετασχηματισμός σε καθαρή ενέργεια με τη χρήση στρατηγικών κυκλικής οικονομίας, όπως η χρήση υπερβολικής βιομηχανικής θερμότητας σε συμβίωση με άλλες βιομηχανίες, η ηλεκτροδότηση των μεταφορών και

η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών επηρεάζει θετικά την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Su and Urban [2021](#)). Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης από το 2020 έως το 2040 δείχνουν εξοικονόμηση ενέργειας 7,1 Mega τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (34%) και μείωση 14,5 Mega τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Συμπερασματικά, η κυκλική οικονομία είναι κερδοφόρα και αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή αξιοποιώντας τα απόβλητα στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, ανάλογα με την ενέργεια από τα απόβλητα μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη διαθεσιμότητας αποβλήτων, όπως στην παραγωγή βιοαερίου, η οποία μπορεί να προκαλέσει την παραγωγή περισσότερων αποβλήτων, άρα μη εφικτό.

Ως εκ τούτου, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να μετριάσουν την παγκόσμια κλιματική αλλαγή αυξάνοντας τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεταμορφώνοντας την ενεργειακή δομή ώστε να γίνει πιο βιώσιμη.

1.3.4 Κτίρια

Οι κατασκευές και τα κτίρια συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Συνεπώς, η χρήση πρακτικών κυκλικής οικονομίας, όπως τα ανακυκλωμένα αδρανή, μπορεί να βοηθήσει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Πραγματοποιήθηκε μια μελέτη αξιολόγησης του κύκλου ζωής σε μια μελέτη περίπτωσης ενός κτιρίου Δημαρχείου στη γερμανική πόλη Korbach που κατεδαφίστηκε και ξαναχτίστηκε χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα οικοδομικά υλικά (Mostert et al. 2021). Σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα, η χρήση σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή έως και 43% μπορεί να εξοικονομήσει έως και 37% των πρώτων υλών, σύμφωνα με τα ευρήματα της μελέτης. Η μελέτη αποκάλυψε επίσης ότι η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στο σκυρόδεμα δεν συμβάλλει πολύ στον μετριασμό του κλίματος, επειδή το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα εξακολουθεί να περιέχει τσιμέντο, το οποίο έχει σημαντικό αποτύπωμα άνθρακα. Επιπλέον, η μελέτη αποκάλυψε ότι η επεξεργασία ανακυκλωμένου σκυροδέματος σε μια κινητή μονάδα έχει μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα από την επεξεργασία ανακυκλωμένου σκυροδέματος σε σταθερή μονάδα λόγω μειωμένης απόστασης μεταφοράς, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και χαμηλής κατανάλωσης νερού. Μια άλλη μελέτη διεξήχθη σχετικά με τη χρήση ανακυκλωμένων ρινισμάτων ξύλου για την παραγωγή βιοσκυροδέματος από ξύλο χρησιμοποιώντας αξιολόγηση του κύκλου ζωής και λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση μεταφοράς από διάφορες τοποθεσίες παραγωγής απορριμμάτων (Caldas et al. 2021). Ανεξάρτητα από το

σενάριο, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε ξύρισμα ξύλου στο βιολογικό σκυρόδεμα ξύλου συνέβαλε στον μετριασμό του κλίματος όταν ελήφθη υπόψη ο βιογενής άνθρακας. Επιπλέον, η μεταφορά παίζει καθοριστικό ρόλο στον κύκλο ζωής του βιοσκυροδέματος ξύλου, καθώς οι μεγάλες αποστάσεις έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες εκπομπές άνθρακα. Οι εκπομπές του βιοσκυροδέματος ξύλου μπορεί να είναι τόσο χαμηλές όσο 15 κιλά ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα ανά κυβικό μέτρο εάν ληφθεί υπόψη η δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα κατά την ανάπτυξη του ευκαλύπτου.

Η χρήση μοντέλων πληροφοριών στα κτίρια είναι κρίσιμη για την επίτευξη αποδοτικών κτιρίων απόβλητα και μιας κυκλικής οικονομίας (Ganiyu et al. 2020). Η μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίων έχει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιεί τις αλλαγές σχεδιασμού, να δημιουργεί πληροφορίες απορριμμάτων από το μοντέλο σχεδιασμού και να παρέχει πληροφορίες για επαναχρησιμοποιήσιμα υλικά στις κατασκευές και τεχνικές σπονδυλωτών κατασκευών, οι οποίες προάγουν την κυκλική οικονομία στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Πραγματοποιήθηκε μια μελέτη αξιολόγησης του κύκλου ζωής σε τρεις δομικές μεθόδους σκυροδέματος business-as-usual, σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση σκυροδέματος και ξύλινη κατασκευή σε ένα κτίριο. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι σε δύο 50 χρόνια ζωής, η ξύλινη κατασκευή μιας χρήσης θα επιτύγχανε 13% εξοικονόμηση εκπομπών και ο σχεδιασμός για τη δομή αποσυναρμολόγησης θα πετύχαινε 16% εξοικονόμηση εκπομπών σε σύγκριση με τη συνήθη δομή (Joensuu et al. 2022). Εδώ, οι συγγραφείς συμβουλεύουν τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς να μαθαίνουν συνεχώς τα εργαλεία μοντελοποίησης πληροφοριών κτιρίου και αξιολόγησης του κύκλου ζωής, τα οποία είναι απαραίτητα για την επίτευξη μιας κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό κλάδο.

Συμπερασματικά, υπάρχουν ευκαιρίες για ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων και εφαρμογή τους σε νέα εργοτάξια, εξοικονομώντας έτσι πόρους και μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα, καταπολεμώντας έτσι την κλιματική αλλαγή. Αντί της απόρριψης απορριμμάτων που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση των οικοδομικών υπολειμμάτων.

1.3.5 Μεταφορές

Η στροφή προς τα ηλεκτρικά οχήματα είναι απαραίτητη προκειμένου ο τομέας των μεταφορών να επιτύχει τους στόχους της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, πρέπει να

κατανοηθεί ολόκληρος ο κύκλος ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων για να αποφευχθεί η εξάντληση των πόρων. Οι τεχνολογίες κινητήρων και οι μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα αποτελούνται από μέταλλα σπάνιων γαιών όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και ο γραφίτης. Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή και η ανακαίνιση, είναι απαραίτητες για την επίτευξη της βέλτιστης χρήσης των πόρων (Richter 2022). Οι μπαταρίες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και να επαναχρησιμοποιηθούν για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους. Μια άλλη στρατηγική κυκλικής οικονομίας για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής για τις οδικές μεταφορές είναι οι κατασκευαστές οχημάτων να διασφαλίζουν ότι το 85% του βάρους των οχημάτων τους είναι επαναχρησιμοποιήσιμο ή ανακυκλώσιμο (Paradowska 2017). Επιπλέον, τα οχήματα δεν πρέπει να κατασκευάζονται με τοξικά υλικά όπως υδράργυρος ή μόλυβδος. Θα πρέπει να υπάρχουν συστήματα συλλογής οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, με δυνατότητα συλλογής μεταχειρισμένων ανταλλακτικών από επισκευασμένα οχήματα. Το κόστος συλλογής οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους δεν θα πρέπει να επιβαρύνει τους ιδιοκτήτες οχημάτων και η εγκατάσταση επεξεργασίας απορριμμάτων θα πρέπει να δώσει προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση, την ανάκτηση και την ανακύκλωση.

Η κυκλική οικονομία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παράταση της ζωής των λιμανιών και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως στο Gavle της Σουηδίας, όπου χρησιμοποιήθηκαν μολυσμένα βυθοκορούμενα υλικά για την επέκταση της γης των λιμανιών. Η επέκταση του λιμανιού Gavle απαιτούσε την απομάκρυνση 4 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων βυθοκορημένων ιζημάτων, εκ των οποίων το 1 εκατομμύριο κυβικά μέτρα θα μολυνόταν από βαρέα μέταλλα (Carpenter et al. 2018). Η απόρριψη των μολυσμένων ιζημάτων από βυθοκόρηση ήταν πρόκληση καθώς δεν υπήρχε κενή γη κοντά στο λιμάνι. Ως εκ τούτου, η απόρριψη θα απαιτούσε χιλιάδες φορτηγά που μεταφέρουν τα ιζήματα σε μεγάλες αποστάσεις, εκπέμποντας αέρια θερμοκηπίου και επιβαρύνοντας μεγάλο κόστος. Η λύση ήταν να συνδυαστούν τα ιζήματα της βυθοκόρησης με άλλα υλικά όπως ιπτάμενη τέφρα, σκωρία και τσιμέντο και να χρησιμοποιηθούν τα ιζήματα στην επέκταση του λιμανιού. Η προσέγγιση της κυκλικής οικονομίας έσωσε το λιμάνι από την εξαφάνιση, ενώ μείωσε το αποτύπωμα άνθρακα και το κόστος. Εκτός από τα λιμάνια, η σιδηροδρομική βιομηχανία μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει μια κυκλική οικονομία ανακτώντας τα εξαρτήματα των

τρένων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Τα εξαρτήματα του φορείου αμαξοστοιχίας μπορούν να ανακτηθούν με διάφορους τρόπους, όπως επισκευή συμπιεστών, εξατμιστήρα και φρένων μπλοκ ή ανακύκλωση του πλαισίου του φορείου και του άξονα τροχού (Phuluwa et al. 2020). Ωστόσο, το κόστος ανάκτησης των εξαρτημάτων της αυτοκινητάμαξας θα πρέπει να ελέγχεται σε σχέση με το κόστος κατασκευής νέων εξαρτημάτων για να διασφαλιστούν εφικτές κυκλικές λειτουργίες.

Συμπερασματικά, η καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής στον τομέα των μεταφορών είναι δύσκολη χωρίς να ληφθεί υπόψη το τέλος της ζωής των οχημάτων, που καταναλώνουν πόρους και μέταλλα σπάνιων γαιών. Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία που βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της σωστής χρήσης των πόρων και του αποτελεσματικού μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας είναι απαραίτητες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής σε όλους τους τομείς, καθώς διασφαλίζουν τη σωστή χρήση των πόρων και μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής, ιδιαίτερα στο στάδιο του τέλους ζωής, το οποίο είναι κρίσιμο για την επαναχρησιμοποίηση, την ανάκτηση και την ανακύκλωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Επιπτώσεις της κυκλικής οικονομίας στη ρύπανση, την ενέργεια, τα απόβλητα, τους φυσικούς πόρους και τη χρήση γης

Καθώς οι αρχές της κυκλικής οικονομίας εφαρμόζονται παγκοσμίως, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας θα διαδραματίσουν σημαντικότερο ρόλο στη διεθνή σκηνή και θα έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στον κόσμο. Αυτή η ενότητα αναλύει τις επιπτώσεις των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας σε διάφορες εφαρμογές, όπως η ποιότητα του αέρα και του νερού, η κατανάλωση ενέργειας, οι φυσικοί πόροι, τα στερεά και τοξικά απόβλητα, η χρήση γης και η κάλυψη γης.

2.1.1 Ποιότητα αέρα και νερού

Η επιδείνωση της ποιότητας του αέρα και του νερού έχει γίνει ένα από τα πιο διαδεδομένα ζητήματα παγκοσμίως, καθώς η παγκόσμια οικονομική και πληθυσμιακή αύξηση έχει οδηγήσει σε ανησυχίες για την ποιότητα του αέρα και τους υδάτινους πόρους που έχουν περιοριστεί σε ποσότητα και ποιότητα. Η συζήτηση για την ποιότητα του αέρα και του νερού δεν μπορεί να διαχωριστεί από την ανάπτυξη στρατηγικών κυκλικής οικονομίας. Οι Su and Urban (2021) καταλήγουν στο συμπέρασμα από μια ανάλυση σεναρίου μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας για μια πόλη 140.000 κατοίκων στην ανατολική Κίνα ότι είναι δυνατό να μειωθούν οι εκπομπές λεπτών σωματιδίων κατά 47% το 2040 σε σύγκριση με το παρελθόν, αλλά οι συνολικές εκπομπές Το 2040 είναι σχεδόν ίδια με τα επίπεδα του 2019, γεγονός που δείχνει ότι η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας δεν βελτιώνει ουσιαστικά τον αέρα ποιότητα, αλλά απλώς αποτρέπει την επιδείνωση της ποιότητας του αέρα. Αντίθετα, εάν η κυκλική οικονομία επεκταθεί με την ηλεκτροδότηση του τομέα των μεταφορών, οι εκπομπές λεπτών σωματιδίων θα μειωθούν κατά 22% και η ποιότητα του αέρα θα βελτιωθεί σημαντικά. Εν τω μεταξύ, οι Sgroi et al. (2018) προτείνουν ότι οι νέες πολιτικές που βασίζονται στην έννοια της κυκλικής οικονομίας μπορεί να οδηγήσουν σε μια «μετατόπιση παραδείγματος» προς ένα πιο βιώσιμο μοντέλο διαχείρισης των λυμάτων ξεκινώντας με την αρχή του διαχωρισμού των πηγών και ενισχύοντας την ανάκτηση πόρων για τη βελτίωση της ποιότητας του συστήματος ύδατος. Η υιοθέτηση μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας μπορεί να δημιουργήσει σημαντικές συνέργειες με το επαναχρησιμοποιούμενο νερό ως εναλλακτική παροχή νερού και η στρατηγική

κυκλικής οικονομίας θα πρέπει να διασφαλίζει ότι η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι ασφαλής και ότι εφαρμόζονται τα ισχύοντα πρότυπα ποιότητας του νερού (Voulvoulis 2018). Κατά συνέπεια, οι πρακτικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να προσαρμόσουν και να παρακολουθήσουν τα επίπεδα ρύπων των λυμάτων για τη βελτίωση της ποιότητας παροχής νερού μέσω της βέλτιστης διαχείρισης των λυμάτων.

Αυτή η ενότητα εξετάζει τις πιθανές επιπτώσεις των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στην ποιότητα του αέρα και του νερού. Συνολικά, η επίδραση αποτελεσματικών μέτρων κυκλικής οικονομίας στην ποιότητα του αέρα και την ποιότητα του νερού είναι θετική λόγω της συνέργειας μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και της βαθιάς ηλεκτροδότησης των μεταφορών, η οποία μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, και της «αλλαγής παραδείγματος» στη διαχείριση των λυμάτων, η οποία βελτιώνει την ποιότητα του νερού ως αποτέλεσμα της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας.

2.1.2 Κατανάλωση ενέργειας

Το θέμα της κατανάλωσης ενέργειας είναι μια από τις παγκόσμιες προκλήσεις. Για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης, πολλά έθνη και πολυεθνικές εταιρείες εστιάζουν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της προοπτικής της κυκλικής οικονομίας. Οι Padmanabhan et al. (2022) χρησιμοποίησε την ανάκτηση ενέργειας από απορρίμματα πλαστικών ως εναλλακτική πηγή καυσίμου μέσω μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας. Τα απόβλητα πλαστικού καυσίμου που παράγονται με πυρόλυση αξιολογήθηκαν ως εναλλακτικό καύσιμο και τα απόβλητα πλαστικού καυσίμου που παράγονται με πυρόλυση αύξησαν τη θερμική απόδοση των φρένων κατά 4,7% και μείωσαν την κατανάλωση καυσίμου κατά 7,8% σε σύγκριση με το ντίζελ. Η αναερόβια αποικοδόμηση των οργανικών κλασμάτων κατά την επεξεργασία των αποβλήτων με τη χρήση στρατηγικής κυκλικής οικονομίας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου για χρήση σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, τα διαλεγμένα ξηρά απόβλητα μπορούν να καούν σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για να αντικαταστήσουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου. Τα μη ανακυκλώσιμα κλάσματα με υψηλή περιεκτικότητα σε θερμίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο που προέρχεται από απορρίμματα σε εργοστάσια τσιμέντου για να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα και να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας (Berechet et al. 2019). Χρησιμοποιώντας μελέτες περιπτώσεων, οι Laskurain-Iturbe et al. (2021) εξέτασε

στρατηγικές κυκλικής οικονομίας και διαπίστωσε ότι τεχνολογίες όπως η κατασκευή προσθέτων, τα μεγάλα δεδομένα και η προηγμένη ανάλυση, η τεχνητή νοημοσύνη, η τεχνητή όραση, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, το Διαδίκτυο των πραγμάτων, η ρομποτική και η εικονική πραγματικότητα μπορούν να μειώσουν αποτελεσματικά την κατανάλωση ενέργειας στη φάση της μεταφοράς, φάση κατασκευής και φάση χρήσης.

Σε αυτή την ενότητα, αναλύουμε την επίδραση των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία μπορεί να μειωθεί αποτελεσματικά από εναλλακτικά καύσιμα που παράγονται από την πυρόλυση ανακυκλωμένων πλαστικών ή την αναερόβια αποσύνθεση ανακυκλωμένων οργανικών συστατικών για την παραγωγή βιοαερίου. Σε συνδυασμό με τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας, την κατασκευή προσθέτων, τα μεγάλα δεδομένα και τις προηγμένες αναλύσεις, η τεχνητή νοημοσύνη, η τεχνητή όραση, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, το Διαδίκτυο των πραγμάτων και η ρομποτική μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.

2.1.3 Φυσικοί πόροι

Η αύξηση του πληθυσμού και η οικονομική ανάπτυξη έχουν προσθέσει στο πρόβλημα της μείωσης των φυσικών πόρων. Η χρήση της έννοιας της κυκλικής οικονομίας μπορεί να προωθήσει την οικονομική ανάπτυξη με παράλληλη διατήρηση των φυσικών πόρων (Sverko Grdic et al. 2020). Τα μέτρα κυκλικής οικονομίας μπορούν να επηρεάσουν θετικά τις συνεχώς υποβαθμισμένες βιομηχανίες που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στους φυσικούς πόρους, μειώνοντας και βελτιστοποιώντας έτσι την κατανάλωση φυσικών πόρων (Chiappetta Jabbour et al. 2020). Pavoloná et al. (2020) καταδεικνύουν ότι η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας μπορεί να είναι ένα σημαντικό εννοιολογικό μοντέλο για την καθοδήγηση της βέλτιστης χρήσης των φυσικών πόρων και ότι το κυκλικό μοντέλο βασίζεται στη μερική αντικατάσταση των πρωτογενών πρώτων υλών από δευτερογενείς πρώτες ύλες, επιτρέποντας σημαντική μείωση της κατανάλωσης φυσικών πόρων. Μια διπλή συστηματική και βιβλιομετρική έρευνα δημοσιευμένων επιστημονικών αποτελεσμάτων από τους Abad-Segura et al. (2021) διαπίστωσε ότι η αποτελεσματικότητα της χρήσης των φυσικών πόρων μπορεί να βελτιωθεί μέσω μιας συστηματικής προσέγγισης εάν η κυκλική οικονομία και η βιοοικονομία εφαρμοστούν σε συνδυασμό. Το μοντέλο παραγωγής της κυκλικής οικονομίας προωθείται από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής ως εναλλακτική λύση

στο γραμμικό μοντέλο «πάρε, φτιάξε, απόρριψε» μεγάλων εισροών φυσικών πόρων. Σε ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας, η κατανάλωση φυσικών πόρων θα συνέχιζε να μειώνεται (Centobelli et al. 2020). Συνειδητοποιήθηκε ότι η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας είναι επωφελής για τη διατήρηση των φυσικών πόρων.

Αυτή η ενότητα εξετάζει την επίδραση που έχουν οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας στους φυσικούς πόρους. Αντικαθιστώντας εν μέρει τις πρωτογενείς πρώτες ύλες από δευτερογενείς πρώτες ύλες, το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας μπορεί να περιορίσει τη χρήση των φυσικών πόρων. Για παράδειγμα, οι βιομηχανίες που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα μέταλλα ως φυσικό πόρο μπορούν να υιοθετήσουν στρατηγικές κυκλικής οικονομίας για τη μείωση των εισροών φυσικών πόρων. Ταυτόχρονα, η αποτελεσματικότητα της αξιοποίησης των φυσικών πόρων μπορεί να βελτιωθεί μέσω μιας συστημικής προσέγγισης συνδυάζοντας την κυκλική οικονομία και τη βιοοικονομία.

2.1.4 Στερεά και τοξικά απόβλητα

Στερεά απόβλητα που περιέχουν δυνητικά τοξικά στοιχεία, όπως δημοτική λάσπη, ιπτάμενη τέφρα αποτέφρωσης αποβλήτων, απορρίμματα, μεταλλουργικά και χημικά στερεά απόβλητα και ηλεκτρονικά απόβλητα, παράγονται ευρέως παγκοσμίως (Ge et al. 2022, Xiong et al. 2019). Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας επηρεάζουν θετικά τη διαχείριση στερεών αποβλήτων και έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία και ολοκληρωμένα σε ορισμένες ανεπτυγμένες περιοχές, όπου έχει επίσης αναπτυχθεί πολιτική (Ezeudu and Ezeudu 2019). Ο σχεδιασμός προϊόντων και τα επιχειρηματικά μοντέλα που βασίζονται σε στρατηγικές κυκλικής οικονομίας δίνουν έμφαση στα πολυλειτουργικά προϊόντα, την παρατεταμένη διάρκεια ζωής προϊόντων και εξαρτημάτων και την έξυπνη κατασκευή για τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας του προϊόντος, μειώνοντας έτσι τη δημιουργία απορριμμάτων σε δημόσιο και ιδιωτικό τομέα (Sharma et al. 2021). Οι Al-Wahaibi et al. (2020) διεξήγαγε μια τεχνοοικονομική μελέτη σχετικά με τις δυνατότητες παραγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα τροφίμων. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν μια σωρευτική τιμή παραγωγής αερίου 1550 χλιοστόλιτρο ανά 1 γραμμάριο ξηρής ύλης για δείγμα στερεών αποβλήτων τροφίμων, με καθαρή παρούσα αξία 3108 δολαρίων αν υπολογιστεί στα 0,39 δολάρια ανά κυβικό μέτρο και περίοδο έκπτωσης 6 ετών. Εν τω μεταξύ, οι Rolewicz-Kalinska et al. (2020)

ανέλυσε τη συσχέτιση μεταξύ των στρατηγικών συλλογής απορριμμάτων και κυκλικής οικονομίας και υπολόγισε ότι η ποσότητα βιοαερίου που παράγεται από στερεά απόβλητα θα μπορούσε να αυξηθεί σε σχεδόν 9 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως μέχρι το 2030, ανεβάζοντας την ετήσια παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας σε σχεδόν 17 κιλοβατώρα.

Η έρευνα αποκαλύπτει ότι η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας επηρεάζει θετικά τα στερεά και τοξικά απόβλητα. Η στρατηγική κυκλικής οικονομίας παρουσιάζει ευνοϊκές προοπτικές εφαρμογής για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας θα μεγιστοποιήσει τη χρησιμότητα του προϊόντος επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και των εξαρτημάτων, μειώνοντας τη δημιουργία απορριμμάτων από τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα. Επιπλέον, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να μειώσουν τα συνολικά απόβλητα μετατρέποντας τα στερεά απόβλητα σε βιοαέριο και χρησιμοποιώντας τα ως καύσιμο.

2.1.5 Χρήση γης και κάλυψη γης

Η γη εξυπηρετεί πολλές βασικές λειτουργίες στην καθημερινή μας ζωή, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής τροφίμων και άλλων προϊόντων βιομάζας, καθώς και την αποθήκευση, το φιλτράρισμα και τη μετατροπή ουσιών όπως ο άνθρακας, το άζωτο και το νερό. Η στρατηγική κυκλικής οικονομίας είναι ένα οικονομικό σύστημα που δίνει προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση και την ελάχιστη απόσβεση πόρων και προϊόντων, η οποία επηρεάζει ουσιαστικά τη χρήση γης (Breure et al. 2018). Οι Wiprächtiger et al. (2020) αξιολόγησε τις συγκεκριμένες επιπτώσεις μιας κυκλικής οικονομίας αναπτύσσοντας σενάρια κυκλικής στρατηγικής. Σύμφωνα με τα ευρήματα, η αύξηση της χρήσης βιοϋλικών ή η ανακύκλωση σε συνδυασμό με την αύξηση της χρήσης βιοϋλικών θα είχε μεγαλύτερο αρνητικό αντίκτυπο στη χρήση γης και την κάλυψη γης. Επιπλέον, η ανάγκη για μια μεγαλύτερη έκταση για την καλλιέργεια βιολογικών υλικών ασκεί πίεση στα προβλήματα χρήσης γης (Jerome et al. 2022). Ομοίως, οι Fidelis et al. (2021) διαπίστωσαν στην έρευνά τους για τις αφηγήσεις πολιτικής για την κυκλική οικονομία στην Ευρωπαϊκή Ένωση ότι οι προτάσεις για στρατηγικές κυκλικής οικονομίας που σχετίζονται με τη γη βασίζονται σε ένα πλαίσιο βιοοικονομίας με πιθανές πιέσεις χρήσης γης από την ανανεώσιμη δυνατότητα, την αποικοδόμηση ή τη κομποστοποίηση των βιο- βασισμένα υλικά.

Ωστόσο, λύσεις έχει και το ενδεχόμενο πρόβλημα χρήσης γης και κάλυψης από την κυκλική οικονομία. Η χρήση φυτών που αναπτύσσονται σε οριακή γη και η παραγωγή βιοαπανθράκων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής από απόβλητα αποφεύγει τον ανταγωνισμό με εύφορη γη και ανάγκες σε τρόφιμα. Οι Leppäkoski et al. (2021) διαπίστωσε ότι ο βιοκάρβουνο από ιτιές σε περιθωριακή γη στη Φινλανδία θα μπορούσε να αντισταθμίσει το 7,7% των ετήσιων γεωργικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα, οι ενεργειακές καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε οριακή γη επιτρέπουν επίσης την κυτταρινική βιομάζα χωρίς να ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες τροφίμων και βοηθούν στην ανάκτηση της οριακής γης, μειώνοντας σημαντικά τα αέρια του θερμοκηπίου χωρίς να θέτουν κανέναν κίνδυνο για την επισιτιστική ασφάλεια (Mehmood et al. 2017). Ανεξάρτητα από αυτό, η εφαρμογή στρατηγικών κυκλικής οικονομίας παραμένει μια ισχυρή πρόκληση τόσο για τη χρήση γης όσο και για την κάλυψη γης.

Σε αυτή την ενότητα, διαπιστώνουμε μέσα από την έρευνά μας ότι οι προτεινόμενες στρατηγικές κυκλικής οικονομίας στη βάση της γης βασίζονται στη βιοοικονομία. Ως εκ τούτου, η αύξηση της χρήσης βιολογικών υλικών θέτει σημαντικές προκλήσεις για τη χρήση γης και την κάλυψη γης λόγω της μεγαλύτερης έκτασης που απαιτείται για την καλλιέργεια υλικών βιολογικής βάσης και των ανανεώσιμων, αποικοδομήσιμων ή κομποστοποιήσιμων χαρακτηριστικών τους.

Εξετάσαμε τις συγκεκριμένες επιπτώσεις των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στην ποιότητα του αέρα και του νερού, στην κατανάλωση ενέργειας, στους φυσικούς πόρους, στα στερεά και τοξικά απόβλητα και στη χρήση και κάλυψη γης. Τα ευρήματα αποκάλυψαν ότι τα αποτελέσματα των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Ο Πίνακας 2 απεικονίζει τις συγκεκριμένες επιπτώσεις της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας σε μια ποικιλία εφαρμογών, καθώς και τα πιο σημαντικά ευρήματα.

Πίνακας 2: Ο ειδικός αντίκτυπος της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας στην ποιότητα του αέρα και του νερού, στην κατανάλωση ενέργειας, στους φυσικούς πόρους, στα στερεά και τοξικά απόβλητα και στη χρήση και κάλυψη γης

Διάφορες εφαρμογές	Βασικά ευρήματα	Αναφορές

Ποιότητα αέρα και νερού	Η συνέργεια μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και της βαθιάς ηλεκτροδότησης των μεταφορών μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τους ατμοσφαιρικούς ρύπους Η ιδέα της κυκλικής οικονομίας μπορεί να οδηγήσει σε μια «αλλαγή παραδείγματος» στα συστήματα διαχείρισης λυμάτων για τη βελτίωση των συστημάτων ποιότητας του νερού Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να διασφαλίσουν ότι η ανακύκλωση του νερού είναι ασφαλής και εφαρμόζεται στα πρότυπα ποιότητας του νερού για μια συγκεκριμένη χρήση	Sgroi et al. (2018), Su and Urban (2021) και Βουλβούλης (2018)
Κατανάλωση ενέργειας	Η στρατηγική κυκλικής οικονομίας βελτιώνει τη θερμική απόδοση των φρένων κατά 4,7% και μειώνει την κατανάλωση καυσίμου κατά 7,8% σε σύγκριση με το καύσιμο ντίζελ μέσω εναλλακτικών καυσίμων που παράγονται από πυρόλυση ανακυκλωμένων πλαστικών Η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας παράγει βιοαέριο με αναερόβια αποσύνθεση ανακτημένων οργανικών κλασμάτων για παραγωγή ενέργειας και χρήσεις σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής Η πρόσθετη κατασκευή, τα μεγάλα δεδομένα και η προηγμένη ανάλυση, η τεχνητή νοημοσύνη, η τεχνητή όραση, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, το Διαδίκτυο των πραγμάτων και η ρομποτική σε συνδυασμό με στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος	Οι Berechet et al. (2019), Laskurain-Iturbe et al. (2021) και Padmanabhan et al. (2022)

Φυσικοί πόροι	Η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας περιορίζει τη χρήση των φυσικών πόρων μέσω της μερικής υποκατάστασης των κυρίως φυσικών υλικών από δευτερογενείς πρώτες ύλες Η αποτελεσματικότητα της χρήσης φυσικών πόρων μπορεί να βελτιωθεί μέσω μιας συστημικής προσέγγισης χρησιμοποιώντας την κυκλική οικονομία σε συνδυασμό με τη βιοοικονομία	Οι Abad-Segura et al. (2021) και Pavolova et al. (2020)
Στερεά και τοξικά απόβλητα	Ο σχεδιασμός προϊόντων και τα επιχειρηματικά μοντέλα που βασίζονται σε στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να μεγιστοποιήσουν τη χρησιμότητα του προϊόντος και έτσι να μειώσουν την παραγωγή στερεών αποβλήτων παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων και των εξαρτημάτων Η σωρευτική απόδοση αερίου του δείγματος στερεών αποβλήτων τροφίμων είναι 1550 χιλιοστόλιτρο ανά 1 γραμμάριο ξηρής ύλης, με καθαρή παρούσα αξία 3108 δολάρια Αναμένεται ότι έως το 2030, σχεδόν 17 κιλοβατώρες πρόσθετης ενέργειας θα παράγονται λόγω της επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, δημιουργώντας όγκο βιοαερίου που μπορεί να αυξηθεί σε σχεδόν 9 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως	Οι Al-Wahaibi et al. (2020), Rolewicz-Kalińska et al. (2020) και Sharma et al. (2021)
Χρήση γης και κάλυψη γης	Η αυξημένη χρήση βιολογικών υλικών θα απαιτήσει μεγαλύτερες εκτάσεις για την καλλιέργεια υλικών βιολογικής βάσης, γεγονός που θα αυξήσει τη χρήση γης Η πιθανή πίεση στη χρήση γης και την κάλυψη γης θα προκύψει από το εάν τα βιολογικά υλικά	Fidélis et al., (2021), Jerome et al. (2022) και Wiprächtiger et al. (2020)

	είναι ανανεώσιμα, αποικοδομήσιμα ή κομποστοποιήσιμα	
--	---	--

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, ο αντίκτυπος της στρατηγικής της κυκλικής οικονομίας είναι γενικά θετικός για τις περισσότερες εφαρμογές, εκτός από τις χρήσεις γης και την κάλυψη γης, που ενδέχεται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις. Οι στρατηγικές για μια κυκλική οικονομία μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα και του νερού, να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και να μειώσουν τη χρήση των φυσικών πόρων. Ταυτόχρονα, τα στερεά και τα τοξικά απόβλητα θα μειωθούν λόγω στρατηγικής κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, η χρήση υλικών βιολογικής βάσης στη στρατηγική της κυκλικής οικονομίας θα απαιτήσει περισσότερη γη για την καλλιέργεια υλικών βιολογικής βάσης και η δυνατότητα ανακύκλωσης, η ικανότητα αποικοδόμησης και η κομποστοποίηση των υλικών με βιολογική βάση πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη όσον αφορά τη χρήση γης.

2.2 Ευκαιρίες της κυκλικής οικονομίας για την κλιματική αλλαγή

Η πρόοδος της κυκλικής οικονομίας παρουσιάζει κινδύνους και ευκαιρίες για διάφορους ενδιαφερόμενους στο πλαίσιο της ηθικής και βιώσιμης ανάπτυξης του κλάδου. Οι Anttonen et al. (2018) εξέτασε εμπειρικά την έννοια της κυκλικής οικονομίας ως σύστημα καινοτομίας τριπλής έλικας σε τρεις θεσμικούς τομείς: βιομηχανία, κυβέρνηση και πανεπιστήμιο. Ο χώρος συναίνεσης της βιομηχανίας, της κυβέρνησης και του πανεπιστημίου επικεντρώνεται στα υλικά και τα προϊόντα και βλέπει την κυκλική οικονομία ως μια μέθοδο για τη δημιουργία νέων πόρων και προϊόντων από τα απόβλητα. Μια καινοτόμος στρατηγική κυκλικής οικονομίας τριπλής έλικας μπορεί να διευκολύνει την επαρκή συναίνεση μεταξύ της βιομηχανίας, της κυβέρνησης και των πανεπιστημίων ώστε να καταστεί δυνατή η υλοποίηση παγκόσμιων επιχειρηματικών ευκαιριών από τη βιομηχανία. Ειδικότερα, η στρατηγική της κυβέρνησης για την κυκλική οικονομία μπορεί να υποστηρίξει τη βιώσιμη ανάπτυξη του κλάδου, ενώ η καινοτόμος πανεπιστημιακή έρευνα για τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορεί να δημιουργήσει περισσότερες ευκαιρίες για τον κλάδο.

Με την παραδοχή ότι η κυβέρνηση και τα πανεπιστήμια προωθούν τη σπείρα της βιομηχανικής βιωσιμότητας, η διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής που βασίζεται στη στρατηγική της κυκλικής οικονομίας θα είναι άμεσα υπόλογη στους καταναλωτές.

Η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές ευκαιρίες εισροής και εκροών πόρων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος (Osman et al. 2021b). Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας εφαρμόζονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος, από το σχεδιασμό του προϊόντος έως τη χρήση του προϊόντος και τη μετάβαση στην επιχείρηση. Η οπτικοποίηση υφιστάμενων καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων που βασίζονται στην κυκλική οικονομία βελτιώνει την παρακολούθηση της κυκλικής απόδοσης και επιτρέπει μια πιο ενδεδειγμένη και αποτελεσματική αξιολόγηση υλικών, προϊόντων και περιουσιακών στοιχείων στη βιομηχανική παραγωγή (Rossi et al. 2020).

Καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των βιομηχανικών προϊόντων, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να διευκολύνουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών και ενέργειας. Οι Patil et al. (2022) ενίσχυσε σημαντικά τη βιωσιμότητα της βιομηχανικής παραγωγής με την παραγωγή καθαρού βιοαερίου που μπορεί να αντικαταστήσει το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μέσω αναερόβιας κατανάλωσης και καθαρισμού ανακυκλωμένων αποβλήτων σακχαρόζης. Η παραγωγή βιολιπασμάτων και η ανακύκλωση του χωνεμένου υπολείμματος είναι τυπικές βιομηχανικές εφαρμογές της κυκλικής οικονομίας, μειώνοντας τις πρώτες ύλες και τις εισροές ενέργειας χρησιμοποιώντας τα απόβλητα ως πρώτη ύλη. Στο μεταξύ, οι Aguilar Esteva et al. (2020) ανέπτυξε το πρώτο σχήμα κατασκευής οχημάτων κυκλικής οικονομίας στο πλαίσιο του Ιδρύματος Ellen MacArthur, με πειραματικά αποτελέσματα που δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν περίπου 47% λιγότερη μη ανανεώσιμη ενέργεια από τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Είναι προφανές ότι μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά την εισροή ενέργειας.

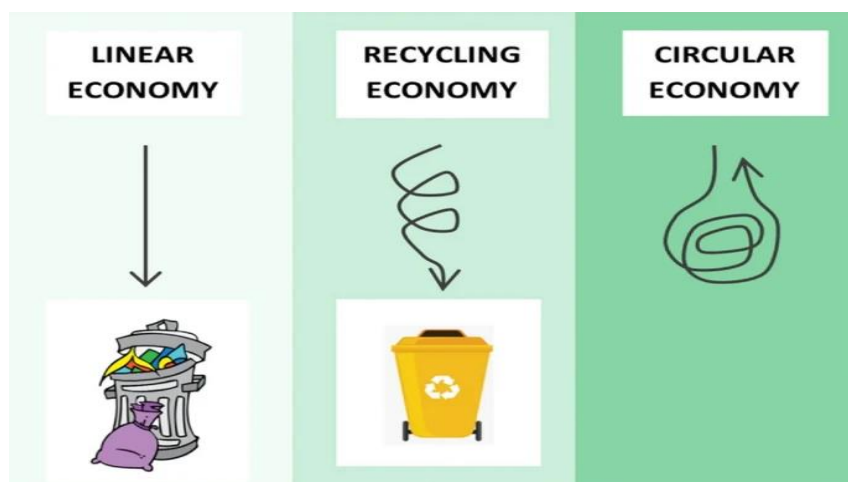
Ομοίως, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να παρέχουν ευκαιρίες για απόβλητα και εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Αυξάνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος και προωθώντας πιο πράσινες, ασφαλέστερες βιομηχανίες, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας συμβάλλουν στη μείωση των απορριμμάτων (Cucciniello and Cespi 2018). Μια νέα οικονομία πλαστικών που βασίζεται στις βασικές αρχές της κυκλικής οικονομίας μπορεί να βελτιώσει τις κοινωνικοοικονομικές επιδόσεις ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού και να μειώσει σημαντικά τα πλαστικά απόβλητα και τις αρνητικές περιβαλλοντικές

επιπτώσεις που συνδέονται με τα πλαστικά απόβλητα στις διαδικασίες βιομηχανικής παραγωγής (Payne et al. 2019).. Η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας στην επεξεργασία των αποβλήτων εξόρυξης αντιπροσωπεύει μια σημαντική ευκαιρία για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των αποβλήτων ορυχείων και την αύξηση της αξίας τους. Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας επιτρέπουν στη βιομηχανία εξόρυξης και στους διαχειριστές να συμμετέχουν σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός έργου, συμπεριλαμβανομένων των τελικών υπολειμματικών αποβλήτων και προωθούν τη χρήση φυσικών κύκλων στη μεταλλουργική βιομηχανία μετάλλων και τη μετατροπή του περιβάλλοντος και, κυρίως, την ανάπτυξη προσαρμοστικών κύκλων πόρων χωρητικότητας, ανταποκρινόμενη έτσι στις παγκόσμιες αλλαγές στην προσφορά και τη ζήτηση για διάφορους πόρους (Tayebi-Khorami et al. 2019). Οι Khan et al. (2021) απέδειξε στη μελέτη του ότι η υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής οικονομίας βελτιώνει την παραγωγικότητα και, κατά συνέπεια, την οικονομική απόδοση ως αποτέλεσμα του κυκλικού σχεδιασμού, των κυκλικών προμηθειών και, κυρίως, της ανακύκλωσης και της ανακατασκευής απορριμμάτων. Ως αποτέλεσμα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κυκλική οικονομία βοηθά τις επιχειρήσεις να βελτιώσουν τις περιβαλλοντικές και οικονομικές τους επιδόσεις, κάτι που μεταφράζεται σε μεγαλύτερη οργανωτική απόδοση μειώνοντας τα απόβλητα και τις εκπομπές.

Αυτή η ενότητα διερευνά τις ευκαιρίες βιομηχανικής ανάπτυξης που παρουσιάζει η κυκλική οικονομία. Χρησιμοποιώντας τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται από μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας, οι βιομηχανικές εταιρείες μπορούν να παράγουν προϊόντα με υπευθυνότητα μέσω κυβερνητικής και πανεπιστημιακής συνεργασίας. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές κυκλικής οικονομίας παρέχουν πολλές ευκαιρίες στη βιομηχανία να μειώσει τις εισροές φυσικών πόρων και ενέργειας και τις εκροές αποβλήτων και εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του προϊόντος.

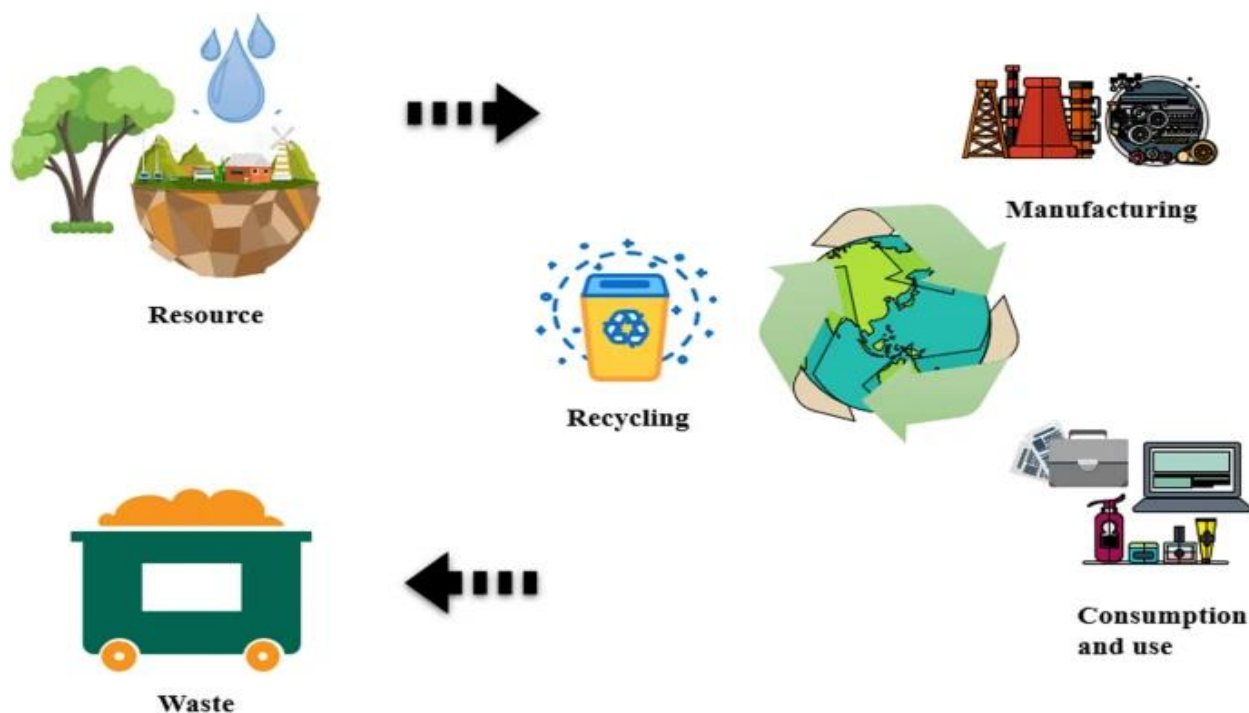
2.3 Κυκλική οικονομία για συστήματα τροφίμων

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1, αυτή η ενότητα θα εξετάσει τις ευκαιρίες κυκλικής οικονομίας στο σύστημα τροφίμων από τρεις πτυχές: παραγωγή τροφίμων, κατανάλωση τροφίμων και διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων.



Εικόνα 1: Μετάβαση από τη γραμμική προσέγγιση της ανακύκλωσης στην κυκλική οικονομία και η σχέση τους με τη διαχείριση απορριμμάτων, Gorrasí et al. (2021)

Μετάβαση από τη γραμμική προσέγγιση της ανακύκλωσης στην κυκλική οικονομία και η σχέση τους με τη διαχείριση απορριμμάτων. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη ολόκληρο το σύστημα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, συλλογής, μεταφοράς, ανακύκλωσης και επεξεργασίας αποβλήτων, χρήσης ανακτημένων πόρων και διάθεσης αποβλήτων. Σε αυτήν την περίπτωση, η κυκλική μέθοδος μειώνει την εξάρτηση από την αγορά πόρων και μειώνει το κόστος διάθεσης. (Εικόνα 2)



Εικόνα 2: Η κυκλική οικονομία ξεκινά με την κατανάλωση φυσικών πόρων και ολοκληρώνεται με την παραγωγή μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Η θεμελιώδης αρχή της κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση των βιομηχανοποιημένων προϊόντων μετά την καθημερινή κατανάλωση

Η κυκλική οικονομία ξεκινά με την κατανάλωση φυσικών πόρων και ολοκληρώνεται με την παραγωγή μη ανακυκλώσιμων απορριμμάτων. Η θεμελιώδης αρχή της κυκλικής οικονομίας είναι η ανακύκλωση των βιομηχανοποιημένων προϊόντων μετά την καθημερινή κατανάλωση και χρήση τους

2.3.1 Παραγωγή τροφίμων

Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας προσπαθεί να αλλάξει τη μη βιωσιμότητα του παραδοσιακού γραμμικού τρόπου παραγωγής και εφαρμόζει ανακυκλωμένα υλικά στην παραγωγή τροφίμων για να μειώσει τη χρήση εξωτερικών πόρων (Borrello et al. 2017). Η ανάκτηση και η ανακύκλωση των απορριμμάτων στο σύστημα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση και τη σπατάλη εξωτερικών πόρων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Diaz-Elsayed et al. 2020, Toop et al. 2017). Υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για μια κυκλική οικονομία στην παραγωγή τροφίμων. Στη γεωργική παραγωγή, για παράδειγμα, στην Αλμερία της νοτιοανατολικής Ισπανίας, έχει αναπτυχθεί για να μετατρέψει τα φυτικά απόβλητα σε κομπόστ, βιοιθανόλη και άλλα βιολογικά προϊόντα (Aznar-Sánchez et al. 2020). Τα προϊόντα που λαμβάνονται με τη χρήση φυτικών αποβλήτων μπορούν να τεθούν σε νέους δεσμούς παραγωγής τροφίμων, κάτι που αποτελεί την ενσάρκωση των ευκαιριών κυκλικής οικονομίας στη γεωργική παραγωγή.

Επιπλέον, σημαντική ποσότητα υδάτινων πόρων χρησιμοποιείται για την παραγωγή σιτηρών. Εξετάστε τη γεωργική παραγωγή ως παράδειγμα του συστήματος τροφίμων. Η γεωργία αντιπροσωπεύει το 70% της παγκόσμιας κατανάλωσης γλυκού νερού και είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής πόρων γλυκού νερού (Alexandratos and Bruinsma 2012, Dubois 2011). Σύμφωνα με έρευνες, η βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής νερού στον κόσμο μετά τη γεωργία (Hoekstra and Chapagain 2007). Επομένως, υπάρχουν πιθανές ευκαιρίες κυκλικής οικονομίας στη χρήση του νερού στην παραγωγή τροφίμων. Η ανάκτηση και η ανακύκλωση νερού είναι μια προσέγγιση στη διαχείριση των υδάτινων πόρων που βασίζεται σε μια κυκλική οικονομία (Smol et al. 2020). Το νερό της βροχής συνήθως συλλέγεται για γεωργική άρδευση ως μέρος της ανάκτησης νερού, μειώνοντας την κατανάλωση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (Yannopoulos et al. 2019). Στο πλαίσιο του κύκλου του νερού, τα αστικά, γεωργικά και βιομηχανικά λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γεωργική άρδευση αφού υποβληθούν σε πολλαπλά στάδια διήθησης και μη τοξικής επεξεργασίας (Pedrero et al. 2020). Πολλές μελέτες δείχνουν

ότι τα επεξεργασμένα λύματα εξακολουθούν να περιέχουν ιχνοστοιχεία, όπως άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Μετά τη χρήση των λυμάτων για γεωργική άρδευση, τα χημικά λιπάσματα μπορούν να μειωθούν, γεγονός που έχει θετικές περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις και καταδεικνύει τη βιωσιμότητα της χρήσης των υδάτινων πόρων (Chojnacka et al. 2020, Rossi et al. 2021).

Η τοπική παραγωγή τροφίμων είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας όπου η κυκλική οικονομία μπορεί να είναι αποτελεσματική, κυρίως επειδή τα τρόφιμα σπαταλούνται λόγω ζημιών ή αλλοίωσης που προκαλούνται από μεγάλες αλυσίδες εφοδιασμού και οι μεγαλύτερες διαδικασίες μεταφοράς καταναλώνουν περισσότερους εξωτερικούς πόρους. Για παράδειγμα, η «Σκανδιναβική δίαιτα» είναι ένας τρόπος διατροφής που ενσωματώνει την έννοια της κυκλικής οικονομίας, δίνοντας όσο το δυνατόν λιγότερη έμφαση στο κρέας από ζώα βιομηχανικής εκτροφής που εισάγονται από άλλες χώρες και τονίζοντας τα τοπικά παραγόμενα χερσαία και υδρόβια τρόφιμα (Bere και Brug 2009). Αυτή η διατροφική προσέγγιση μπορεί να μειώσει το κόστος μεταφοράς και τα απόβλητα που προκαλούνται από την αλλοίωση των τροφίμων κατά τη μεταφορά, προωθώντας την τοπική οικονομική ανάπτυξη. Η μικρότερη αλυσίδα παραγωγής διασφαλίζει επίσης ότι ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής τροφίμων μπορεί να παρακολουθείται τοπικά για την ασφάλεια των τροφίμων, κάτι που μπορεί να επηρεάσει θετικά τους καταναλωτές (Jurgilevich et al. 2016).

2.3.2 Κατανάλωση φαγητού

Η μείωση της κατανάλωσης κρέατος είναι μια από τις κρίσιμες ευκαιρίες για την κυκλική οικονομία στο σύστημα κατανάλωσης τροφίμων (Jurgilevich et al. 2016), κυρίως επειδή η παραγωγή κρέατος έχει σημαντικότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον από τα χορτοφαγικά τρόφιμα. Πιο άμεσα, με τη μείωση της κατανάλωσης προϊόντων κρέατος, θα μειωθεί άμεσα η κατανάλωση ενέργειας, γης και νερού που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων κρέατος. Jurgilevich et al. (2016) ανέφερε ότι η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για μια βιώσιμη διατροφή θα προωθήσει τη μετατροπή της κατανάλωσης τροφίμων σε κυκλική οικονομία. Για παράδειγμα, οι προμηθευτές τροφίμων, τα σούπερ μάρκετ και οι επιχειρήσεις εστίασης μπορούν να αλλάξουν το «διατροφικό περιβάλλον» των ανθρώπων αυξάνοντας την ποσότητα και την ελκυστικότητα των φυτικών τροφίμων. Οι De Boer et al. (2014) διαπίστωσε ότι οι «ημέρες χωρίς κρέας», «λιγότερες αλλά καλύτερες» και άλλες

στρατηγικές έχουν συγκεκριμένα αποτελέσματα στη μείωση της κατανάλωσης κρέατος σε διαφορετικές ομάδες.

Οι οικογένειες είναι οι κύριοι καταναλωτές απορριμμάτων τροφίμων (Priefer et al. 2016). Υπάρχουν πολυάριθμες αιτίες σπατάλης τροφίμων στο σπίτι, συμπεριλαμβανομένων παρορμητικών αγορών, υπερβολικών αγορών, ανεπαρκών ποσοτήτων αγαπημένων τροφών, έλλειψης δεξιοτήτων προετοιμασίας φαγητού, κακής διαχείρισης αποθήκευσης και αδυναμίας επαναχρησιμοποίησης των υπολειμμάτων (Priefer et al. 2016). Από αυτή την άποψη, θα πρέπει να προταθούν κατά περίπτωση στρατηγικές ακολουθώντας την έννοια της κυκλικής οικονομίας. Για παράδειγμα, οι τυπικές συνθήκες αποθήκευσης θα πρέπει να αναφέρονται με σαφήνεια στη συσκευασία των τροφίμων σε περίπτωση κακής διαχείρισης αποθήκευσης (Müller and Schmid 2019). Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι συνθήκες αποθήκευσης στο σπίτι, όπως η ψύξη και η προστασία από το φως (Bajželj et al. 2020). Η εποπτεία των πολιτικών προμηθευτών τροφίμων και η υπεράσπιση της υγιεινής διατροφής των καταναλωτών συμβάλλουν στην οικοδόμηση ενός πιο βιώσιμου διατροφικού περιβάλλοντος.

2.3.3 Διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων

Είναι ωφέλιμο να ληφθούν υπόψη τα οργανικά απορρίμματα τροφίμων στο σύνολό τους. Συχνά, τα οργανικά απόβλητα τροφίμων ζυμώνονται βιολογικά για να παραχθεί μεθάνιο, το οποίο στη συνέχεια καίγεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ζυμωμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται επίσης συχνά ως λίπασμα. Η καύση μεθανίου για ηλεκτρική ενέργεια μειώνει τη χρήση άνθρακα στην παραγωγή θερμικής ενέργειας, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και η χρήση κομπόστ στην ξηρά μπορεί επίσης να συμβάλει στη δέσμευση άνθρακα στα οργανικά απόβλητα (Kaur et al. 2019, Pramanik et al. 2019). Το μεθάνιο, το κομπόστ και το χωνεμένο υπόλειμμα θεωρούνται συνήθως ως υποπροϊόντα χαμηλής αξίας της βιολογικής επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων σε όλη την αλυσίδα. Επιπλέον, κάποιο βιοαέριο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της βιοαποδόμησης, το οποίο μπορεί επίσης να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα (Bouaita et al. 2022).

Ωστόσο, υπάρχει μια πιο απίστευτη ευκαιρία και δυνατότητα αξιοποίησης των απορριμμάτων φρούτων και λαχανικών από τα απόβλητα τροφίμων. Τα τελευταία

χρόνια, υπάρχει επίσης μια αυξανόμενη ζήτηση για οργανικά απόβλητα ως εναλλακτική λύση στους μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους για την παραγωγή αγαθών υψηλής αξίας ή φιλικά προς το περιβάλλον. Για παράδειγμα, περισσότεροι από 100 εκατομμύρια τόνοι εσπεριδοειδών παράγονται παγκοσμίως (Werde et al. 2021). Ωστόσο, η φλούδα των εσπεριδοειδών συνήθως απορρίπτεται κατά την επεξεργασία (Li et al. 2014). Αρκετές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει διαλυτές διαιτητικές ίνες που παρασκευάζονται από φλούδα πορτοκαλιού (Khanpit et al. 2022, Tejada-Ortigoza et al. 2018, Wang et al. 2015). Για παράδειγμα, οι Khanpit et al. (2022) διαπίστωσε ότι η συγκέντρωση των διαλυτών διαιτητικών ινών αυξήθηκε περίπου 5,16 φορές μετά την εξώθηση της αποξηραμένης φλούδας πορτοκαλιού στους 135 °C. Οι διαιτητικές ίνες από τη φλούδα πορτοκαλιού επηρεάζουν θετικά την ανθρώπινη υγεία μειώνοντας τα επίπεδα λιπιδίων και γλυκόζης στο αίμα, μειώνοντας τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων και ενισχύοντας την εντερική ανοσία (Gunniss and Gidley 2010). Επιπλέον, η εξαγωγή αιθέριου ελαίου από φλούδα πορτοκαλιού είναι απαραίτητη για την παραγωγή πρόσθετων αγαθών υψηλής αξίας (Gavahian et al. 2019). Αρκετές μελέτες έχουν αναφέρει εκχύλιση αιθέριου ελαίου από φλούδα πορτοκαλιού (Aboudaou et al. 2019, Ciriminna et al. 2018, Franco-Vega et al. 2016).

Επιπλέον, οι φλούδες ή ο πυρήνας άλλων προϊόντων φρούτων και λαχανικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη προϊόντων με υψηλή προστιθέμενη αξία. Baaka et al. (2017), για παράδειγμα, ανέφερε την εξαγωγή φυσικών χρωστικών από τον πυρηνόλιθο σταφυλιών. Για τον πυρηνέλαιο, οι Osman et al. (2020b) διαπίστωσε ότι τα απορρίμματα βιομάζας πυρηνικού πυρήνα είχαν θερμογόνο δύναμη 21 megajoules ανά κιλό σε σύγκριση με άλλες ενεργειακές καλλιέργειες βιομάζας όπως ο miscanthus (16,58 megajoules ανά κιλό) και η φλούδα πατάτας (15,73 megajoules ανά κιλό), επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καλό στερεά βιοκαύσιμα? για τη στάχτη από την καύση των απορριμμάτων βιομάζας πυρηνικών, Osman et al. (2020b) βρήκε υψηλή περιεκτικότητα σε κάλιο 28,5 % κατά βάρος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καλό γεωργικό λίπασμα.

Από την άλλη πλευρά, τα βιοαποδομήσιμα φιλμ που περιέχουν ναοκυτταρίνη που εξάγεται από γεωργικά απόβλητα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε προϊόντα συσκευασίας τροφίμων τα τελευταία χρόνια. Τα βιοαποδομήσιμα φιλμ συνήθως παρασκευάζονται με την ακόλουθη μέθοδο: πρώτον, η κυτταρίνη μετατρέπεται σε

νανοσωματίδια με όξινες, αλκαλικές, μηχανικές και βιολογικές μεθόδους. τα νανοσωματίδια μπορούν να παρασκευαστούν σε νανοσύνθετα κυτταρίνης με μεθόδους ή τεχνολογίες όπως η παρεμβολή τήγματος, η χύτευση με διαλύτη, ο επί τόπου πολυμερισμός, η σύνθετη εξώθηση και η χύτευση (Qasim et al. 2021). Οι μηχανικές ιδιότητες των παρασκευασμένων νανοσύνθετων κυτταρίνης βελτιώθηκαν κατά 87% σε σύγκριση με το καθαρό πολυπροπυλένιο (Yakkan et al. 2018), και οι ιδιότητες φραγμού βελτιώθηκαν επίσης σε κάποιο βαθμό (Dufresne 2017, Plackett et al. 2010, Qasim et al.).

Επιπλέον, μέσω περισσότερης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, υπάρχουν πολλά παραδείγματα χρήσης βιολογικών αποβλήτων για την παρασκευή προϊόντων υψηλότερης προστιθέμενης αξίας. Για παράδειγμα, οι αναλωμένοι κόκκοι της μύρας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή νανοσωλήνων υψηλής ενεργού άνθρακα και άνθρακα και η ειδική επιφάνεια ενεργού άνθρακα μπορεί να φτάσει τα 692,3 τετραγωνικά μέτρα ανά γραμμάριο. ο συντιθέμενος ενεργός άνθρακας έδειξε επίσης 77% ικανότητα αφαίρεσης μολύβδου μετά την πρώτη ώρα δοκιμής στην επεξεργασία λυμάτων (Osman et al. 2020a). Τα απόβλητα από διάφορα φρούτα και λαχανικά μπορούν να ενσωματωθούν σε μικροβιακά μέσα για να μειωθεί το κόστος των συμβατικών μικροβιακών μέσων (Deivanayaki and Antony 2012, Tijani et al. 2012). Osman et al. (2019) πρότεινε τον μετασχηματισμό της βιομάζας της απόβλητης λιγνοκυτταρίνης σε ενεργό άνθρακα υψηλής επιφάνειας και, στη συνέχεια, σε νανοσωλήνες άνθρακα πολλαπλών τοιχωμάτων για την προώθηση μιας κυκλικής οικονομίας.

Συμπερασματικά, η χρήση βιολογικών αποβλήτων για την ανάπτυξη προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας ή προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον καταδεικνύει τη συμβολή της κυκλικής οικονομίας στην ανάπτυξη συστημάτων τροφίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Αξιολόγηση κύκλου ζωής και κυκλική οικονομία

Το εννοιολογικό μοντέλο της κυκλικής οικονομίας χρησιμοποιείται παγκοσμίως και σε πολυάριθμα ερευνητικά πεδία (Peña et al. 2021). Βασίζεται στην αρχή ότι τα απόβλητα από ένα σύστημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισροή σε ένα άλλο, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα χρήσης των πόρων και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Tóth Szita 2017). Ωστόσο, το μοντέλο ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας δεν είναι μόνο περιβαλλοντικά επωφελές αλλά απαιτεί επίσης να ληφθούν υπόψη τα οικονομικά και κοινωνικά του οφέλη. Επιπλέον, δεν υπάρχει ενιαία μέθοδος για τον προσδιορισμό του εάν ένα συγκεκριμένο μοντέλο ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας συμβάλλει στη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή. Ως εκ τούτου, κατά την εισαγωγή της έννοιας της κυκλικής οικονομίας, τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των τεχνολογικών λύσεων της θα πρέπει να εξετάζονται από την άποψη του κύκλου ζωής, όπως η εξέταση των θετικών και αρνητικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων του απόβλητου σε θησαυρό. κύκλος ζωής. Έτσι, η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι ιδανική για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των αναπτυξιακών στρατηγικών της κυκλικής οικονομίας στο περιβάλλον. Ο Πίνακας 3 παρέχει μια περίληψη των μελετών που χρησιμοποιούν την αξιολόγηση του κύκλου ζωής για την εφαρμογή στρατηγικών κυκλικής οικονομίας σε διάφορες χώρες, καθώς και μια περιγραφή του τρόπου με τον οποίο η αξιολόγηση του κύκλου ζωής υποστηρίζει την κυκλική οικονομία.

Πίνακας 3: Η κυκλική οικονομία υποστηρίζεται από ανάλυση αξιολόγησης κύκλου ζωής

Χώρα	Έτος	Τομέας	Περιγραφή έργου	Βασικά ευρήματα	Αναφορές
Ολλανδία	2016	Επιχείρηση	Ανάλυση και σχεδιασμός σύνθετων (περιφερειακών) συστημάτων κυκλικής οικονομίας με χρήση δύο	Η μελέτη καταδεικνύει ότι η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι χρήσιμη για την ανάλυση, το σχεδιασμό και την εφαρμογή βιώσιμων συστημάτων υδάτινης αναψυχής, αλλά ότι η προσθήκη υπηρεσιών θαλάσσιας πλοήγησης έχει θετικά οικονομικά	Οι Scheepens et al. (2016)

			μεθοδολογιών που βασίζονται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής μέσω μιας μελέτης περίπτωσης του θαλάσσιου τουρισμού	αποτελέσματα αλλά αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Κατά συνέπεια, η ενσωμάτωση της αξιολόγησης του κύκλου ζωής σε ένα πλαίσιο κυκλικής οικονομίας μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση των περιφερειακών επιχειρηματικών μοντέλων για βιώσιμα προϊόντα	
Ινδία	2020	Βιοϋλικά	Αξιολόγηση κύκλου ζωής προϊόντων βιολογικής βάσης στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας	Η μελέτη καταδεικνύει ότι υπάρχει κάποια δυνατότητα αξιολόγησης της βιωσιμότητας των προϊόντων βιολογικής βάσης στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, αλλά ότι η πρακτική, η εφαρμογή, η αξιολόγηση και η παραγωγή τους έχουν ορισμένες επιπτώσεις. Επιπλέον, η παραγωγή προϊόντων βιολογικής βάσης στο πλαίσιο μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας απαιτεί τη μέτρηση της βιωσιμότητας με την υπέρβαση περιορισμών και εμποδίων	Οι Dahiya et al. (2020)
Ιταλία	2015	Τροφή	Αξιολόγηση του κύκλου ζωής από τα τρόφιμα στα τρόφιμα: Μια μελέτη περίπτωσης της κυκλικής οικονομίας από τα κρουαζιερόπλοια στην υδατοκαλλιέργεια	Η μελέτη χρησιμοποιεί μια αξιολόγηση του κύκλου ζωής για να καταδείξει τα οφέλη μιας στρατηγικής κυκλικής οικονομίας μελέτης περίπτωσης όσον αφορά το αποτύπωμα άνθρακα, την ενεργειακή λογιστική και το αποτύπωμα νερού. Ωστόσο, τέτοιες κυκλικές λύσεις παραμένουν απροσδιόριστες στην	Οι Strazza et al. (2015)

				πράξη. Ως εκ τούτου, πρέπει να συγκεντρωθούν οι προοπτικές των ενδιαφερομένων και των ρυθμιστικών φορέων σχετικά με τη μελέτη	
Δανία	2016	Μεταλλικά υλικά	Αξιολόγηση κύκλου ζωής δοχείων αλουμινίου που περιέχουν στοιχεία κράματος χρησιμοποιώντας στρατηγική κυκλικής οικονομίας	Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι για να βελτιωθούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις της βιομηχανίας κονσερβών ποτών και να επιτευχθεί μια κυκλική οικονομία, πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικά συστήματα ανακύκλωσης. Η ικανότητα της αλυσίδας εφοδιασμού κουτιών αλουμινίου να είναι κλειστή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από οικονομική, περιβαλλοντική και καταναλωτική σκοπιά	Niero and Olsen (2016)
Αυστραλία	2020	Τροφή	Η έρευνα για τη σχέση μεταξύ συστημάτων τροφίμων και διατροφής χρησιμοποιεί την αξιολόγηση του κύκλου ζωής και τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας	Η μελέτη υπογραμμίζει τους περιορισμούς του πλαισίου της κυκλικής οικονομίας και της αξιολόγησης του κύκλου ζωής για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των συστημάτων τροφίμων της	Lu and Halog (2020)
Ολλανδία	2021	Κτίριο	Αξιολόγηση κύκλου ζωής κυκλικής οικονομίας δομικών στοιχείων	Σύμφωνα με τη μελέτη, τα μοντέλα αξιολόγησης κυκλικής οικονομίας και κύκλου ζωής μπορούν θεωρητικά να υποστηρίξουν την ανακύκλωση δομικών στοιχείων	van Stijn et al. (2021)

Κουβέιτ	2021	Νερό	Αξιολόγηση κύκλου ζωής μιας κυκλικής οικονομίας για την ανακύκλωση επεξεργασμένης ύλης καθαρισμού για γεωργική χρήση	Η μελέτη αξιολόγησε τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ανακύκλωση του χρήσιμου υλικού από την επεξεργασμένη ύλη λυμάτων για την ανάπτυξη των φυτών, αλλά δεν αξιολόγησε τις επιπτώσεις στο κόστος της εγγενούς παραγωγής και μεταφοράς λιπασμάτων	Οι Aleisa et al. (2021)
Δανία	2020	Περιβάλλον	Ανάπτυξη αξιολόγησης κύκλου ζωής Προσέγγιση κατανομής για κυκλική οικονομία στο δομημένο περιβάλλον	Η αξιοποίηση της αξιολόγησης της κυκλικής οικονομίας και του κύκλου ζωής στο δομημένο περιβάλλον έχει μειώσει σημαντικά τα απόβλητα, τη χρήση πόρων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από τον κτιριακό τομέα, αλλά δεν έχουν εντοπιστεί οικονομικά οφέλη	Οι Malabi Eberhardt et al. (2020)
Ελβετία	2021	Υλικά	Περιφερειακή κυκλική οικονομία δομικών υλικών: περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση που συνδυάζει ανάλυση ροής υλικών, αναλύσεις εισροών-εκροών και αξιολόγηση κύκλου ζωής	Διενεργείται μια κυκλική αξιολόγηση του κύκλου ζωής των δομικών υλικών για την ενημέρωση των επιχειρηματικών αποφάσεων στον κατασκευαστικό κλάδο. Ωστόσο, αυτές οι αναφορές αφορούν συγκεκριμένες περιοχές	Οι Meglin et al. (2022)
Μεξικό	2020	Χημική ουσία	Αξιολόγηση κύκλου ζωής εντατικοποιημένων διαδικασιών προς μια κυκλική	Αυτή η μελέτη περίπτωσης αξιολογεί τις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές της παραγωγής ωμέγα-3 από χρησιμοποιημένα ιχθυέλαια,	Οι Monsiváis-Alonso et al. (2020)

			οικονομία: παραγωγή ωμέγα-3 από χρησιμοποιημένα ιχθυέλαια	προκειμένου να προσδιορίσει τη βιωσιμότητα του μοντέλου. Διάφορες εναλλακτικές λύσεις έχουν μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, επομένως επιλέχθηκαν διάφορες προσεγγίσεις για τη βελτίωση του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας, αλλά το φυσικό περιβάλλον επηρέασε τη μελέτη	
--	--	--	---	---	--

Πολλά έθνη και κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχουν υιοθετήσει στρατηγικές ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας (Ευρωπαϊκή Ένωση 2020), Σουηδία (Σουηδική Στρατηγική Έρευνας και Καινοτομίας για μια Βιοβασισμένη Οικονομία 2012), Δανία (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Τροφίμων και Υπουργείο Βιομηχανίας 2018), και της Ολλανδίας (Υπουργείο Υποδομών και Περιβάλλοντος και Υπουργείου Οικονομικών 2016). Πολλές εταιρείες έχουν επίσης υιοθετήσει στρατηγικές επιχειρηματικής ανάπτυξης κυκλικής οικονομίας. Θεωρητικά, μια τριπλή αξιολόγηση προϊόντων ή υλικών όσον αφορά τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές πτυχές χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που συνδυάζει την κυκλική οικονομία και την αξιολόγηση του κύκλου ζωής θα μπορούσε να βοηθήσει στην προώθηση της βιωσιμότητάς τους. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Πίνακα 3, ο οποίος αναλύει μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες χώρες και τομείς χρησιμοποιώντας μοντέλα αξιολόγησης κύκλου ζωής κυκλικής οικονομίας για έργα, διαπιστώνουμε ότι παρά την εφαρμογή μοντέλων αξιολόγησης κύκλου ζωής κυκλικής οικονομίας στους τομείς των επιχειρήσεων, βιοϋλικών, τροφίμων, μετάλλων υλικά, κατασκευές, νερό, περιβάλλον, δομικά υλικά και χημεία, τα αποτελέσματα των μελετών τους δεν είναι ικανοποιητικά. Οι περισσότερες μελέτες καταδεικνύουν σημαντικό δυναμικό περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, αλλά εξακολουθούν να λείπουν ζητήματα οικονομικής και κοινωνικής βιωσιμότητας.

Επιπλέον, η έρευνα έχει δείξει ότι η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των προϊόντων ή των υλικών τους με τη χρήση μοντέλων αξιολόγησης του κύκλου ζωής της κυκλικής οικονομίας μπορεί να είναι διδακτική για τα ενδιαφερόμενα μέρη και τους

υπεύθυνους λήψης επενδυτικών αποφάσεων. Ωστόσο, απαιτείται πρόσθετη έρευνα όσον αφορά την πρακτική, τις αναφορές και τα αποτελέσματα. Επιπλέον, τα υλικά που μελετήθηκαν ενδέχεται να επηρεαστούν από το κλίμα του φυσικού περιβάλλοντος. Μελέτες σχετικά με την παραγωγή ωμέγα-3 από χρησιμοποιημένα ιχθυέλαια έχουν δείξει, για παράδειγμα, ότι οι εποχικές συνθήκες και οι συνθήκες αλειείας παίζουν επίσης ρόλο (Monsiváis-Alonso et al. 2020). Αν και η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας είναι ευρέως διαδεδομένη, υπάρχει έλλειψη έρευνας για το κοινωνικό της πλαίσιο, καθώς και για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας και τη μετατροπή της σε πρακτική εφαρμογή. Ως εκ τούτου, στο μέλλον, θα είναι απαραίτητο να ενισχυθούν οι μέθοδοι αξιολόγησης του κύκλου ζωής και άλλες μέθοδοι αξιολόγησης, όπως η θεωρία πρακτικής και η θεωρία δικτύων δρώντων, για να βελτιώσουμε την κατανόησή μας και την εφαρμογή των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας σε ποικίλα πλαίσια (Niero et al. 2021).

Αυτή η ενότητα εξετάζει μελέτες που αξιολογούν τα μοντέλα κύκλου ζωής της κυκλικής οικονομίας για ερευνητικά έργα σε διάφορες χώρες, περιοχές και εποχές. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα θεωρητικά ευρήματά τους χρησιμεύουν ως οδηγός για τα ενδιαφερόμενα μέρη, αλλά ότι η εφαρμογή τους στην πράξη πρέπει να ενισχυθεί στο μέλλον.

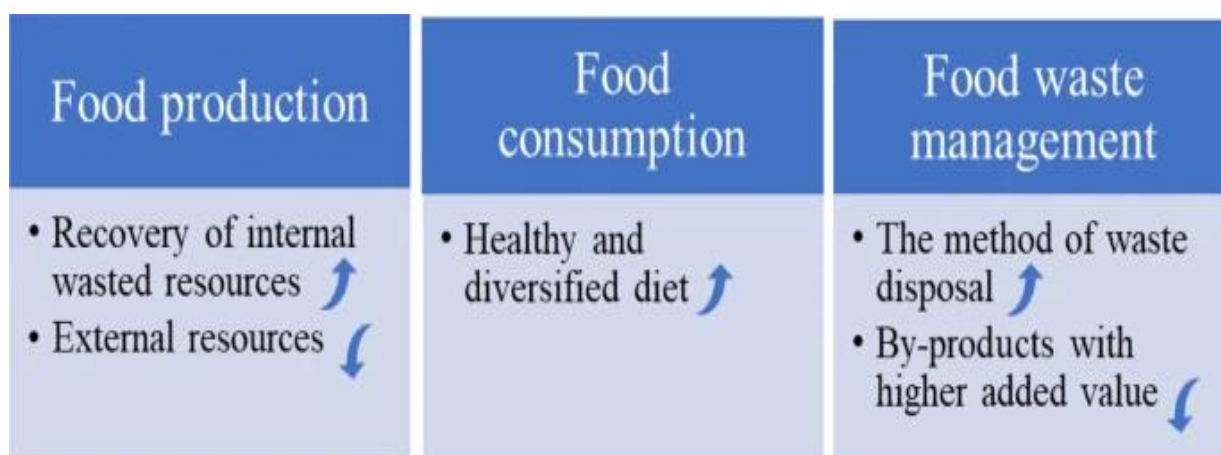
3.2 Οικονομικές διαδρομές για την κυκλική οικονομία

Αυτή η ενότητα θα εξετάσει τρεις πιθανές διαδρομές κυκλικής οικονομίας για την τρέχουσα περίοδο για τη δημιουργία πάρκων κυκλικής οικονομίας, την προώθηση της ανακύκλωσης χύδην απορριμμάτων βασικών προϊόντων και το σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων.

3.2.1 Καθιέρωση κυκλικής οικονομίας σε βιομηχανικό πάρκο

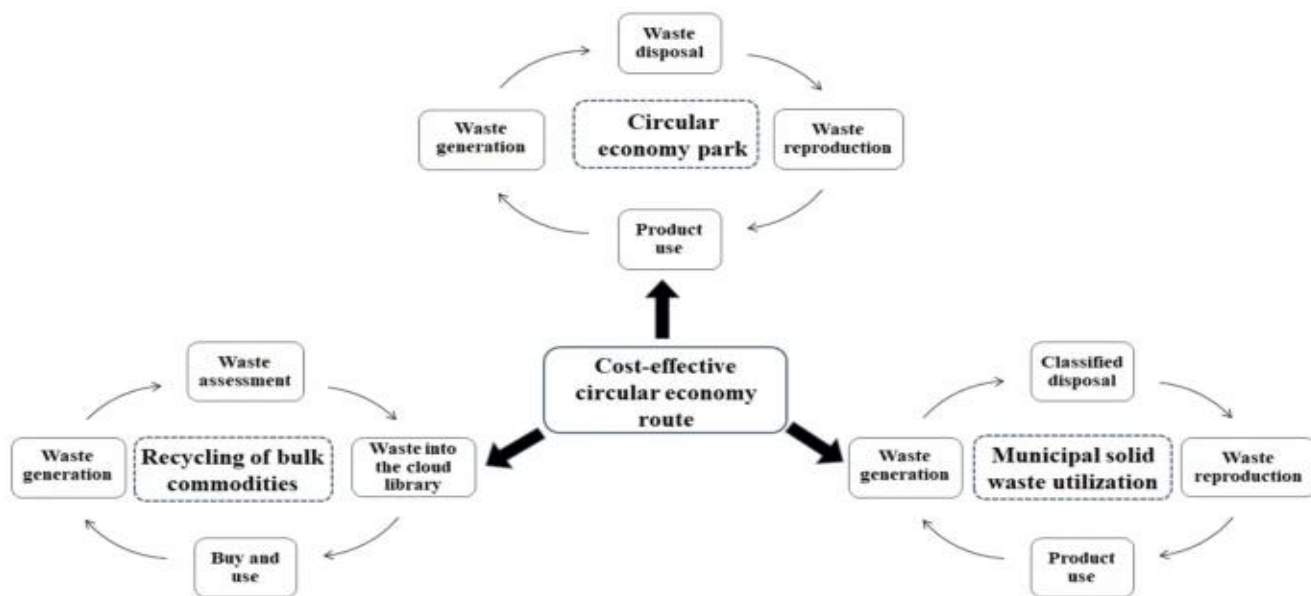
Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1, η κατασκευή ενός οικολογικού βιομηχανικού πάρκου βασισμένου σε μια κυκλική οικονομία, ιδιαίτερα ενός ενιαίου βιομηχανικού πάρκου κυκλικής οικονομίας για μια συγκεκριμένη βιομηχανία, θα επικεντρώσει την ανάκτηση, επεξεργασία, παραγωγή, συσκευασία και εμπορία απορριμμάτων σε κάθε εταιρεία σε ένα πάρκο, το οποίο θα έχει πολυάριθμα θετικά αποτελέσματα. Fan et al. (2017), για παράδειγμα, πιστεύουν ότι η δημιουργία βιομηχανικών πάρκων μπορεί να βελτιώσει τη βιομηχανική βελτιστοποίηση, την προστασία του περιβάλλοντος και τα οικονομικά οφέλη. Σύμφωνα με τους Van Bueren et al. (2012), τα βιομηχανικά πάρκα

μπορούν να μειώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το σχετικό κόστος. Οι Dong et al. (2013) εφάρμοσε ανάλυση κύκλου ζωής και ανάλυση εισροών-εκροών στη Ζώνη Οικονομικής και Τεχνολογικής Ανάπτυξης Shenyang της Κίνας και διαπίστωσε ότι τα οικολογικά βιομηχανικά πάρκα μπορούν να μειώσουν τις συνολικές εκπομπές άνθρακα και να αυξήσουν την αποδοτικότητα χρήσης των πόρων. Αυτό το βαθιά δεσμευμένο βιομηχανικό πάρκο μπορεί να θεωρηθεί ως βιομηχανική συμβίωση. Η δημιουργία κεντρικών βιομηχανικών πάρκων θα δώσει σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του οικοβιομηχανικού πάρκου ένα συλλογικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις προμήθειες ενέργειας, πρώτων υλών, επεξεργασίας απορριμμάτων και άλλων υποπροϊόντων, καθιστώντας έτσι ολόκληρη την κυκλική οικονομία πιο οικονομική.



Εικόνα 3: Η παραγωγή, η κατανάλωση και η διαχείριση των απορριμμάτων του συστήματος τροφίμων μπορούν όλα να ωφεληθούν από την κυκλική οικονομία.

Η παραγωγή, η κατανάλωση και η διαχείριση των απορριμμάτων του συστήματος τροφίμων μπορούν όλα να ωφεληθούν από την κυκλική οικονομία. Στην παραγωγή τροφίμων, η κυκλική οικονομία θα προωθήσει την ανακύκλωση των εσωτερικών αποβλήτων και θα μειώσει τη χρήση εξωτερικών πόρων. μια ποικιλόμορφη και υγιεινή διατροφή θα προωθήσει μια κυκλική οικονομία στην κατανάλωση τροφίμων. και στη διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων, θα υπάρξει μεγαλύτερη ποικιλία επιλογών επεξεργασίας απορριμμάτων και μια στροφή προς τη χρήση των απορριμμάτων για την παραγωγή υποπροϊόντων με υψηλή προστιθέμενη αξία



Εικόνα 4: Οικονομικός χάρτης διαδρομής κυκλικής οικονομίας που βασίζεται σε ένα βιομηχανικό πάρκο κυκλικής οικονομίας, την ανακύκλωση χύδην εμπορευμάτων και ένα σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων.

Οικονομικός χάρτης διαδρομής κυκλικής οικονομίας που βασίζεται σε ένα βιομηχανικό πάρκο κυκλικής οικονομίας, την ανακύκλωση χύδην εμπορευμάτων και ένα σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων. Όσον αφορά το πάρκο κυκλικής οικονομίας, η διαδρομή ανακύκλωσης περιλαμβάνει τη δημιουργία απορριμμάτων, τη διάθεση απορριμμάτων, την αναπαραγωγή απορριμμάτων και την επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων. η διαδρομή ανακύκλωσης για την ανακύκλωση χύδην εμπορευμάτων περιλαμβάνει τη δημιουργία απορριμμάτων, την αξιολόγηση της ποιότητας των αποβλήτων, την εισαγωγή πληροφοριών για τα απόβλητα στο cloud και την εμπορία· η εφαρμογή των αστικών στερεών αποβλήτων είναι επίσης μια πολύ κρίσιμη πτυχή, που περιλαμβάνει τη δημιουργία αποβλήτων, την ταξινόμηση των αποβλήτων, την αναπαραγωγή και την επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων

3.2.2 Αύξηση της ανακύκλωσης απορριμμάτων εμπορευμάτων

Τα οικοδομικά απόβλητα είναι επί του παρόντος μία από τις μεγαλύτερες πηγές απορριμμάτων (Bilal et al. 2020). περίπου το 40% των συνολικών απορριμμάτων παγκοσμίως παράγονται από τον κατασκευαστικό κλάδο (Nasir et al. 2017). Ο τρέχων κατασκευαστικός κλάδος είναι μη βιώσιμος λόγω του γραμμικού οικονομικού μοντέλου «απόκτησης, κατασκευής και διάθεσης» (Bilal et al. 2020). Τα δομικά απόβλητα που παράγονται στο στάδιο του τέλους ζωής αντιπροσωπεύουν το 50% των συνολικών αποβλήτων που παράγονται από τον κατασκευαστικό κλάδο (Kibert 2016).

Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή τα περισσότερα οικοδομικά υλικά απορρίπτονται απευθείας στο τέλος της ζωής τους (Akanbi et al. 2018b). Η κυκλική οικονομία υποστηρίζεται ευρέως επί του παρόντος στον κατασκευαστικό κλάδο, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας των κτιριακών πόρων και την ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων κατά την κατασκευή και στο τέλος της διάρκειας ζωής ενός κτιρίου (Tserng et al. 2021).

Η προώθηση της κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό κλάδο είναι πιο οικονομική με την αξιολόγηση των οικοδομικών απορριμμάτων. Για παράδειγμα, οι Akanbi et al. (2018a) πρότεινε και ανέπτυξε μεθόδους για τον προσδιορισμό του επιπέδου επαναχρησιμοποίησης των δομικών υλικών στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους. Ο πρωταρχικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να αναπτυχθεί πρώτα ένα μαθηματικό μοντέλο που μπορεί να προσομοιώσει τον εκτιμητή υπολειμματικής αξίας κτιρίων ή δομικών υλικών. Με βάση αυτό το μαθηματικό μοντέλο, αναπτύσσεται ένα επαναχρησιμοποιήσιμο εργαλείο ανάλυσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας των υλικών που μπορούν να ληφθούν από τα κτίρια στο τέλος της ζωής τους. Σύμφωνα με το επίπεδο αξιολόγησης, τα οικοδομικά απόβλητα θα πρέπει να κατηγοριοποιούνται και να χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η μέγιστη επαναχρησιμοποίηση. Επιπλέον, ο συνδυασμός του εργαλείου ανάλυσης επαναχρησιμοποίησης κτιρίου και του μοντέλου πληροφοριών κτιρίου θα βελτιώσει την αποδοχή και τη χρηστικότητα αυτού του εργαλείου μεταξύ των επαγγελματιών του κλάδου. Οι Akanbi et al. (2018b) πρότεινε μια εκτίμηση απόδοσης διάσωσης κτιρίου με βάση τη μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου, η οποία μπορεί να προσομοιώσει την ανακυκλωσιμότητα των κτιρίων από το στάδιο του σχεδιασμού και να αξιολογήσει αντικειμενικά τις δυνατότητες των κτιρίων να ανταποκριθούν στον στόχο της κυκλικής οικονομίας.

Η έκδοση διαβατηρίων υλικών για δομικά απόβλητα, τα οποία περιέχουν επίσης πολύ σημαντικές πληροφορίες σχετικά με δομικά υλικά που είναι αποθηκευμένα στο Διαδίκτυο ή στο cloud, θα διευκολύνει τη ροή ή την ανταλλαγή των οικοδομικών αποβλήτων και θα προωθήσει μια πιο οικονομική κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό τομέα (Honic et al. 2019). Για παράδειγμα, οι Sauter et al. (2019) ανέπτυξε τη διαδικασία για τα ανακυκλώσιμα δομικά υλικά για να ενθαρρύνει την ανταλλαγή δεδομένων δομικών απορριμμάτων μεταξύ του προσωπικού της

βιομηχανίας και την κυκλοφορία δομικών υλικών, ιδιαίτερα απορριμμάτων. Επιπλέον, το διαβατήριο δομικών υλικών θα βοηθήσει στην ανάλυση της κυκλοφορίας των οικοδομικών απορριμμάτων. Για παράδειγμα, οι Honic et al. (2019) ανακάλυψε ότι το σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερες δυνατότητες ανακύκλωσης από το ξύλο.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1, για τα απόβλητα που παράγονται από χύδην εμπορεύματα όπως τα απόβλητα κατασκευών, η ποιότητα και η απόδοση των αποβλήτων θα πρέπει να αξιολογούνται πριν από τη μετάδοση των πληροφοριών δεδομένων των αποβλήτων στο cloud για τη διευκόλυνση των αγοραστών. Αυτή η διαδρομή ενθαρρύνει το εμπόριο χύδην απορριμμάτων προϊόντων και είναι η πιο οικονομική οδός κυκλικής οικονομίας.

3.3 Σύστημα αξιοποίησης αστικών στερεών απορριμμάτων

Σε σύγκριση με όλα τα αστικά απόβλητα που δεν είναι ανακυκλώσιμα, αποτεφρώνονται ή απορρίπτονται αμέσως μετά την ανακύκλωση. Η ταξινομημένη ανακύκλωση στο τέλος της διαδικασίας ανακύκλωσης σκουπιδιών είναι πολύ αποτελεσματική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους τύπους απορριμμάτων. Πάρτε για παράδειγμα την Κίνα. η κατά κεφαλήν παραγωγικότητα σκουπιδιών στην Κίνα είναι 0,8 κιλά την ημέρα (Guerrero et al. 2013), αλλά το ποσοστό υγειονομικής ταφής στην Κίνα είναι υψηλότερο από αυτό στις ανεπτυγμένες χώρες (Mian et al. 2017), γεγονός που προκαλεί όχι μόνο σπατάλη πόρων σκουπιδιών, αλλά προκαλεί επίσης τα τρία τέταρτα των απορριμμάτων της Κίνας (Xin-Gang et al. 2016). Η εθνική επιτροπή ανάπτυξης και μεταρρύθμισης της Κίνας δημοσίευσε ένα «σχέδιο για το υποχρεωτικό σύστημα ταξινόμησης αποβλήτων» από το 2016. Μέχρι το τέλος του 2020, 46 κινεζικές πόλεις θα έχουν εφαρμόσει ένα πιλοτικό σύστημα ταξινόμησης και διαχείρισης αποβλήτων (Liu et al. 2022). Η εφαρμογή της διαλογής των απορριμμάτων στην πηγή ανακύκλωσης είναι βέβαιο ότι θα αποφέρει μακροπρόθεσμα οφέλη και συνάδει με τη σύγχρονη έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης. Η ταξινόμηση των αστικών στερεών αποβλήτων αναμφίβολα θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα της αναπαραγωγής των αποβλήτων και θα αποτρέψει την απευθείας υγειονομική ταφή περισσότερων σκουπιδιών (Zhang et al. 2021). Από το Γράφημα 1, τα ανακυκλώσιμα αστικά στερεά απόβλητα εισέρχονται συνήθως στο στάδιο της αναπαραγωγής και μετατρέπονται σε νέα προϊόντα, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα χρήσης των

αστικών στερεών απορριμμάτων και βοηθώντας την ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας.

Συμπεράσματα

Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των επιπτώσεων των αποτελεσματικών στρατηγικών κυκλικής οικονομίας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και άλλες εφαρμογές. Αυτή η πτυχιακή αναλύει αρχικά την κυκλική οικονομία ως μια προσέγγιση στη διαχείριση των απορριμμάτων με τρεις τρόπους: εξάλειψη απορριμμάτων, ανακύκλωση υλικών και φυσική αναγέννηση μέσω οικοσυστημάτων. Οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να δημιουργήσουν οικολογικά συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων που μεγιστοποιούν την οικονομική απόδοση, μειώνουν την κατανάλωση πόρων και αποτρέπουν την περιβαλλοντική ρύπανση, μετριάζοντας έτσι τις πιέσεις που αντιμετωπίζουν μεμονωμένες χώρες.

Επιπλέον, η στρατηγική της κυκλικής οικονομίας ευθυγραμμίζεται καλά με τον στόχο της κλιματικής αλλαγής και αποτελεί μέσο αντιμετώπισης του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής. Μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα από τη βιομηχανία, τη διάθεση απορριμμάτων, τη χρήση ενέργειας, την κατασκευή κτιρίων και τις μεταφορές, μετριάζοντας έτσι την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, οι στρατηγικές κυκλικής οικονομίας έχουν διάφορες επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και του νερού, στην κατανάλωση ενέργειας, στους φυσικούς πόρους, στα στερεά τοξικά απόβλητα και στην κάλυψη της χρήσης γης. Συγκεκριμένα, μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και του νερού, να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και φυσικών πόρων και να απορρίψει τα στερεά και τοξικά απόβλητα αποτελεσματικά και εύλογα. Ωστόσο, η χρήση βιολογικών υλικών στη στρατηγική της κυκλικής οικονομίας μπορεί να αυξήσει τη χρήση γης και την πίεση της κάλυψης γης.

Η κυκλική οικονομία θα δημιουργήσει πολλές ευκαιρίες βιομηχανικής ανάπτυξης και θα προσφέρει ευκαιρίες βελτιστοποίησης του συστήματος τροφίμων. Σε συνεργασία με κυβερνήσεις και πανεπιστήμια, οι βιομηχανικές εταιρείες μπορούν να ανακυκλώσουν για να κατασκευάσουν προϊόντα φιλικά προς τον καταναλωτή. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές κυκλικής οικονομίας μπορούν να μειώσουν τις εισροές φυσικών πόρων και ενέργειας, καθώς και τις εκροές αποβλήτων και εκπομπών σε όλο

τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Η κυκλική οικονομία μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες για την παραγωγή τροφίμων του συστήματος τροφίμων, την κατανάλωση τροφίμων και τη διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων. Μέσω των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας, είναι δυνατό να μειωθεί η χρήση μη ανανεώσιμων πόρων στην παραγωγή τροφίμων, να αυξηθούν οι εξωτερικά ανακυκλώσιμοι πόροι και να ανακτηθούν εσωτερικά παραγόμενα απόβλητα. Μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας μπορεί να συντομεύσει την αλυσίδα εφοδιασμού και να μειώσει την κλίμακα της κατανάλωσης τροφίμων εξορθολογίζοντας την αλυσίδα εφοδιασμού. Ταυτόχρονα, μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας θα παράσχει πρόσθετες μεθόδους επεξεργασίας απορριμμάτων για τη διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων και θα ενισχύσει την αξία των υποπροϊόντων.

Θεωρητικά, η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αξιολόγηση προϊόντων ή υλικών μέσω ενός συνδυασμένου μοντέλου αξιολόγησης κυκλικής οικονομίας και κύκλου ζωής μπορεί να προωθήσει τη βιωσιμότητα των προϊόντων και των υλικών. Η μελέτη αποκάλυψε ότι παρόλο που το μοντέλο αξιολόγησης του κύκλου ζωής της κυκλικής οικονομίας έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, το μοντέλο αξιολόγησης στερείται κριτηρίων οικονομικής και κοινωνικής βιωσιμότητας. Το μοντέλο αξιολόγησης του κύκλου ζωής μπορεί να παρέχει πληροφορίες στα ενδιαφερόμενα μέρη και στους υπεύθυνους λήψης επενδυτικών αποφάσεων. Θα είναι απαραίτητο για το μέλλον να ενισχυθεί ο συνδυασμός των μεθόδων αξιολόγησης του κύκλου ζωής με την πρακτική θεωρία ή τη θεωρία του δικτύου δρώντων για την προώθηση της εφαρμογής στρατηγικών κυκλικής οικονομίας.

Τέλος, προτείνουμε μια πορεία κυκλικής οικονομίας που μπορεί να προσφέρει μια θεωρητική βάση για τη μελλοντική βιωσιμότητα της βιομηχανίας, της γεωργίας και του εμπορίου. Με τη συγκέντρωση της ανακύκλωσης, της επεξεργασίας, της παραγωγής, της συσκευασίας και της εμπορίας των απορριμμάτων στις μεμονωμένες επιχειρήσεις του πάρκου, η ανάπτυξη ενός οικολογικού βιομηχανικού πάρκου βασισμένου σε μια κυκλική οικονομία μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη. Για τα απόβλητα που παράγονται από χύμα προϊόντα, όπως τα απόβλητα κατασκευών, αξιολογείται η ποιότητα και η απόδοση των απορριμμάτων και τα δεδομένα για τα απόβλητα μεταφορτώνονται στο cloud, διευκολύνοντας έτσι το εμπόριο χύδην απορριμμάτων προϊόντων. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή του διαχωρισμού των

απορριμμάτων στην πηγή ανακύκλωσης θα οδηγήσει αναμφίβολα σε μακροπρόθεσμα οφέλη βιωσιμότητας.

Βιβλιογραφία

- Abad-Segura E, Batlles-de-laFuente A, González-Zamar MD, Belmonte-Ureña LJ (2021) Επιπτώσεις για τη βιωσιμότητα της κοινής εφαρμογής της βιοοικονομίας και της κυκλικής οικονομίας: μια παγκόσμια μελέτη τάσεων. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su13137182>
- Abdel-Shafy HI, Mansour MSM (2018) Ζήτημα στερεών αποβλήτων: πηγές, σύνθεση, διάθεση, ανακύκλωση και αξιοποίηση. Αίγυπτος J Pet 27:1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Aboudaou M, Ferhat MA, Hazzit M, Ariño A, Djenane D (2019) Εκχύλιση αιθέριου ελαίου από φλούδα πορτοκαλιού (*Citrus sinensis* L.): επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής των αρωματισμένων υγρών ολόκληρων αυγών κατά την αποθήκευση στο εμπόριο λιανικής συνθήκες. J Food Meas Charac 13:3162–3172. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00239-9>
- Aceleanu MI, Serban AC, Suciu MC, Bitoiu TI (2019) Η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων μέσω της κυκλικής οικονομίας στο πλαίσιο της ανάπτυξης έξυπνων πόλεων. IEEE Access 7:133602–133614. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2928999>
- Adami L, Schiavon M (2021) Από την κυκλική οικονομία στην κυκλική οικολογία: μια ανασκόπηση για την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσω προσεγγίσεων κυκλικής διαχείρισης απορριμμάτων. Βιωσιμότητα 13:925. <https://doi.org/10.3390/su13020925>
- Aguilar-Hernandez GA, Sigüenza-Sanchez CP, Donati F, Merciai S, Schmidt J, Rodrigues JFD, Tukker A (2019) Το χάσμα κυκλικότητας των εθνών: Μια πολυπεριφερειακή ανάλυση παραγωγής αποβλήτων, ανάκτησης και εξάντλησης αποθεμάτων το 2011. Resour Conserv Recycl 151:104452. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104452>
- Aguilar Esteva LC, Kasliwal A, Kinzler MS, Kim HC, Keoleian GA (2020) Πλαίσιο κυκλικής οικονομίας για αυτοκίνητα: κλείσιμο ενεργειακών και υλικών βρόχων. J Ind Ecol 25:877–889. <https://doi.org/10.1111/jiec.13088>
- Akanbi L, Oyedele L, Delgado JMD, Bilal M, Akinade O, Ajayi A, Mohammed-Yakub N (2018a) Εργαλείο ανάλυσης επαναχρησιμοποίησης για αξιολόγηση στο τέλος του κύκλου ζωής των δομικών υλικών σε μια κυκλική οικονομία. World Jo Sci Technol Sustain Dev 16:40–55. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-05-2018-0041>
- Akanbi LA, Oyedele LO, Akinade OO, Ajayi AO, Delgado MD, Bilal M, Bello SA (2018β) Διάσωση οικοδομικών υλικών σε μια κυκλική οικονομία: ένας εκτιμητής απόδοσης ολόκληρης ζωής που βασίζεται στο BIM. Resour Conserv Recycl 129:175–186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>
- Al-Wahaibi A, Osman AI, Al-Muhtaseb AH, Alqaisi O, Baawain M, Fawzy S, Rooney DW (2020) Τεχνοοικονομική αξιολόγηση της παραγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα τροφίμων μέσω αναερόβιας χώνευσης. Sci Rep 10:15719. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72897-5>
- Aleisa E, Alsulaili A, Almuzaini Y (2021) Επανακυκλοφορία επεξεργασμένης λυματολάσπης για γεωργική χρήση: αξιολόγηση κύκλου ζωής για μια κυκλική οικονομία. Waste Manag 135:79–89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.035>

- Alexandratos N, Bruinsma J (2012) Η παγκόσμια γεωργία προς το 2030/2050: η αναθεώρηση του 2012. Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών 12. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.288998>
- Alhawari O, Awan U, Bhutta MKS, Ülkü MA (2021) Insights από τη βιβλιογραφία της κυκλικής οικονομίας: μια ανασκόπηση των υπαρχόντων ορισμών και των μονοπατιών για μελλοντική έρευνα. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su13020859>
- Almagtome AH, Al-Yasiri AJ, Ali RS, Kadhimi HL, Bekheet HN (2020) Πρωτοβουλίες κυκλικής οικονομίας μέσω της ενεργειακής λογιστικής και της βιώσιμης ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο ολοκληρωμένων αναφορών. *Int J Math Eng Manag Sci* 5:1032–1045. <https://doi.org/10.33889/ijmems.2020.5.6.079>
- Anttonen M, Lammi M, Mykkänen J, Repo P (2018) Κυκλική οικονομία στην τριπλή έλικα των συστημάτων καινοτομίας. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su10082646>
- Atabaki MS, Mohammadi M, Naderi B (2020) Νέα ισχυρά μοντέλα βελτιστοποίησης για εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου ανθεκτικών προϊόντων: προς μια κυκλική οικονομία. *Comput Ind Eng*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106520>
- Aznar-Sánchez JA, Velasco-Muñoz JF, García-Arca D, López-Felices B (2020) Προσδιορισμός ευκαιριών για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στην εντατική γεωργία στην Αλμερία (Νοτιοανατολική Ισπανία). *Αγρονομία*. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101499>
- Baaka N, Haddar W, Ben Ticha M, Amorim MTP, M'Henni MF (2017) Θέματα βιωσιμότητας της βαφής μαλλιού υπερίχων με χρωστική πυρηνικής σταφυλιού. *Nat Prod Res* 31:1655–1662. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1285303>
- Bajželj B, Quested TE, Rööß E, Swannell RPJ (2020) Ο ρόλος της μείωσης της σπατάλης τροφίμων για ανθεκτικά συστήματα τροφίμων. *Ecosyst Serv* 45:101140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101140>
- Bartl A (2011) Εμπόδια για την επίτευξη μιας κοινωνίας μηδενικών αποβλήτων. *Waste Manag* 31:2369–2370. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.013>
- Bere E, Brug J (2009) Προς τις περιφερειακές δίαιτες που προάγουν την υγεία και φιλικές προς το περιβάλλον – ένα σκανδιναβικό παράδειγμα. *Δημόσια Υγεία Nutr* 12:91–96. <https://doi.org/10.1017/S1368980008001985>
- Berechet M, Mirel I, Staniloiu C, Fischer K (2019) Αποτύπωμα άνθρακα της διαχείρισης αποβλήτων στη Ρουμανία στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. *Environ Eng Manag J (EEMJ)* 18:1289–1295. <http://www.eemj.eu/index.php/EEMJ/article/view/3889>
- Bilal M, Khan KIA, Thaheem MJ, Nasir AR (2020) Τρέχουσα κατάσταση και εμπόδια στην κυκλική οικονομία στον κτιριακό τομέα: προς ένα πλαίσιο μετριάσμού. *J Clean Prod* 276:123250. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123250>
- Borrello M, Caracciolo F, Lombardi A, Pascucci S, Cembalo L (2017) Η οπτική των καταναλωτών για τη στρατηγική κυκλικής οικονομίας για τη μείωση της σπατάλης τροφίμων. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su9010141>

- Bouaita R, Derbal K, Panico A, Iasimone F, Pontoni L, Fabbicino M, Pirozzi F (2022) Παραγωγή μεθανίου από αναερόβια συν-πέψη αποβλήτων φλοιού πορτοκαλιού και οργανικού κλάσματος αστικών στερεών αποβλήτων σε αντιδραστήρες παρτίδας και ημυσυνεχούς. *Biomass Bioenerg* 160:106421. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106421>
- Bressanelli G, Perona M, Saccani N (2017) Αναδιαμόρφωση της βιομηχανίας πλυντηρίων ρούχων μέσω επιχειρηματικών μοντέλων συστημάτων κυκλικής οικονομίας και προϊόντων-υπηρεσιών. *Procedia CIRP* 64:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.065>
- Breure AM, Lijzen JPA, Maring L (2018) Διαχείριση εδάφους και γης σε μια κυκλική οικονομία. *Sci Total Environ* 624:1125–1130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.137>
- Caldas LR, Saraiva AB, Lucena AFP, Da Gloria MhY, Santos AS, Filho RDT (2021) Δομικά υλικά σε μια κυκλική οικονομία: η περίπτωση των απορριμμάτων ξύλου ως καταβόθρα CO₂ σε βιολογικό σκυρόδεμα. *Resour Conserv Recycl*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105346>
- Carpenter A, Lozano R, Sammalisto K, Astner L (2018) Διασφάλιση του μέλλοντος ενός λιμανιού μέσω της κυκλικής οικονομίας: εμπειρίες από το λιμάνι του Gävle για τη συμβολή στη βιωσιμότητα. *Mar Pollut Bull* 128:539–547. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.065>
- Centobelli P, Cerchione R, Chiaroni D, Del Vecchio P, Urbinati A (2020) Σχεδιάζοντας επιχειρηματικά μοντέλα στην κυκλική οικονομία: μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση και ερευνητικό πρόγραμμα. *Bus Strateg Environ* 29:1734–1749. <https://doi.org/10.1002/bse.2466>
- Chen L, Msigwa G, Yang M, Osman AI, Fawzy S, Rooney DW, Yap PS (2022) Στρατηγικές για την επίτευξη μιας κοινωνίας με ουδέτερο άνθρακα: μια ανασκόπηση. *Environ Chem Lett*. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>
- Chen L, Wang L, Cho DW, Tsang DCW, Tong L, Zhou Y, Yang J, Hu Q, Poon CS (2019) Βιώσιμη σταθεροποίηση/στερεοποίηση ιπτάμενης τέφρας αποτεφρωτή αστικών στερεών αποβλήτων με ενσωμάτωση πράσινων υλικών. *J Clean Prod* 222:335–343. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.057>
- Cheng H, Hu Y (2010) Τα αστικά στερεά απόβλητα (MSW) ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας: τρέχουσες και μελλοντικές πρακτικές στην Κίνα. *Biores Technol* 101:3816–3824. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.040>
- Chiappetta Jabbour CJ, De Camargo FP, Wong CWY, Jugend D, De Sousa L, Jabbour AB, Roman Pais Seles BM, Paula Pinheiro MA, Ribeiro da Silva HM (2020) Πρωτοκίνητες εταιρείες στη μετάβαση προς την οικονομία του διαμοιρασμού στο μεταλλικό Βιομηχανίες έντασης φυσικών πόρων: επιπτώσεις για την κυκλική οικονομία και την αναδυόμενη βιομηχανία 4.0 τεχνολογίες. *Πολιτική πόρων* 66:234. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101596>
- Chioatto E, Sospiro P (2022) Μετάβαση από τη διαχείριση απορριμμάτων στην κυκλική οικονομία: ο οδικός χάρτης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. *Environ Dev Sustain*. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02050-3>

- Chojnacka K, Witek-Krowiak A, Moustakas K, Skrzypczak D, Mikula K, Loizidou M (2020) Μια μετάβαση από τη συμβατική άρδευση στη λίπανση με ανακυκλωμένα λύματα: προοπτικές και προκλήσεις. *Renew Sustain Energy Rev* 130:109959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109959>
- Christis M, Athanassiadis A, Vercauteren A (2019) Εφαρμογή σε επίπεδο πόλης στρατηγικών κυκλικής οικονομίας και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής — η περίπτωση των Βρυξελλών. *J Clean Prod* 218:511–520. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.180>
- Ciriminna R, Scurria A, Danzi C, Timpanaro G, Di Stefano V, Avellone G, Pagliaro M (2018) Αρωματική βιοαιθανόλη: ένα πολύτιμο βιοπροϊόν από εκχύλιση χυμού πορτοκαλιού και αιθέριων ελαίων. *Sustain Chem Pharm* 9:42–45. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.05.002>
- Cortés A, Esteve-Llorens X, González-García S, Moreira MT, Feijoo G (2021) Στρατηγική πολλαπλών προϊόντων για την ενίσχυση του περιβαλλοντικού προφίλ της βιομηχανίας κονσερβοποίησης προς την κυκλική οικονομία. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148249>
- Cucciniello R, Cespi D (2018) Ανακύκλωση στη χημική βιομηχανία: η εποχή της κυκλικής οικονομίας. *Ανακύκλωση*. <https://doi.org/10.3390/recycling3020022>
- Dahiya S, Katakojwala R, Ramakrishna S, Mohan SV (2020) Προϊόντα με βάση τα βιολογικά προϊόντα και αξιολόγηση κύκλου ζωής στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της βιωσιμότητας. *Mater Circu Econ* 2:7. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00007-x>
- Dantas TET, de-Souza ED, Destro IR, Hammes G, Rodriguez CMT, Soares SR (2021) Πώς ο συνδυασμός κυκλικής οικονομίας και βιομηχανίας 4.0 μπορεί να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. *Sustain Prod Consump* 26:213–227. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>
- De Boer J, Schösler H, Aiking H (2014) «Meatless days» ή «λιγότερο αλλά καλύτερο»; Διερεύνηση στρατηγικών για την προσαρμογή της δυτικής κατανάλωσης κρέατος στις προκλήσεις υγείας και βιωσιμότητας. *Όρεξη* 76:120–128. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.02.002>
- De Pascale A, Arbolino R, Szopik-Depczyńska K, Limosani M, Ioppolo G (2021) Μια συστηματική ανασκόπηση για τη μέτρηση της κυκλικής οικονομίας: οι 61 δείκτες. *J Clean Prod*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>
- De Sadeleer I, Brattebø H, Callewaert P (2020) Πρόληψη αποβλήτων, ανάκτηση ή ανακύκλωση ενέργειας – κατευθύνσεις για τη διαχείριση των οικιακών απορριμμάτων τροφίμων υπό το πρίσμα της πολιτικής κυκλικής οικονομίας. *Resour Conserv Recycl*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104908>
- Deivanayaki M, Antony I (2012) Εναλλακτική φυτική θρεπτική πηγή για μικροβιακή ανάπτυξη. *Int J Biosci (IJB)* 2:47–51. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123199022>
- Diaz-Elsayed N, Rezaei N, Ndiaye A, Zhang Q (2020) Τάσεις στην περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα της ανάκτησης πόρων με βάση τα λύματα: μια

- Dong L, Zhang H, Fujita T, Ohnishi S, Li H, Fujii M, Dong H (2013) Περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη της βιομηχανικής συμβίωσης για την κινεζική βιομηχανία σιδήρου/χάλυβα: εμπειρία και πρακτική της Kawasaki στο Liuzhou και το Jinan. *J Clean Prod* 59:226–238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.048>
- Dubois O (2011) Η κατάσταση των παγκόσμιων χερσαίων και υδάτινων πόρων για τρόφιμα και γεωργία: διαχείριση συστημάτων σε κίνδυνο: Earthscan. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123051697>
- Dufresne A (2017) Νανοςύνθετα πολυμερή ενισχυμένα με νανοϋλικά κυτταρίνης. *Curr Opin Colloid Interface Sci* 29:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.01.004>
- Durán-Romero G, López AM, Beliaeva T, Ferasso M, Garonne C, Jones P (2020) Γεφύρωση του χάσματος μεταξύ της κυκλικής οικονομίας και των πολιτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής μέσω οικολογικών καινοτομιών και Μοντέλου Πενταπλωτής Έλικας. *Technol Forecast Soc Chang.* <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120246>
- Ευρωπαϊκή Ένωση (2008) Οδηγία 2008/98/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>. Πρόσβαση στις 26 Απριλίου 2022
- Ευρωπαϊκή Ένωση (2020) Σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία. https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en. Πρόσβαση στις 4 Μαΐου 2022
- Ezeudu OB, Ezeudu TS (2019) Εφαρμογή αρχών κυκλικής οικονομίας στη διαχείριση βιομηχανικών στερεών αποβλήτων: μελέτες περιπτώσεων από μια αναπτυσσόμενη οικονομία (Νιγηρία). Ανακύκλωση. <https://doi.org/10.3390/recycling4040042>
- Fan Y, Qiao Q, Fang L (2017) Ανάλυση δικτύου του βιομηχανικού μεταβολισμού στο βιομηχανικό πάρκο — μια μελέτη περίπτωσης της περιοχής οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης Huai'an. *J Clean Prod* 142:1552–1561. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.149>
- Fawzy S, Osman AI, Yang H, Doran J, Rooney DW (2021) Βιομηχανικά συστήματα βιοαπανθράκων για αφαίρεση ατμοσφαιρικού άνθρακα: μια ανασκόπηση. *Environ Chem Lett* 19:3023–3055. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01210-1>
- Fidélis T, Cardoso AS, Riazi F, Miranda AC, Abrantes J, Teles F, Roebeling PC (2021) Πολιτικές αφηγήσεις της κυκλικής οικονομίας στην ΕΕ—Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης του νερού και της γης στα εθνικά σχέδια δράσης. *J Clean Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125685>
- Fragkos P (2022) Αναλύοντας τις συστημικές επιπτώσεις των στρατηγικών ενεργειακής απόδοσης και κυκλικής οικονομίας στο πλαίσιο της απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές. *AIMS Energy* 10:191–218. <https://doi.org/10.3934/energy.2022011>
- Franco-Vega A, Ramírez-Corona N, Palou E, López-Malo A (2016) Εκτίμηση των συντελεστών μεταφοράς μάζας της διαδικασίας εκχύλισης αιθέριου ελαίου από

φλούδα πορτοκαλιού με χρήση εκχύλισης με τη βοήθεια μικροκυμάτων. *J Food Eng* 170:136–143. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.025>

Ganiyu SA, Oyedele LO, Akinade O, Owolabi H, Akanbi L, Gbadamosi A (2020) Ικανότητες BIM για την παροχή αποδοτικών κτιριακών έργων σε μια κυκλική οικονομία. *Dev Built Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036>

Gavahian M, Chu YH, Mousavi Khaneghah A (2019) Πρόσφατες εξελίξεις στην εξόρυξη λαδιού πορτοκαλιού: μια ευκαιρία για την αξιοποίηση των απορριμμάτων φλοιού πορτοκαλιού μια ανασκόπηση. *Int J Food Sci Technol* 54:925–932. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13987>

Ge J, Xiao Y, Kuang J, Liu X (2022) Πρόοδος της έρευνας για τη χλωρίωση ψησίματος βαρέων μετάλλων σε στερεά απόβλητα. *Διεπαφές Surf*. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2022.101744>

Ghisellini P, Cialani C, Ulgiati S (2016) Μια ανασκόπηση της κυκλικής οικονομίας: η αναμενόμενη μετάβαση σε μια ισορροπημένη αλληλεπίδραση περιβαλλοντικών και οικονομικών συστημάτων. *J Clean Prod* 114:11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Gorrasi G, Sorrentino A, Lichtfouse E (2021) Επιστροφή στην πλαστική ρύπανση στην εποχή του COVID. *Environ Chem Lett* 19:1–4. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01129-z>

Guerrero LA, Maas G, Hogland W (2013) Προκλήσεις διαχείρισης στερεών αποβλήτων για πόλεις στις αναπτυσσόμενες χώρες. *Waste Manag* 33:220–232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>

Gunness P, Gidley MJ (2010) Μηχανισμοί που διέπουν τις ιδιότητες μείωσης της χοληστερόλης των διαλυτών πολυσακχαριτών διαιτητικών ινών. *Food Func* 1:149–155. <https://doi.org/10.1039/C0FO00080A>

Hao S, Kuah ATH, Rudd CD, Wong KH, Lai NYG, Mao J, Liu X (2020) Μια προσέγγιση κυκλικής οικονομίας στην πράσινη ενέργεια: ανεμογεννήτρια, απόβλητα και ανάκτηση υλικών. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135054>

Hoekstra AY, Chapagain AK (2007) Υδατικά αποτυπώματα των εθνών: χρήση νερού από τους ανθρώπους ως συνάρτηση του καταναλωτικού τους προτύπου. *Εφημερίδα*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1_3

Honic M, Kovacic I, Rechberger H (2019) Βελτίωση του δυναμικού ανακύκλωσης κτιρίων μέσω διαβατηρίων υλικών (MP): μια αυστριακή μελέτη περίπτωσης. *J Clean Prod* 217:787–797. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.212>

Ibrahim MIM, Mohamed NAEM (2016) Προς τη βιώσιμη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Αίγυπτο. *Procedia Environ Sci* 34:336–347. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.030>

Islam KMN, Sarker T, Taghizadeh-Hesary F, Atri AC, Alam MS (2021) Παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από ζωικά απόβλητα για μια βιώσιμη κυκλική οικονομία στο Μπαγκλαντές. *Renew Sustain Energy Rev* 139:110695. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110695>

- Jerome A, Helander H, Ljunggren M, Janssen M (2022) Χαρτογράφηση και δοκιμή δεικτών σε επίπεδο προϊόντος κυκλικής οικονομίας: μια κριτική ανασκόπηση. *Resour Conserv Recycl*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106080>
- Joensuu T, Leino R, Heinonen J, Saari A (2022) Ανάπτυξη αξιολόγησης του κύκλου ζωής των κτιρίων σε μεθόδους σύγκρισης κυκλικής οικονομίας για την αξιολόγηση του αποτυπώματος άνθρακα επαναχρησιμοποιήσιμων εξαρτημάτων. *Sustain Cities Soc*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>
- Jose R, Panigrahi SK, Patil RA, Fernando Y, Ramakrishna S (2020) Η κυκλική οικονομία με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη ως βασικός παράγοντας για τη βιώσιμη διαχείριση ενέργειας. *Κυκλική Οικονομία Υλικών*. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00009-9>
- Jurgilevich A, Birge T, Kentala-Lehtonen J, Korhonen-Kurki K, Pietikäinen J, Saikku L, Schösler H (2016) Μετάβαση προς την κυκλική οικονομία στο σύστημα τροφίμων. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su8010069>
- Kang JN, Wei YM, Liu LC, Han R, Yu BY, Wang JW (2020) Ενεργειακά συστήματα για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής: μια συστηματική ανασκόπηση. *Appl Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114602>
- Kaur G, Luo L, Chen G, Wong JW (2019) Ολοκληρωμένη επεξεργασία απορριμμάτων τροφίμων και λυμάτων—μια καλύτερη προσέγγιση από τη συμβατική συν-πέψη απορριμμάτων τροφίμων-λάσπης για υψηλότερη ανάκτηση ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης. *Biores Technol* 289:121698. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121698>
- Khan SAR, Razzaq A, Yu Z, Miller S (2021) Industry 4.0 και πρακτικές κυκλικής οικονομίας: επιχειρηματικές στρατηγικές νέας εποχής για περιβαλλοντική βιωσιμότητα. *Bus Strateg Environ* 30:4001–4014. <https://doi.org/10.1002/bse.2853>
- Khanpit VV, Tajane SP, Mandavgane SA (2022) Απορρίμματα φλοιού πορτοκαλιού σε συμπύκνωμα διαλυτών διαιτητικών ινών υψηλής αξίας: σύγκριση των μεθόδων μετατροπής και των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. *Biomass Conv Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02481-6>
- Kibert CJ (2016) Βιώσιμη κατασκευή: σχεδιασμός και παράδοση πράσινων κτιρίων. Wiley. <https://lccn.loc.gov/2015044564>
- Kiviranta K, Thomasson T, Hirvonen J, Tähtinen M (2020) Συνδέοντας την κυκλική οικονομία και τη βιομηχανία ενέργειας: μια τεχνοοικονομική μελέτη για τα νησιά Åland. *Appl Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115883>
- Korhonen J, Honkasalo A, Seppälä J (2018) Κυκλική οικονομία: η έννοια και οι περιορισμοί της. *Ecol Econ* 143:37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Kurniawan TA, Liang X, O'Callaghan E, Goh H, Othman MHD, Avtar R, Kusworo TD (2022) Μετασχηματισμός της διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Κίνα: κίνηση προς τη βιωσιμότητα μέσω της κυκλικής οικονομίας που βασίζεται στην ψηφιοποίηση. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su14042374>

- Laskurain-Iturbe I, Arana-Landín G, Landeta-Manzano B, Uriarte-Gallastegi N (2021) Εξερεύνηση της επιρροής των τεχνολογιών βιομηχανίας 4.0 στην κυκλική οικονομία. *J Clean Prod* 3:21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128944>
- Leontief W (1991) Η οικονομία ως κυκλική ροή. *Struct Chang Econ Dyn* 2:181–212. [https://doi.org/10.1016/0954-349X\(91\)90012-H](https://doi.org/10.1016/0954-349X(91)90012-H)
- Leppäkoski L, Marttila MP, Uusitalo V, Levänen J, Halonen V, Mikkilä MH (2021) Αξιολόγηση του αποτυπώματος άνθρακα του βιοκάρβουνου από ιτιά που καλλιεργείται σε οριακές εκτάσεις στη Φινλανδία. *Sustainability* 13:10097. <https://doi.org/10.3390/su131810097>
- Li Y, Fabiano-Tixier AS, Chemat F (2014) Essential oils as reagents in green chemistry, τόμος 1. Springer, Βερολίνο. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08449-7>
- Li J, Xiao F, Zhang L, Amirkhanian SN (2019) Αξιολόγηση κύκλου ζωής και ανάλυση κόστους κύκλου ζωής ανακυκλωμένων στερεών αποβλήτων στο οδόστρωμα αυτοκινητοδρόμων: μια ανασκόπηση. *J Clean Prod* 233:1182–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>
- Liu Q, Xu Q, Shen X, Chen B, Esfahani SS (2022) Ο μηχανισμός της συμπεριφοράς διαλογής οικιακών απορριμμάτων — μια μελέτη του Jiaying, Κίνα. *Int J Environ Res Public Health* 19:2447. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042447>
- Lu T, Halog A (2020) Προς την καλύτερη αξιολόγηση του κύκλου ζωής και την κυκλική οικονομία: σχετικά με πρόσφατες μελέτες σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, των συστημάτων τροφίμων και της διατροφής. *Int J Sust Dev World* 27:515–523. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1734984>
- Malabi Eberhardt LC, van Stijn A, Nygaard Rasmussen F, Birkved M, Birgisdottir H (2020) Ανάπτυξη προσέγγισης κατανομής αξιολόγησης κύκλου ζωής για εγκύκλιο. *Econ Built Environ* 12:9579. <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- Meglin R, Kytzia S, Habert G (2022) Περιφερειακή κυκλική οικονομία δομικών υλικών: περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση που συνδυάζει την Ανάλυση ροής υλικού. *Input Output Anal Life Cycle Assess* 26:562–576. <https://doi.org/10.1111/jiec.13205>
- Mehmood MA, Ibrahim M, Rashid U, Nawaz M, Ali S, Hussain A, Gull M (2017) Παραγωγή βιομάζας για βιοενέργεια με χρήση οριακών εδαφών. *Sustain Prod Consum* 9:3–21. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>
- Mian MM, Zeng X, AaNB N, Al-Hamadani SMZF (2017) Διαχείριση αστικών στερεών αποβλήτων στην Κίνα: συγκριτική ανάλυση. *J Mater Cycles Waste Manag* 19:1127–1135. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0509-9>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Τροφίμων και Υπουργείο Βιομηχανίας (2018) Δανική στρατηγική για την κυκλική οικονομία. <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/strategies/danish-strategy-circular-economy>. Πρόσβαση στις 4 Μαΐου 2022
- Monsiváis-Alonso R, Mansouri SS, Román-Martínez A (2020) Αξιολόγηση κύκλου ζωής εντατικοποιημένων διαδικασιών προς την κυκλική οικονομία: παραγωγή ωμέγα-3

από χρησιμοποιημένα ιχθυέλαια. Chem Eng Διαδικασία Εντατική. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108171>.

- Moore B, Verfuert C, Minas AM, Tipping C, Mander S, Lorenzoni I, Hoolohan C, Jordan AJ, Whitmarsh L (2021) Μετασχηματισμοί για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής: μια συστηματική ανασκόπηση της ορολογίας, των εννοιών και των χαρακτηριστικών. Αλλαγή κλιμάτων καλωδίων. <https://doi.org/10.1002/wcc.738>
- Mostert C, Sameer H, Glanz D, Bringezu S (2021) Εκτίμηση αποτυπώματος κλίματος και πόρων και απεικόνιση ανακυκλωμένου σκυροδέματος για κυκλική οικονομία. Resour Conserv Recycl. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105767>
- Müller P, Schmid M (2019) Έξυπνες συσκευασίες στον τομέα των τροφίμων: μια σύντομη επισκόπηση. Τρόφιμα. <https://doi.org/10.3390/foods8010016>
- Nasir MHA, Genovese A, Acquaye AA, Koh S, Yamoah F (2017) Σύγκριση γραμμικών και κυκλικών αλυσίδων εφοδιασμού: μια μελέτη περίπτωσης από τον κατασκευαστικό κλάδο. Int J Prod Econ 183:443–457. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.008>
- Niero M, Olsen SI (2016) Κυκλική οικονομία: Να είσαι ή να μην είσαι σε κλειστό βρόχο προϊόντων; Αξιολόγηση κύκλου ζωής δοχείων αλουμινίου με συμπερίληψη στοιχείων κράματος. Resour Conserv Recycl 114:18–31. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.023>
- Niero M, Jensen CL, Fratini CF, Dorland J, Jørgensen MS, Georg S (2021) Είναι αρκετή η αξιολόγηση του κύκλου ζωής για την αντιμετώπιση των ακούσιων παρενεργειών από τις πρωτοβουλίες Circular Economy; J Ind Ecol 25:1111–1120. <https://doi.org/10.1111/jiec.13134>
- Νικολάου I.E., Jones N, Στεφανάκης A (2021) Κυκλική οικονομία και βιωσιμότητα: το παρελθόν, το παρόν και οι μελλοντικές κατευθύνσεις. Circ Econ Sustain 1:1–20. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00030-3>
- Oliveira MMd, Lago A, Dal'Magro GP (2021) Απώλεια και σπατάλη τροφίμων στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας: μια συστηματική ανασκόπηση. J Clean Prod. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126284>
- Osman AI, Blewitt J, Abu-Dahrieh JK, Farrell C, AaH AM, Harrison J, Rooney DW (2019) Παραγωγή και χαρακτηρισμός νανοσωλήνων ενεργού άνθρακα και άνθρακα από απόβλητα φλούδας πατάτας και η εφαρμογή τους στην αφαίρεση βαρέων μετάλλων. Environ Sci Pollut Res 26:37228–37241. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06594-w>
- Osman AI, Hefny M, Abdel Maksoud MIA, Elgarahy AM, Rooney DW (2021a) Πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης και χρήσης δέσμευσης άνθρακα: μια ανασκόπηση. Environ Chem Lett 19:797–849. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01133-3>
- Osman AI, Mehta N, Elgarahy AM, Al-Hinai A, AaH AM, Rooney DW (2021b) Μετατροπή βιομάζας σε βιοκαύσιμα και αξιολόγηση του κύκλου ζωής: μια ανασκόπηση. Environ Chem Lett 19:4075–4118. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01273-0>

- Osman AI, Fawzy S, Farghali M, El-Azazy M, Elgarahy AM, Fahim RA, Maksoud MIAA, Ajlan AA, Yousry M, Saleem Y, Rooney DW (2022a) Biochar για γεωπονία, εκτροφή ζώων, αναερόβια χώνευση, κομποστοποίηση, νερό επεξεργασία, αποκατάσταση εδάφους, κατασκευή, αποθήκευση ενέργειας και δέσμευση άνθρακα: μια ανασκόπηση. *Environ Chem Lett*. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01424-x>
- Osman AI, Mehta N, Elgarahy AM, Hefny M, Al-Hinai A, AaH AM, Rooney DW (2022b) Παραγωγή, αποθήκευση, χρήση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις υδρογόνου: μια ανασκόπηση. *Environ Chem Lett* 20:153–188. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8>
- Osman AI, O'Connor E, McSpadden G, Abu-Dahrieh JK, Farrell C, AaH AM, Harrison J, Rooney DW (2020a) Ανακύκλωση απορριμμάτων σπόρων ζυθοποιίας σε νανοσωλήνες ενεργού άνθρακα και άνθρακα για ενέργεια και άλλες εφαρμογές μέσω δύο σταδίων δραστηριοποίησης. *J Chem Technol Biotechnol* 95:183–195. <https://doi.org/10.1002/jctb.6220>
- Osman AI, Young TJ, Farrell C, Harrison J, AaH AM, Rooney DW (2020b) Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός και κινητική μοντελοποίηση σχετικά με την καύση αποβλήτων πυρήνων μούρων. *ACS Sustain Chem Eng* 8:17573–17586. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c07390>
- Padmanabhan S, Giridharan K, Stalin B, Kumaran S, Kavimani V, Nagaprasad N, Tesfaye Jule L, Krishnaraj R (2022) Ανάκτηση ενέργειας αποβλήτων πλαστικών σε καύσιμο ντίζελ με αιθανόλη και πρόσθετα αιθοξυοξικού αιθυλεστέρα στη στρατηγική κυκλικής οικονομίας. *Sci Rep* 12:5330. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09148-2>
- Pahunang RR, Buonerba A, Senatore V, Oliva G, Ouda M, Zarra T, Muñoz R, Puig S, Ballesteros FC, Li CW, Hasan SW, Belgiorno V, Naddeo V (2021) Πρόοδοι στον τεχνολογικό έλεγχο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από λυμάτων στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148479>
- Paradowska M (2017) Βάσεις και προκλήσεις για την εφαρμογή μιας κυκλικής οικονομίας στον ευρωπαϊκό τομέα οδικών μεταφορών. *Εφημερίδα*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51427-7_21
- Patil S, Konde K, Behera S (2022) Βιοκυκλική οικονομία: μια ευκαιρία για διαφοροποίηση για τις βιομηχανίες ζάχαρης στην παραγωγή συμπιεσμένου βιοαερίου (CBG) και οργανικών λιπασμάτων. *Sugar Tech*. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01130-6>
- Pavolova H, Lacko R, Hajduova Z, Simkova Z, Rovnak M (2020) Το κυκλικό μοντέλο στη διάθεση με αστικά απόβλητα. Μια μελέτη περίπτωσης της Σλοβακίας. *Int J Environ Res Public Health* 17:345. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061839>
- Payne J, McKeown P, Jones MD (2019) Μια προσέγγιση κυκλικής οικονομίας στα πλαστικά απόβλητα. *Polym Degrad Stab* 165:170–181. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.014>
- Pedrero F, Grattan SR, Ben-Gal A, Vivaldi GA (2020) Ευκαιρίες για επέκταση της χρήσης λυμάτων για άρδευση ελιών. *Agric Water Manag*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106333>

- Peña C, Civit B, Gallego-Schmid A, Druckman A, Pires AC, Weidema B, Mieras E, Wang F, Fava J, Canals LMI, Cordella M, Arbuckle P, Valdivia S, Fallaha S, Motta W (2021) Χρησιμοποιώντας αξιολόγηση του κύκλου ζωής για την επίτευξη κυκλικής οικονομίας. *Int J Life Cycle Assess* 26:215–220. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>
- Phillips PS, Tudor T, Bird H, Bates M (2011) Μια κριτική ανασκόπηση μιας βασικής πρωτοβουλίας στρατηγικής για τα απόβλητα στην Αγγλία: έργα μηδενικών απορριμμάτων 2008–2009. *Resour Conserv Recycl* 55:335–343. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.10.006>
- Phuluwa HS, Daniyan I, Mprofu K (2020) Μοντέλο βιώσιμης αποβιομηχανοποίησης για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας στη σιδηροδρομική βιομηχανία. *Procedia CIRP* 90:25–30. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.117>
- Plackett D, Anturi H, Hedenqvist M, Ankerfors M, Gällstedt M, Lindström T, Siró I (2010) Φυσικές ιδιότητες και μορφολογία ταινιών που παρασκευάζονται από μικροϊνιδωμένη κυτταρίνη και μικροϊνιδωμένη κυτταρίνη σε συνδυασμό με αμυλοπηκτίνη. *J Appl Polym Sci* 117:3601–3609. <https://doi.org/10.1002/app.32254>
- Pramanik SK, Suja FB, Zain SM, Pramanik BK (2019) Η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης της παραγωγής βιοαερίου από τα απόβλητα τροφίμων: προοπτικές και περιορισμοί. *Bioresour Technol Rep*. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100310>
- Priefer C, Jörissen J, Bräutigam KR (2016) Πρόληψη της σπατάλης τροφίμων στην Ευρώπη — μια προσέγγιση με γνώμονα την αιτία για τον εντοπισμό των πιο σχετικών σημείων μόχλευσης για δράση. *Resour Conserv Recycl* 109:155–165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.004>
- Princiotta FT (2021) Η πρόκληση μετριασμού του κλίματος — πού βρισκόμαστε; *J Air Waste Manag Assoc* 71:1234–1250. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.1948458>
- Qasim U, Osman AI, AaH AM, Farrell C, Al-Abri M, Ali M, Vo D-VN, Jamil F, Rooney DW (2021) Ανανεώσιμα κυτταρινικά νανοσύνθετα για συσκευασίες τροφίμων για αποφυγή πλαστικής ρύπανσης από ορυκτά καύσιμα: μια ανασκόπηση. *Environ Chem Lett* 19:613–641. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01090-x>
- Ramachandra TV, Bharath HA, Kulkarni G, Han SS (2018) Δημοτικά στερεά απόβλητα: Παραγωγή, σύνθεση και εκπομπές GHG στο Bangalore, Ινδία. *Renew Sustain Energy Rev* 82:1122–1136. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.085>
- Richter JL (2022) Απαιτείται μια προσέγγιση κυκλικής οικονομίας για τα ηλεκτρικά οχήματα. *Nat Electr* 5:5–7. <https://doi.org/10.1038/s41928-021-00711-9>
- Rincón-Moreno J, Ormazábal M, Álvarez MJ, Jaca C (2021) Προώθηση δεικτών απόδοσης κυκλικής οικονομίας και εφαρμογή τους σε ισπανικές εταιρείες. *J Clean Prod*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123605>
- Rolewicz-Kalińska A, Lelicińska-Serafin K, Manczarski P (2020) Η κυκλική οικονομία και το οργανικό κλάσμα των στρατηγικών ανακύκλωσης αστικών στερεών αποβλήτων. *Ενέργειες*. <https://doi.org/10.3390/en13174366>
- Rossi J, Bianchini A, Guarnieri P (2020) Μοντέλο κυκλικής οικονομίας ενισχυμένο από ευφυή περιουσιακά στοιχεία από τη βιομηχανία 4.0: η πρόταση ενός καινοτόμου

εργαλείου για την ανάλυση περιπτώσιολογικών μελετών. βιωσιμότητα.
<https://doi.org/10.3390/su12177147>

- Rossi G, Mainardis M, Aneggi E, Weavers LK, Goi D (2021) Συνδυασμένη επεξεργασία υπερήχων-όζοντος για επαναχρησιμοποίηση πρωτογενών λυμάτων - μια προκαταρκτική μελέτη. *Environ Sci Pollut Res* 28:700–710.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10467-y>
- Sadhukhan J, Dugmore TIJ, Matharu A, Martinez-Hernandez E, Aburto J, Rahman PKSM, Lynch J (2020) Προοπτικές στις παγκόσμιες προκλήσεις που αλλάζουν το παιχνίδι για τον βιώσιμο 21ο αιώνα: φυτική διατροφή, αναπόφευκτη βιοεξευγενισμός απορριμμάτων τροφίμων και εγκύκλιος οικονομία. βιωσιμότητα.
<https://doi.org/10.3390/su12051976>
- Sauter E, Lemmens R, Pauwels P (2019) Οντολογίες CEO & CAMO: ένα μέσο κυκλοφορίας για υλικά στον κατασκευαστικό κλάδο. Στο: 6th International Symposium on Life-cycle Civil Engineering (IALCCE).
<https://doi.org/10.1201/9781315228914>
- Scheepens AE, Vogtländer JG, Brezet JC (2016) Δύο μέθοδοι που βασίζονται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής (LCA) για την ανάλυση και το σχεδιασμό σύνθετων (περιφερειακών) συστημάτων κυκλικής οικονομίας. Υπόθεση: να γίνει πιο βιώσιμος ο θαλάσσιος τουρισμός. *J Clean Prod* 114:257–268.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.075>
- Serrano T, Aparcana S, Bakhtiari F, Laurent A (2021) Συμβολή των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής: γενική μεθοδολογία αξιολόγησης με έμφαση στις αναπτυσσόμενες χώρες. *J Ind Ecol* 25:1382–1397.
<https://doi.org/10.1111/jiec.13178>
- Sgroi M, Vagliasindi FGA, Roccaro P (2018) Έννοιες σκοπιμότητας, βιωσιμότητας και κυκλικής οικονομίας στην επαναχρησιμοποίηση του νερού. *Curr Opin Environ Sci Health* 2:20–25. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>
- Sharma HB, Vanapalli KR, Samal B, Cheela VRS, Dubey BK, Bhattacharya J (2021) Προσέγγιση κυκλικής οικονομίας στο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων για την επίτευξη των ΣΒΑ του ΟΗΕ: λύσεις για ανάκτηση μετά την COVID. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>
- Shen K, Li L, Wang J (2020) Μοντέλο κυκλικής οικονομίας για την ανακύκλωση πόρων αποβλήτων υπό κυβερνητική συμμετοχή: μια μελέτη περίπτωσης στην κυκλοφορία βιομηχανικών λυμάτων στην Κίνα. *Technol Econ Dev Econ* 26:21–47.
<https://doi.org/10.3846/tede.2019.11249>
- Silva A, Rosano M, Stocker L, Gorissen L (2017) Από τα απόβλητα στη διαχείριση βιώσιμων υλικών: τρεις μελέτες περίπτωσης του ταξιδιού μετάβασης. *Waste Manag* 61:547–557. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.038>
- Smol M, Adam C, Preisner M (2020) Πλαίσιο μοντέλου κυκλικής οικονομίας στον ευρωπαϊκό τομέα νερού και λυμάτων. *J Mater Cycles Waste Manag* 22:682–697.
<https://doi.org/10.1007/s10163-019-00960-z>

- Song Q, Li J, Zeng X (2015) Ελαχιστοποίηση των αυξανόμενων στερεών αποβλήτων μέσω της στρατηγικής μηδενικών αποβλήτων. *J Clean Prod* 104:199–210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.027>
- Strazza C, Magrassi F, Gallo M, Del Borghi A (2015) Αξιολόγηση του κύκλου ζωής από τα τρόφιμα στα τρόφιμα: μια μελέτη περίπτωσης της κυκλικής οικονομίας από τα κρουαζιερόπλοια στην υδατοκαλλιέργεια. *Sustain Prod Consum* 2:40–51. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.06.004>
- Su C, Urban F (2021) Κυκλική οικονομία για μεταβάσεις καθαρής ενέργειας: μια νέα ευκαιρία υπό την πανδημία COVID-19. *Appl Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116666>
- Sullivan R, Gouldson A (2016) Συγκρίνοντας τις δράσεις, τους στόχους και τις επιδόσεις των εμπόρων λιανικής στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ για την αλλαγή του κλίματος. *Corp Soc Responsib Environ Manag* 23:129–139. <https://doi.org/10.1002/csr.1364>
- Sverko Grdic Z, Krstinic Nizic M, Rudan E (2020) Έννοια της κυκλικής οικονομίας στο πλαίσιο της οικονομικής ανάπτυξης στις χώρες της Ε.Ε. βιωσιμότητα. <https://doi.org/10.3390/su12073060>
- Σουηδική Στρατηγική Έρευνας και Καινοτομίας για μια Βιοβασισμένη Οικονομία (2012) Formas, το Σουηδικό Συμβούλιο Έρευνας για το Περιβάλλον, τις Αγροτικές Επιστήμες και τον Χωροταξικό Σχεδιασμό. <https://formas.se/download/18.462d60ec167c69393b91e36a/1549956100799/Engelsk.pdf>. Πρόσβαση στις 4 Μαΐου 2022.
- Tayebi-Khorami M, Edraki M, Corder G, Golev A (2019) Επανεξετάζοντας τα απόβλητα εξόρυξης μέσω μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης που καθοδηγείται από φιλοδοξίες κυκλικής οικονομίας. *Ορυκτά*. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
- Tejada-Ortigoza V, Garcia-Amezquita LE, Serna-Saldívar SO, Martín-Belloso O, Welti-Chanes J (2018) Υψηλή υδροστατική πίεση και ήπιες θερμικές επεξεργασίες για την τροποποίηση των διαιτητικών ινών φλοιού πορτοκαλιού: επιδράσεις στις υγροσκοπικές ιδιότητες και λειτουργικότητα. *Food Bioprocess Technol* 11:110–121. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1998-9>
- Το Υπουργείο Υποδομών και Περιβάλλοντος και το Υπουργείο Οικονομικών Υποθέσεων (2016) Μια κυκλική οικονομία στην Ολλανδία έως το 2050. https://formas.se/download/18.462d60ec167c69393b91df97/1549956093520_Dam Πρόσβαση στις 4 Μαΐου 2022
- Tijani I, Jamal P, Alam M, Mirghani M (2012) Βελτιστοποίηση μέσου φλοιού μανιόκας σε εμπλουτισμένη ζωοτροφή από τους μύκητες λευκής σήψης *Panus tigrinus* M609RQY. *Int Food Res J* 19:427–432. [http://ifrij.upm.edu.my/19%20\(02\)%202012/\(7\)IFRJ-2012%20Parveen](http://ifrij.upm.edu.my/19%20(02)%202012/(7)IFRJ-2012%20Parveen)
- Toop TA, Ward S, Oldfield T, Hull M, Kirby ME, Theodorou MK (2017) AgroCycle—developing a circular economy in agriculture. *Energy Procedia* 123:76–80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>
- Tóth Szita K (2017) Η εφαρμογή της αξιολόγησης του κύκλου ζωής στην κυκλική οικονομία. *Hung Agric Eng* 31:5–9. <https://doi.org/10.17676/HAE.2017.31.5>

- Tserng HP, Chou CM, Chang YT (2021) Οι βασικές στρατηγικές για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στα κτιριακά έργα — μια μελέτη περίπτωσης στην Ταϊβάν. *Βιωσιμότητα* 13:754. <https://doi.org/10.3390/su13020754>
- Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (2021) Εθνικά καθορισμένες συνεισφορές βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08r01_E.pdf. Πρόσβαση στις 15 Μαΐου 2022
- Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (2015) Εθνική επισκόπηση: γεγονότα και αριθμοί για τα υλικά, τα απόβλητα και την ανακύκλωση. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>. Πρόσβαση στις 25 Απριλίου 2022
- Van Bueren E, Van Bohemen H, Itard L, Visscher H (2012) Αειφόρα αστικά περιβάλλοντα. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1294-2>
- Van Stijn A, Malabi Eberhardt LC, Wouterszoon Jansen B, Meijer A (2021) Ένα μοντέλο αξιολόγησης κύκλου ζωής κυκλικής οικονομίας (CE-LCA) για δομικά στοιχεία. *Resour Conserv Recycl* 174:105683. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105683>
- Βουλβούλης Ν (2018) Η επαναχρησιμοποίηση του νερού από την προοπτική της κυκλικής οικονομίας και οι πιθανοί κίνδυνοι από μια άναρχη προσέγγιση. *Curr Opin Environ Sci Health* 2:32–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- Wang DD, Sueyoshi T (2018) Στόχοι μετριασμού της κλιματικής αλλαγής που έχουν τεθεί από παγκόσμιες εταιρείες: επισκόπηση και επιπτώσεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. *Renew Sustain Energy Rev* 94:386–398. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.024>
- Wang L, Xu H, Yuan F, Fan R, Gao Y (2015) Παρασκευή και φυσικοχημικές ιδιότητες διαλυτών διαιτητικών ινών από φλούδα πορτοκαλιού υποβοηθούμενη από έκρηξη ατμού και διαβροχή με αραιό οξύ. *Food Chem* 185:90–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.112>
- Wang N, Guo Z, Meng F, Wang H, Yin J, Liu Y (2019) Η κυκλική οικονομία και το αποτύπωμα άνθρακα: μια συστηματική λογιστική για τυπικά βιομηχανικά πάρκα παραγωγής ενέργειας με καύσιμο άνθρακα. *J Clean Prod* 229:1262–1273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.064>
- Werde E, Jabasingh SA, Demsash HD, Jaya N, Gebrehiwot G (2021) Οικολογική βαφή βαμβακερών υφασμάτων με χρήση πράσινης, βιώσιμης φυσικής βαφής από φλούδες πορτοκαλιού Gunda Gundo (*Citrus sinensis*). *Biomass Conv Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01550-6>
- Wiprächtiger M, Haupt M, Heeren N, Waser E, Hellweg S (2020) Ένα πλαίσιο για βιώσιμο και κυκλικό σχεδιασμό συστημάτων: ανάπτυξη και εφαρμογή σε θερμομονωτικά υλικά. *Resour Conserv Recycl*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104631>
- Wyns A, Beagley J (2021) COP26 και πέρα: οι μακροπρόθεσμες στρατηγικές για το κλίμα είναι το κλειδί για την προστασία της υγείας και της ισότητας. *Lancet Planet Health* 5:e752–e754. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(21\)00294-1](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00294-1)

- Xin-Gang Z, Gui-Wu J, Ang L, Yun L (2016) Τεχνολογία, κόστος, απόδοση της βιομηχανίας αποτέφρωσης αποβλήτων σε ενέργεια στην Κίνα. *Renew Sustain Energy Rev* 55:115–130. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.137>
- Xiong X, Liu X, Yu IKM, Wang L, Zhou J, Sun X, Rinklebe J, Shaheen SM, Ok YS, Lin Z, Tsang DCW (2019) Δυνητικά τοξικά στοιχεία σε ροές στερεών αποβλήτων: μοίρα και προσεγγίσεις διαχείρισης. *Environ Pollut* 253:680–707. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.012>
- Yakkan E, Uysalman T, Atagür M, Sever K, Seydibeyoğlu MÖ (2018) Νανοσύνθετα υλικά νανοκυτταρίνης-πολυπροπυλενίου ενισχυμένα με παράγοντα σύζευξης. *J Bartin Fac* για το 20:491–502. <https://doi.org/10.24011/barofd.455202>
- Γιαννόπουλος Σ, Γιαννοπούλου Ι, Καϊάφα-Σαροπούλου Μ (2019) Διερεύνηση της τρέχουσας κατάστασης και προοπτικές για την ανάπτυξη της συλλογής όμβριων υδάτων ως εργαλείο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας παγκοσμίως. *Νερό*. <https://doi.org/10.3390/w11102168>
- Zaman AU (2014) Προσδιορισμός βασικών δεικτών αξιολόγησης των συστημάτων διαχείρισης μηδενικών αποβλήτων. *Ecol Ind* 36:682–693. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.024>
- Zaman AU, Lehmann S (2011) Προκλήσεις και ευκαιρίες για τη μετατροπή μιας πόλης σε μια «πόλη μηδενικών αποβλήτων». *Προκλήσεις* 2:73–93. <https://doi.org/10.3390/challe2040073>
- Zhang A, Venkatesh VG, Liu Y, Wan M, Qu T, Huisinsh D (2019) Εμπόδια στην έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων για μια κυκλική οικονομία στην Κίνα. *J Clean Prod*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118198>
- Zhang J, Zhang Z, Zhang J, Fan G, Wu D (2021) Μια ποσοτική μελέτη σχετικά με τα οφέλη από διάφορες ταξινομήσεις αποβλήτων. *Adv Civ Eng* 2021:6660927. <https://doi.org/10.1155/2021/6660927>
- Zhu Y, Zhang Y, Luo D, Chong Z, Li E, Kong X (2021) Μια ανασκόπηση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Κίνα: χαρακτηριστικά, συνθέσεις, παράγοντες επιρροής και τεχνολογίες επεξεργασίας. *Environ Dev Sustain* 23:6603–6622. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00959-9>