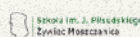
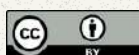
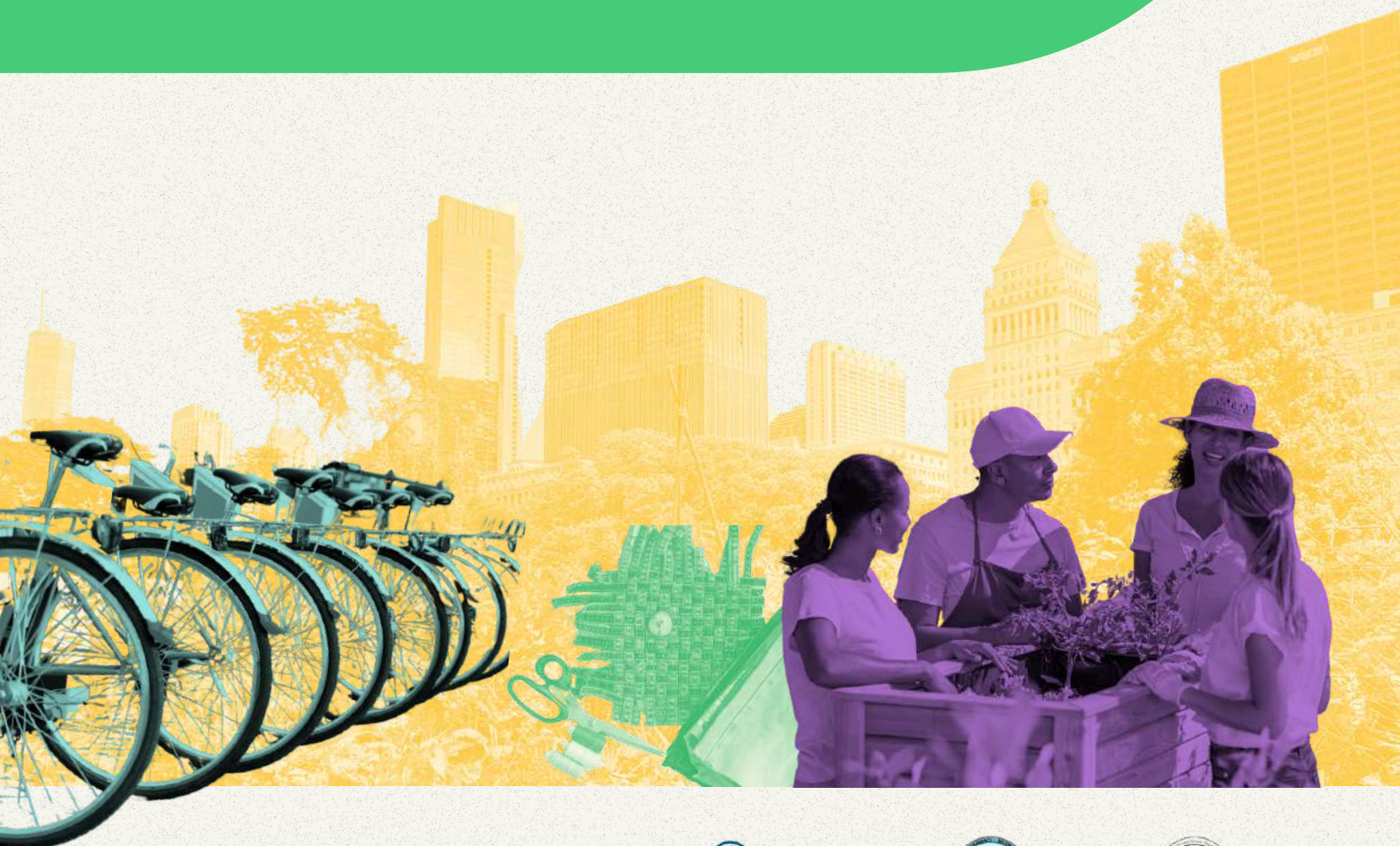




Co-funded by
the European Union



ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΥΜΠΑΝ



Συγγραφείς

Κολλέγιο Διοίκησης και Σχεδιασμού Βιώσιμης Ανάπτυξης (KMGNE, Germany)
Sucessos Criativos Lda Portugal Norte (SC, Πορτογαλία)
Ανώτερη Σχολή Μεταφορών «Todor Kableshkov» (HST, Βουλγαρία)
5ο Γενικό Λύκειο Λάρισας (FGLL, Ελλάδα)
Γυμνάσιο Fritz-Greve (FGGM, Γερμανία)
Ομάδα Αγροτεχνικών και Γενικών Σχολείων. Józefa Pitsudski (ZAI, Πολωνία)
Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Τουρκία)

Συντονιστής

Κολλέγιο Διοίκησης και Σχεδιασμού Βιώσιμης Ανάπτυξης (KMGNE, Γερμανία)

Δήλωση γνωστοποίησης



**Co-funded by
the European Union**

Το έργο «Κυκλικές Πρακτικές για την Εκπαίδευση στο Ψηφιακό Σύμπαν» συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι απόψεις και οι γνώμες που εκφράζονται είναι, ωστόσο, μόνο των συγγραφέων και δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα εκείνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή του EACEA. Ούτε η Ευρωπαϊκή Ένωση ούτε η χορηγούσα αρχή φέρουν ευθύνη γι' αυτές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1	Εισαγωγή	1
2	Κυκλική Οικονομία (ΚΟ) και Προσεγγίσεις ΚΟ στην Εκπαίδευση	2
3	Λύσεις Κυκλικής Κινητικότητας στην Εκπαίδευση	11
4	Μελλοντικές προοπτικές χρήσης της Τεχνητής Νοημοσύνης για την ΚΟ	20
5	Αποτελέσματα Έρευνας για τις Κυκλικές Προσεγγίσεις στα Προγράμματα Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	30
6	Αποτελέσματα Έρευνας σχετικά με τις Προοπτικές, τις Εμπειρίες και τις Ανάγκες σχετικά με την Εκπαίδευση ΚΟ στα Σχολεία	33
7	Συμπέρασμα	45

1. Εισαγωγή

Ενόψει των κλιμακούμενων περιβαλλοντικών προκλήσεων και των κοινωνικών ανισοτήτων, τα παραδοσιακά γραμμικά οικονομικά μοντέλα που χαρακτηρίζονται από μια προσέγγιση «πάρε, φτιάξε, απόρριψε» αποδεικνύονται ολοένα και περισσότερο μη βιώσιμα. Για παράδειγμα, η προγραμματισμένη απαξίωση, όπου τα προϊόντα σχεδιάζονται με περιορισμένη διάρκεια ζωής για να παρακινήσουν τους καταναλωτές να τα αγοράσουν ξανά, αποτελεί μια στρατηγική για τη δημιουργία κέρδους σε αυτήν την οικονομία. Επομένως, οι μετασχηματισμοί προς μια Κυκλική Οικονομία είναι κρίσιμοι για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης και των συναφών προκλήσεων.

Η παρούσα μελέτη με τίτλο «Κυκλικές Πρακτικές για την Εκπαίδευση στο Ψηφιακό Σύμπαν» είναι αποτέλεσμα του έργου CircEdu (2024-1-DE03-KA220-SCH-000250897), το οποίο συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Σε όλες τις χώρες εταίρους που συμμετείχαν στη δημιουργία αυτής της μελέτης (Βουλγαρία, Γερμανία, Ελλάδα, Πορτογαλία, Πολωνία και Τουρκία) εντοπίστηκε η ανάγκη για ολοκληρωμένες εκπαιδευτικές πρακτικές και υλικό για την κυκλική εκπαίδευση. Ως εκ τούτου, η κοινοπραξία του έργου CircEdu, που αποτελείται από το Kolleg für Management und Gestaltung Nachhaltiger Entwicklung (KMGNE, Γερμανία), το Sucessos Criativos Lda Portugal Norte (SC, Πορτογαλία), την Ανώτατη Σχολή Μεταφορών "Todor Kableshkov" (HST, Βουλγαρία), το 5ο Γενικό Λύκειο Λάρισας (FGLL, Ελλάδα), το Fritz-Greve-Gymnasium (FGGM, Γερμανία), το Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących h im. H. Józefa Piłsudskiego (ZAI, Πολωνία) και η Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Τουρκία) διεξήγαγαν εκτεταμένη έρευνα γραφείου και δημιούργησαν δύο διαφορετικές έρευνες που απευθύνονταν στα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης της κοινοπραξίας του έργου και στους εκπαιδευτικούς τους. Με αυτές τις έρευνες, η κοινοπραξία μπόρεσε να εντοπίσει την πραγματικότητα των ομάδων-στόχων του έργου, τις γνώσεις και τις ανάγκες τους, καθώς και μια εικόνα για την κατάσταση των πρακτικών ΚΟ στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στα ευρωπαϊκά σχολεία.

Η αναζήτηση έδειξε ότι υπάρχει μεγάλη έκταση έρευνας σχετικά με την κυκλική οικονομία γενικά, αλλά ανεπαρκές υλικό στον τομέα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης τόσο στην έρευνα όσο και στην πράξη. Έτσι, ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι να συγκεντρώσει γνώσεις γύρω από αυτό το θέμα, οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για την περαιτέρω ανάπτυξη μεθοδολογιών μάθησης. Τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων παρουσιάζονται συγκριτικά μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών χωρών σε μια συνοπτική έκθεση.

Εκτός από την εισαγωγή, η μελέτη χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια:

2. Κυκλική Οικονομία και προσεγγίσεις ΚΟ στην Εκπαίδευση
3. Λύσεις Κυκλικής Κινητικότητας στην Εκπαίδευση
4. Μελλοντικές Προοπτικές Χρήσης της Τεχνητής Νοημοσύνης στην ΚΟ
5. Αποτελέσματα Έρευνας για τις Κυκλικές Προσεγγίσεις στα Προγράμματα Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
6. Αποτελέσματα Έρευνας για τις Προοπτικές, τις Εμπειρίες και τις Ανάγκες των Εκπαιδευτικών σχετικά με τη διδασκαλία της ΚΟ στα Σχολεία.

2. Κυκλική Οικονομία και προσεγγίσεις ΚΟ στην Εκπαίδευση

Στο επόμενο κεφάλαιο θα εισαχθεί η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας (ΚΟ) γενικά και η εκπαίδευση στην ΚΟ ειδικότερα.

Με την έκθεση της Λέσχης της Ρώμης "Όρια στην Ανάπτυξη" (1972), την Έκθεση Brundtland του ΟΗΕ (1987) και την Παγκόσμια Διάσκεψη του ΟΗΕ στο Ρίο ντε Τζανέιρο (1992), η γενική αντίληψη για τις συνέπειες του καπιταλιστικού μεταβολισμού άρχισε να μετατοπίζεται προς ένα νέο και απαραίτητο παράδειγμα ανάπτυξης. Αυτή η επιθυμητή αλλαγή πορείας ονομάστηκε βιώσιμη ανάπτυξη, με στόχο τη μετατόπιση των κοινωνικών και ατομικών πρακτικών σε λιγότερες, πιο κυκλικές, πιο μακροχρόνιες, πιο περιφερειακές, πιο συνεργατικές. Κατά συνέπεια, το οικονομικό σύστημα υποτάσσεται και ενσωματώνεται στον πεπερασμένο οργανισμό Γη (βλ. Lovelock & Margulis 2007).

Ευθυγραμμισμένη με αυτό το παράδειγμα, η Κυκλική Οικονομία (ΚΟ) αναγνωρίζει ότι οι φυσικοί πόροι είναι περιορισμένοι και επιδιώκει να παρατείνει τον κύκλο ζωής των υλικών διατηρώντας τα σε χρήση μέσω πρακτικών όπως η επαναχρησιμοποίηση, η επισκευή, η ανακατασκευή, η κοινή χρήση και η ανακύκλωση. Οι βασικές αρχές της ΚΟ περιλαμβάνουν τα 3R - μείωση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση - και μια διευρυμένη έκδοση γνωστή ως 6R, η οποία προσθέτει επανασχεδιασμό, ανακατασκευή και ανάκτηση (βλ. Jawahir & Bradley 2016). Η ΚΟ είναι ένα οικονομικό πλαίσιο στο οποίο τα στάδια σχεδιασμού, εξασφάλισης πόρων, προμήθειας, παραγωγής και επανεπεξεργασίας σχεδιάζονται και γίνονται αντικείμενο διαχείρισης σκόπιμα για την ενίσχυση τόσο της υγείας του οικοσυστήματος όσο και της ανθρώπινης ευημερίας (βλ. Murray et al. 2017). Ως ένα γενεσιουργό και αποκαταστατικό μοντέλο, η ΚΟ επιδιώκει να διατηρήσει την αξία των προϊόντων, των υλικών και των πόρων για όσο το δυνατόν περισσότερο, μειώνοντας έτσι τη δημιουργία τελικών αποβλήτων (Ranta et al. 2018).

Παρόλο που μεγάλο μέρος της εστίασης δίνεται στην καινοτομία, όπως η δημιουργία νέων τεχνολογιών και επιχειρηματικών μοντέλων για τη διατήρηση της κυκλοφορίας των υλικών, αυτή περιλαμβάνει επίσης την εξάλειψη των αποβλήτων μέσω καλύτερου σχεδιασμού, την αντικατάσταση των μη ανανεώσιμων υλικών με ανανεώσιμες εναλλακτικές λύσεις και την υποστήριξη της αναγέννησης των φυσικών οικοσυστημάτων. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2023) αναφέρει τα ακόλουθα βασικά οφέλη της μετάβασης στη Βιώσιμη Γεωργία: περιορισμός της απώλειας βιοποικιλότητας, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μείωση των αποβλήτων, μείωση της εξάρτησης από πρώτες ύλες και εξοικονόμηση χρημάτων για τους καταναλωτές μέσω πιο ανθεκτικών προϊόντων. Επιπλέον, αναφέρεται η οικονομική ανάπτυξη, ενώ αυτό το σημείο δεν αντικατοπτρίζει πολλά επιστημονικά ευρήματα που υποθέτουν ότι η Βιώσιμη Γεωργία συμβαδίζει με την αποανάπτυξη (βλ. Winans et al. 2015: 825–826). Ωστόσο, ακολουθώντας προσεγγίσεις μετά την ανάπτυξη, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα μείωση της ευημερίας, αλλά μπορεί ακόμη και να οδηγήσει σε αύξηση.



Σχήμα 1: Το μοντέλο κυκλικής οικονομίας: λιγότερες πρώτες ύλες, λιγότερα απόβλητα, λιγότερες εκπομπές.
Πηγή: Υπηρεσία Έρευνας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2023).

Η έννοια της ΚΟ δεν έχει μια σαφώς αναγνωρίσιμη ενιαία προέλευση ή δημιουργό. Ωστόσο, αρκετές βασικές προσωπικότητες έχουν διαμορφώσει την ανάπτυξή της, συμπεριλαμβανομένου του Αμερικανού ακαδημαϊκού John Lyle, του μαθητή του William McDonough, του Γερμανού χημικού Michael Braungart και του αρχιτέκτονα και οικονομολόγου Walter Stahel (βλ. Winans et al. 2015: 825–826). Επιρροές στην ιδέα της ΚΟ μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν το έργο της Rachel Carson, τη Σιωπηλή Άνοιξη, την προαναφερθείσα έκθεση της Λέσχης της Ρώμης τη δεκαετία του 1970 σχετικά με τα «όρια στην ανάπτυξη», την αναλογία «διαστημόπλοιο Γη» που εισήγαγαν η Barbara Ward και ο Kenneth Boulding, και το έργο του οικο-οικονομολόγου Herman Daly (ibid.).

Το πλαίσιο της ΚΟ είναι διασυνδεδεμένο με άλλες ιδέες, μερικές από τις οποίες υπήρχαν νωρίτερα, όπως η βιομηχανική συμβίωση (βλ. Winans et al. 2015: 825–826). Στο πλαίσιο της βιομηχανικής οικολογίας και της θεωρίας συστημάτων, η ΚΟ συνδέεται με ποικίλους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της θερμοδυναμικής και της οικολογικής οικονομίας (ibid.). Σύμφωνα με τη θεωρία συστημάτων και τους θερμοδυναμικούς νόμους, η εφαρμογή στρατηγικών ΚΟ τείνει να μετατοπίζει τα οικονομικά συστήματα προς μια φάση «αποανάπτυξης» αντί να υποστηρίζει την παραδοσιακή εξέλιξη προσανατολισμένη στην ανάπτυξη (ibid.), υποστηρίζοντας τις οικονομικές θεωρίες μετά την ανάπτυξη και την αποανάπτυξη.

Σε ορισμένες χώρες όπως η Γερμανία και η Πορτογαλία, η έννοια της ΚΟ εφαρμόζεται στη διαχείριση αποβλήτων και πολλές επιχειρήσεις τη χρησιμοποιούν για να βελτιώσουν τις ροές υλικών τους (ibid.: 826). Η ΕΕ εφάρμοσε ένα σχέδιο δράσης για την ΚΟ με στόχο την «οικοδόμηση μιας κυκλικής και κλιματικά ουδέτερης οικονομίας έως το 2050» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο 2023), εφαρμόζοντας μια ποικιλία νομοθεσιών που καλύπτουν τον οικολογικό σχεδιασμό, τις συσκευασίες, την προβολή ψευδοοικολογικής ταυτότητας, το δικαίωμα στην επισκευή και τη διαχείριση αποβλήτων (βλ. ibid.). Ενώ ο αριθμός των πρωτοβουλιών σε αυτόν τον τομέα αυξάνεται, η κοινωνική συνιστώσα συχνά δεν λαμβάνεται διεξοδικά υπόψη.

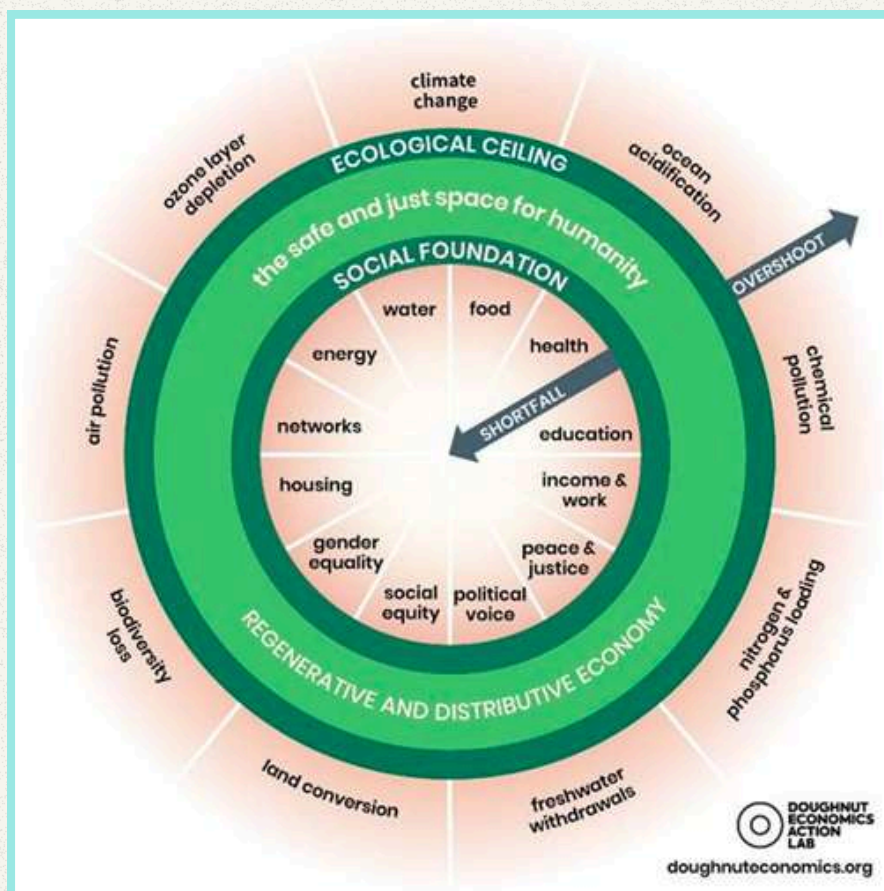
Η Ατζέντα 2030 των Ηνωμένων Εθνών υπογραμμίζει ότι η περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα είναι βαθιά αλληλένδετες και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν μεμονωμένα. Καθώς οι συνδέσεις μεταξύ περιβαλλοντικών προκλήσεων όπως η κλιματική αλλαγή, η υπερβολική χρήση πόρων και τα απόβλητα και κοινωνικών προκλήσεων όπως η ανισότητα και η μεταβαλλόμενη φύση της εργασίας γίνονται όλο και πιο εμφανείς, η ανάγκη ευθυγράμμισης της περιβαλλοντικής δράσης με την κοινωνική δικαιοσύνη καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική. Ως εκ τούτου, η έννοια της «δίκαιης μετάβασης» που συνδυάζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, τη δίκαιη απασχόληση, την κοινωνική ένταξη και την εξάλειψη της φτώχειας κερδίζει έδαφος στις συζητήσεις για τη βιωσιμότητα.

Μια δίκαιη μετάβαση στο πλαίσιο της ΚΟ προσφέρει έναν τρόπο μείωσης των αποβλήτων, προώθησης της καινοτομίας και προώθησης της βιώσιμης ανάπτυξης, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει τις κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες σύμφωνα με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών, ώστε να μην μείνει κανείς πίσω (βλ. Schröder 2020). Καθώς οι πολιτικές για την κυκλική οικονομία προχωρούν, ιδίως εν μέσω της ψηφιοποίησης και των βιομηχανικών μετατοπίσεων, είναι ζωτικής σημασίας να αξιολογηθεί ο αντίκτυπός τους στις θέσεις εργασίας και τα μέσα διαβίωσης. Πρέπει να ενσωματωθούν οι κοινωνικές προστασίες, ώστε να αποτραπεί το ενδεχόμενο οι ευάλωτες ομάδες να επωμιστούν το βάρος των αλλαγών, όπως η απώλεια θέσεων εργασίας ή η επιδείνωση των συνθηκών εργασίας (ibid.).

Οι χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος, οι οποίες εξαρτώνται από γραμμικούς οικονομικούς τομείς όπως η εξόρυξη, η κατασκευή ταχέως μεταβαλλόμενων καταναλωτικών αγαθών, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και η γεωργία, ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις από τις κυκλικές μεταβάσεις (ibid.). Αυτά τα έθνη θα χρειαστούν στοχευμένη διεθνή υποστήριξη για να προσαρμοστούν.

Η αποτελεσματική παγκόσμια συνεργασία, οι διαφανείς και υπεύθυνοι μηχανισμοί χρηματοδότησης, η δίκαιη διακυβέρνηση και οι συντονισμένες πολιτικές σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης θα είναι το κλειδί για τη διαχείριση της μετάβασης (ibid.).

Επιπλέον, το Μοντέλο Οικονομίας Ντόνατ (Doughnut Economics) της Kate Raworth προσφέρει ένα επιπλέον μετασχηματιστικό πλαίσιο που οραματίζεται έναν ασφαλή και δίκαιο χώρο για την ανθρωπότητα. Αυτό το μοντέλο εξισορροπεί την ανάγκη κάλυψης των βασικών αναγκών όλων (το κοινωνικό θεμέλιο) χωρίς να ξεπερνιούνται τα οικολογικά όρια του πλανήτη (το οικολογικό ανώτατο όριο) (βλ. Raworth 2017). Το μοντέλο Ντόνατ αμφισβητεί τη συμβατική έμφαση στην αέναη οικονομική ανάπτυξη, υποστηρίζοντας αντ' αυτού αναγεννητικές και διανεμητικές οικονομίες. Υπογραμμίζει τη σημασία της συστημικής σκέψης, αναγνωρίζοντας τη διασύνδεση των κοινωνικών και οικολογικών συστημάτων. Η ΚΟ μπορεί να συμπληρώσει το μοντέλο Doughnut προτείνοντας μια συστημική μετάβαση από γραμμικά σε κυκλικά συστήματα που ενσωματώνουν κοινωνικές και οικονομικές ευκαιρίες και ανθεκτικότητα.



Σχήμα 2: Το Ντόνατ των κοινωνικών και πλανητικών ορίων.

Πηγή: Kate Raworth και Christian Guthier. CC-BY-SA 4.0 (Raworth 2017).

Η εφαρμογή των αρχών της ΚΟ απαιτεί μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι κοινωνίες παράγουν και καταναλώνουν αγαθά. Περιλαμβάνει την επανεξέταση του σχεδιασμού προϊόντων, των επιχειρηματικών μοντέλων, των υποδομών, των πολιτικών και της ατομικής συμπεριφοράς. Η ευαισθητοποίηση μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση αυτής της μετάβασης, εξοπλίζοντας τα άτομα με τις γνώσεις και τις δεξιότητες που απαιτούνται για τη συμμετοχή σε κυκλικές πρακτικές και την προώθηση θεσμικών και συστημικών αλλαγών. Ως εκ τούτου, η εκπαίδευση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μετάβαση σε μια ΚΟ. Πέρα από την ενίσχυση της ευαισθητοποίησης, καλλιεργεί δεξιότητες και διαμορφώνει αξίες που ευθυγραμμίζονται με βιώσιμες πρακτικές. Η ενσωμάτωση των εννοιών της ΚΟ στα εκπαιδευτικά συστήματα προετοιμάζει τους μαθητές να πλοηγηθούν και να επηρεάσουν τον εξελισσόμενο κοινωνικο-οικολογικό μετασχηματισμό.

Έννοιες όπως η Εκπαίδευση για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (ΕΒΑ) είναι ήδη καθιερωμένες, ενώ ερμηνεύονται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, οι ερμηνείες της ΕΒΑ παρέχουν μια ποικιλία ορισμών για την ΚΟ, με ορισμένους να ασχολούνται κυρίως με την ανακύκλωση, ενώ άλλους, όπως σε αυτή τη μελέτη, να προσφέρουν πιο ευρείες ολιστικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών παραγόντων και της πολιτισμικής αλλαγής (βλ. Kirchherr & Piscicelli 2019). Αντίθετα, η έρευνα για την ειδική εκπαίδευση για την ΚΟ εξακολουθεί να είναι περιορισμένη. Οι Kirchherr & Piscicelli (2019) προσφέρουν μια προσέγγιση βασισμένη στη βιβλιογραφία για την ΕΒΑ και προσδιορίζουν πέντε κατάλληλες βασικές αρχές διδασκαλίας της Εκπαίδευσης στην Κυκλική Οικονομία (ΕΚΟ): «διαδραστικότητα, μη δογματισμός και αμοιβαιότητα, καθώς και εποικοδομητική ευθυγράμμιση και μάθηση βασισμένη σε προβλήματα».

Ένα άλλο πλαίσιο που συμβάλλει σε αυτό το πλαίσιο είναι το GreenComp - Το Ευρωπαϊκό πλαίσιο ικανοτήτων βιωσιμότητας, το οποίο αναπτύχθηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (JRC), την υπηρεσία επιστήμης και γνώσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (βλ. Bianchi et al. 2022: 2). Αυτό στοχεύει στην ενίσχυση των στάσεων, των δεξιοτήτων και των γνώσεων σχετικά με τη βιωσιμότητα και προτείνει 12 ικανότητες σε τέσσερις βασικούς τομείς:

1. «Ενσωμάτωση των αξιών της βιωσιμότητας, συμπεριλαμβανομένων των ικανοτήτων: αποτίμηση της βιωσιμότητας, υποστήριξη της δικαιοσύνης και προώθηση της φύσης,
2. Εφαρμογή της πολυπλοκότητας στη βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένων των ικανοτήτων: συστημική σκέψη, κριτική σκέψη και διαμόρφωση προβλημάτων,
3. Οραματισμός ενός βιώσιμου μέλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των ικανοτήτων: μελλοντικός γραμματισμός, προσαρμοστικότητα και διερευνητική σκέψη,
4. Δράση για τη βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένων των αρμοδιοτήτων: πολιτική δράση, συλλογική δράση και ατομική πρωτοβουλία» (ibid.).

Ορισμένες χώρες ήδη περιλαμβάνουν την εκπαίδευση στην ΚΟ στις πρακτικές και τις πολιτικές τους. Στη Φινλανδία, για παράδειγμα, η εκπαίδευση στην ΚΟ είναι ενσωματωμένη σε όλα τα επίπεδα, από το δημοτικό σχολείο έως την επαγγελματική κατάρτιση. Προγράμματα όπως το Yrityskylä (επιχειρηματικό χωριό) παρέχουν ευκαιρίες βιωματικής μάθησης όπου οι μαθητές συμμετέχουν σε προσομοιωμένες οικονομικές δραστηριότητες που ενσωματώνουν τις αρχές της ΚΟ (βλ. Circular Design Suomi 2023 και Tiirpana et al. 2023). Οι Tiirpana et al. (2023) προτείνουν την προσαρμογή του φινλανδικού μοντέλου σε διαφορετικά εκπαιδευτικά συστήματα.

Η δευτεροβάθμια εκπαίδευση χρησιμεύει ως κρίσιμο σημείο για την ενστάλαξη των αρχών της ΚΟ. Σε αυτό το στάδιο, οι μαθητές αναπτύσσουν τις γνωστικές ικανότητες να κατανοούν πολύπλοκα συστήματα και τον μηχανισμό για την επίτευξη αλλαγής. Η ενσωμάτωση της ΚΟ όχι μόνο σε μαθήματα όπως οι φυσικές επιστήμες, η τεχνολογία, η μηχανική και τα μαθηματικά (STEM), αλλά και σε μαθήματα όπως οι ανθρωπιστικές επιστήμες, οι γλώσσες, οι τέχνες και οι κοινωνικές επιστήμες, παρέχει μια ολιστική κατανόηση της βιωσιμότητας. Οι μαθητές μπορούν να ενδυναμωθούν ώστε να αναπτύξουν τα δικά τους έργα, συμπεριλαμβανομένων των κυκλικών πρακτικών.

Πέρα από τις πρακτικές εφαρμογές, η εκπαίδευση στην ΚΟ προσκαλεί σε μια φιλοσοφική μετατόπιση στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τη σχέση μας με το περιβάλλον, με στόχο την ενίσχυση της πολιτισμικής αλλαγής μέσω των αφηγήσεων που διηγούμαστε για τον κόσμο. Ενθαρρύνει τη μετάβαση από γραμμικές, ανθρωποκεντρικές κοσμοθεωρίες σε κυκλικές, οικοκεντρικές προοπτικές που αναγνωρίζουν την αλληλεξάρτηση όλων των μορφών ζωής. Αυτό ευθυγραμμίζεται με πολλές αυτόχθονες φιλοσοφίες που δίνουν έμφαση στις σχέσεις με τους κύκλους ζωής που είναι κάτι περισσότερο από ανθρώπινοι και οικολογικοί. Μπορεί να ανοίξει διάλογο σχετικά με εναλλακτικές έννοιες του σπειροειδούς χρόνου, συνδέοντας την ανθρώπινη ιστορία με τη φύση, καθώς και συνδέοντας καταλληλότερα τις ανθρώπινες γενιές, συμπεριλαμβανομένων των προγόνων και των απογόνων (βλ. Fritsch 2024) και την ενότητα της ζωής και του θανάτου. Η ενσωμάτωση αυτών των προοπτικών στην εκπαίδευση ενθαρρύνει μια βαθύτερη ηθική δέσμευση για βιωσιμότητα. Προκαλεί τους μαθητές να εξετάσουν όχι μόνο τις τεχνικές πτυχές της εκπαίδευσης στην ενεργό πολιτεϊότητα, αλλά και τις ηθικές επιταγές της συγγένειας πολλών ειδών (βλ. Haraway 2016) και της κοινωνικής ισότητας.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση παραδοσιακών γνώσεων και πρακτικών στην εκπαίδευση για την ΚΟ εμπλουτίζει τη μάθηση συνδέοντας τους μαθητές με τοπικές ιστορίες και βιώσιμες πρακτικές. Για παράδειγμα, η εξερεύνηση παραδοσιακών τεχνικών δόμησης που χρησιμοποιούν τοπικά, ανανεώσιμα υλικά μπορεί να προσφέρει γνώσεις σχετικά με τον βιώσιμο κυκλικό σχεδιασμό. Με αυτόν τον τρόπο, χρήσιμες στρατηγικές που εξαφανίστηκαν με την πάροδο του χρόνου μπορούν να αναβιώσουν και να προσαρμοστούν στη σύγχρονη εποχή ή να συνδυαστούν με νέες ιδέες (βλ. Watson 2019). Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο διατηρεί την πολιτιστική κληρονομιά και ενισχύει τη σύνδεση των μαθητών με το περιβάλλον τους, αλλά καταδεικνύει επίσης τη σημασία των παραδοσιακών πρακτικών στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων βιωσιμότητας.

Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία απαιτεί μια ολοκληρωμένη εκπαιδευτική στρατηγική που να περιλαμβάνει γνωστικές, πρακτικές και ηθικές διαστάσεις. Ενσωματώνοντας τις αρχές της ΚΟ στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, εξοπλίζουμε τους μαθητές με τα εργαλεία για να ασχοληθούν κριτικά με ένα βιώσιμο μέλλον και να το διαμορφώσουν. Αυτός ο εκπαιδευτικός μετασχηματισμός είναι απαραίτητος για την καλλιέργεια μιας κοινωνίας που εκτιμά την κοινωνική και οικολογική βιωσιμότητα, θέτοντας τα θεμέλια για μια ανθεκτική και δίκαιη κοινωνία που ευδοκیمی εντός των οικολογικών ορίων του πλανήτη.

Πηγές

Bianchi, G., Pisiotis, U., Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp – Το ευρωπαϊκό πλαίσιο ικανότητας βιωσιμότητας. Bacigalupo, M., Punie, Y. (επιμ.), EUR 30955 EN, Υπηρεσία Εκδόσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Λουξεμβούργο.

Κυκλικός Σχεδιασμός Suomi (2023). Κυκλικός Σχεδιασμός – μια πορεία προς την κυκλική οικονομία, πρόγραμμα κατάρτισης. <https://circulardesignsuomi.fi/en/frontpage/>

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2023). Κυκλική οικονομία: ορισμός, σημασία και οφέλη. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Fritsch, M. (2024). Ιθαγενείς αφηγήσεις για τον σπειροειδή χρόνο. Ετήσιο βιβλίο για την Ανατολική και Δυτική Φιλοσοφία, 7(1), 60-86.

Haraway, D. J. (2016). Παραμένοντας με το πρόβλημα: Δημιουργώντας συγγένεια στο Χθουλουκένιο. Duke University Press.

Jawahir, I. S., & Bradley, R. (2016). Τεχνολογικά στοιχεία της κυκλικής οικονομίας και οι αρχές της ροής υλικών κλειστού βρόχου που βασίζεται σε 6R στη βιώσιμη μεταποίηση. Procedia Cirp, 40, 103-108.

Kirchherr, J., & Piscicelli, L. (2019). Προς μια εκπαίδευση για την κυκλική οικονομία (ΟΗΕ): πέντε διδακτικές αρχές και μια μελέτη περίπτωσης. Πόροι, Διατήρηση και Ανακύκλωση, 150, 104406.

Lovelock, J., & Margulis, L. (2007). Η υπόθεση της γαίας. Νέα Υόρκη.

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). Η κυκλική οικονομία: μια διεπιστημονική εξερεύνηση της έννοιας και η εφαρμογή της σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο. Journal of Business Ethics, 140, 369-380.

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Mäkinen, S. J. (2018). Διερεύνηση θεσμικών παραγόντων και εμποδίων της κυκλικής οικονομίας: Μια διαπεριφερειακή σύγκριση της Κίνας, των ΗΠΑ και της Ευρώπης. Resources, Conservation and Recycling, 135, 70-82.

Raworth, K. (2017): Οικονομικά Ντόνατ: Επτά τρόποι για να σκεφτείτε σαν οικονομολόγος του 21ου αιώνα. Λονδίνο: Penguin Random House.

Schröder, P. (2020). Προώθηση μιας δίκαιης μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία χωρίς αποκλεισμούς (σελ. σελ.-33). Λονδίνο: Βασιλικό Ινστιτούτο Διεθνών Υποθέσεων.

Tiirpana-Usvasalo, M., Pajunen, N., & Holuszko, M. (2023). Ο ρόλος της εκπαίδευσης στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Διεθνές Περιοδικό Βιώσιμης Μηχανικής, 16(1), 92–103.

Watson, J. (2019). Lo-TEK: Design by Radical Indigenism. Taschen.

Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). Η ιστορία και οι τρέχουσες εφαρμογές της έννοιας της κυκλικής οικονομίας. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68, 825-833.

3. Λύσεις Κυκλικής Κινητικότητας στην Εκπαίδευση

Καθώς ο κόσμος μεταβαίνει προς πιο βιώσιμα συστήματα, η έννοια της Κυκλικής Κινητικότητας έχει αναδειχθεί ως κρίσιμος πυλώνας στο πλαίσιο της ΚΟ. Καθώς υπάρχει ένα αυξανόμενο παγκόσμιο χάσμα κυκλικότητας (Rakowski et al. 2025), η ενσωμάτωση αυτής της προσέγγισης στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την προετοιμασία των μαθητών για ένα μέλλον που δίνει προτεραιότητα στη βιωσιμότητα, την καινοτομία και την υπεύθυνη χρήση των πόρων.

Η κυκλική κινητικότητα περιλαμβάνει διάφορες βιώσιμες στρατηγικές μεταφορών, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα, τις υπηρεσίες κοινής κινητικότητας, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον έξυπνο αστικό σχεδιασμό. Η ενσωμάτωση αυτών των εννοιών στο σχολικό πρόγραμμα ενθαρρύνει τους μαθητές να κατανοήσουν τη διασύνδεση της τεχνολογίας, του περιβάλλοντος και της κοινωνίας. Τους εξοπλίζει ώστε να σκεφτούν κριτικά σχετικά με το πώς τα συστήματα μεταφορών μπορούν να εξελιχθούν από γραμμικά μοντέλα κατανάλωσης σε κυκλικά μοντέλα βελτιστοποίησης πόρων.

Η μάθηση μέσω έργων μπορεί να προσομοιώσει τις πραγματικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές κινητικότητας — εξισορρόπηση της αποδοτικότητας, των υποδομών και των περιβαλλοντικών στόχων — επιτρέποντας στους μαθητές να εξερευνήσουν στρατηγικές, τεχνικές και υλικοτεχνικές λύσεις. Μέσω διεπιστημονικών έργων, οι μαθητές μπορούν να μελετήσουν πώς οι πόλεις μειώνουν τις εκπομπές, πώς επαναχρησιμοποιούνται τα υλικά στην κατασκευή οχημάτων και πώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να τροφοδοτήσουν τα μελλοντικά συστήματα μεταφορών.

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει έναν ολοκληρωμένο οδηγό για τις Λύσεις Κυκλικής Κινητικότητας, διερευνώντας την εφαρμογή τους, τα οφέλη, τις προκλήσεις και τις μελλοντικές προοπτικές τους μέσω εμπειρογνωμόνων, μελετών περιπτώσεων από τον πραγματικό κόσμο και πρακτικών στρατηγικών (Green.org. 2024).

Βασικά Θέματα για την Ενσωμάτωση στην Τάξη

1. Βιώσιμες Μεταφορές

Η μετάβαση σε βιώσιμες μεταφορές περιλαμβάνει ηλεκτρικά οχήματα (EV), προγράμματα κοινής χρήσης ποδηλάτων και δημόσιες συγκοινωνίες χαμηλών εκπομπών. Αυτές οι πρωτοβουλίες μειώνουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2025α).

2. Επάρκεια στην Κινητικότητα

Η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί ολοένα και περισσότερο ανακυκλωμένα υλικά και εφαρμόζει κλειστό κύκλο παραγωγής για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων (Green.org 2024).

3. Πολεοδομικός Σχεδιασμός & Πράσινες Υποδομές

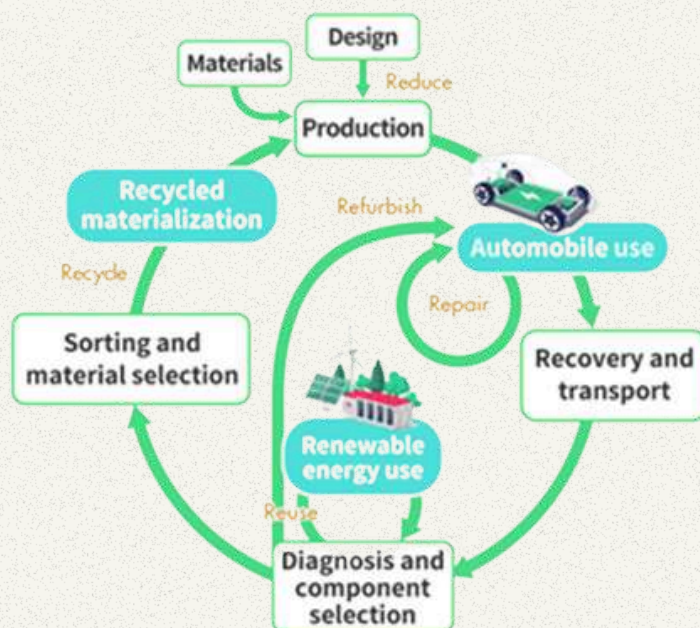
Η ενσωμάτωση τεχνολογιών στον πολεοδομικό σχεδιασμό, όπως τα έξυπνα συστήματα κυκλοφορίας και τα Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας, βελτιώνει την κινητικότητα και μειώνει τις εκπομπές (Hartley et al. 2023).

4. Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η χρήση ηλιακών τεχνολογιών και τεχνολογιών υδρογόνου στις μεταφορές μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και προάγει την ενεργειακή απόδοση. Η επέκταση των δικτύων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι το κλειδί (Barman et al. 2023).

5. Μείωση Αποβλήτων στην Κινητικότητα

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες υιοθετούν στρατηγικές για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών όπως το αλουμίνιο, τα πλαστικά και οι μπαταρίες. Οι κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού και η φιλική προς το περιβάλλον κατασκευή μειώνουν τα απόβλητα (Lean Manufacturing Junction 2022).



Σχήμα 3: Εφαρμογή των αρχών της ΚΟ στην παραγωγή αυτοκινήτων.

Πηγή: https://www.tytlabs.co.jp/en/assets/images/technology/project/project2_image_01.png

6. Πολιτική & Κανονισμοί

Οι κυβερνήσεις και οι παγκόσμιοι οργανισμοί εφαρμόζουν στρατηγικές για την ενθάρρυνση της βιώσιμης κινητικότητας. Η στρατηγική της ΕΕ στοχεύει στη μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές κατά 90% έως το 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2025β).

7. Εκπαίδευση & Ευαισθητοποίηση του Κοινού

Η ενσωμάτωση των αρχών της ΚΟ στα σχολικά προγράμματα σπουδών και στα κοινοτικά προγράμματα προάγει τη βιωσιμότητα. Τα εργαστήρια και τα ψηφιακά εργαλεία προωθούν τη βιώσιμη συμπεριφορά και διδάσκουν στους μαθητές πώς να ευαισθητοποιήσουν την κοινότητα σχετικά με την κυκλική κινητικότητα (Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ 2022).

8. Τεχνολογία & Καινοτομία

Η διαχείριση της κυκλοφορίας που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη, η έξυπνη εφοδιαστική και ο αυτοματισμός βελτιώνουν την αποδοτικότητα των μεταφορών και μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Συνεργατικά Μοντέλα

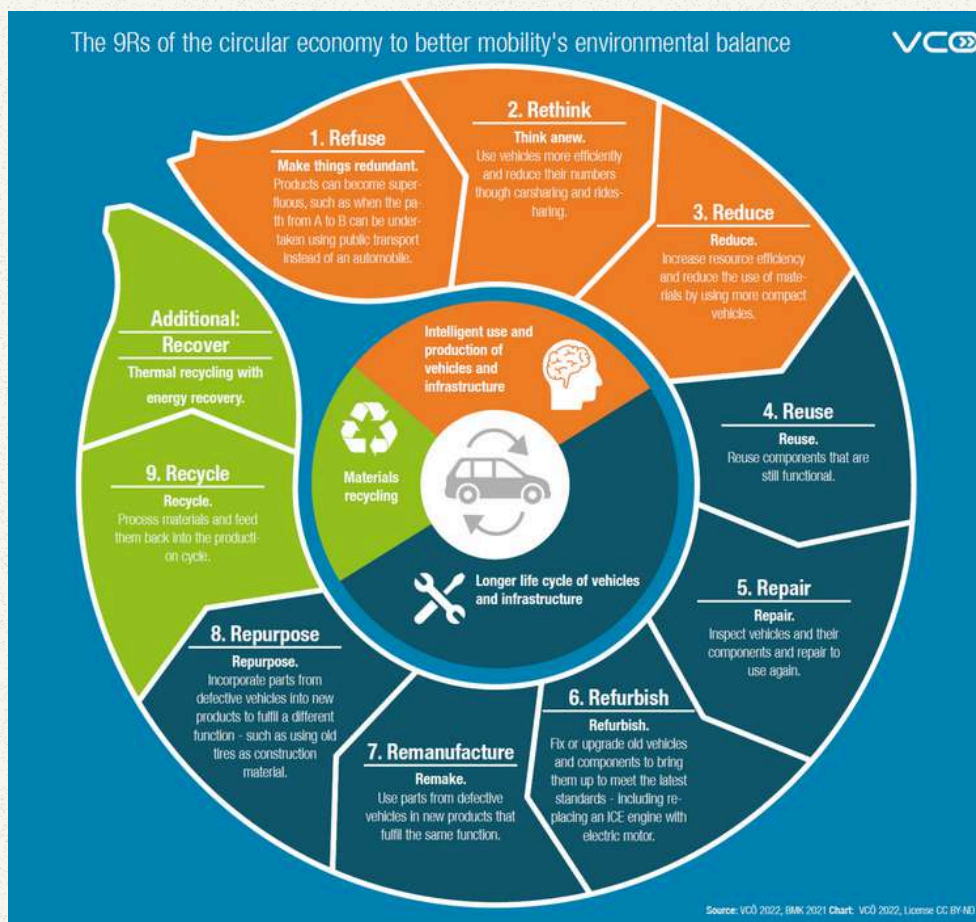
9. Οι συνεργασίες μεταξύ βιομηχανίας και κοινότητας προωθούν τη βιώσιμη κινητικότητα. Προγράμματα όπως το URBACT καταδεικνύουν αποτελεσματική τοπική συνεργασία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2025β).

10. Οικονομικός και Κοινωνικός Αντίκτυπος

Η κυκλική κινητικότητα υποστηρίζει τη δημιουργία θέσεων εργασίας, την οικονομική ανάπτυξη και την αστική βιωσιμότητα μειώνοντας τις εκπομπές και ενθαρρύνοντας την καινοτομία (Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ 2022).

11. Εκτέλεση

Η κυκλική οικονομία απαιτεί έναν θεμελιώδη μετασχηματισμό στις μεταφορές και την εφοδιαστική, απαιτώντας νέες υποδομές, διαδικασίες και τεχνολογίες για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας. Μια βασική στρατηγική είναι η ιεράρχηση της βιωσιμότητας σε όλες τις λειτουργίες, η ενσωμάτωση φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών στην επιλογή οχημάτων, στις επιλογές καυσίμων, στον σχεδιασμό αποθηκών και στη διαχείριση αποβλήτων και η εφαρμογή πρακτικών όπως η Αντίστροφη Εφοδιαστική (RL) και η Ανακατασκευή (Ji-Hyland et al. 2025). Επιπλέον, η ψηφιοποίηση παίζει κρίσιμο ρόλο στην ενεργοποίηση της κυκλικής εφοδιαστικής. Τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και το Blockchain ενισχύουν την παρακολούθηση του κύκλου ζωής των προϊόντων, τη βελτιστοποίηση των πόρων και τη συνεργασία στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση βελτιώνουν περαιτέρω τη βελτιστοποίηση των διαδρομών, μειώνουν τα άδεια χιλιόμετρα και ελαχιστοποιούν την κατανάλωση καυσίμου (Schumann et al. 2022).



Σχήμα 4: Τα 9R της κυκλικής οικονομίας για καλύτερη περιβαλλοντική ισορροπία της κινητικότητας.
Πηγή: VCO 2022 <https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/implementing-the-circular-economy-in-mobility>

Η επένδυση στις συνδυαστικές μεταφορές είναι ένα ακόμη ουσιαστικό βήμα. Η ενθάρρυνση της χρήσης σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και άλλων βιώσιμων τρόπων μεταφοράς μειώνει τις εκπομπές, βελτιώνοντας παράλληλα τις υποδομές συλλογής, διαλογής και επεξεργασίας. Η επιτυχής εφαρμογή των αρχών της ΚΟ απαιτεί συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων logistics, των κατασκευαστών, των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και των εταίρων, διασφαλίζοντας την κοινή χρήση δεδομένων και την ανοιχτή επικοινωνία για την αποτελεσματική χρήση των πόρων (Crispin & Parthasarathy 2025).

Το τελευταίο μίλι της παράδοσης παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις, απαιτώντας λύσεις μικροκινητικότητας, παράδοση με drone και τοπικά σημεία συλλογής για την ενίσχυση της αποδοτικότητας. Επιπλέον, η καλλιέργεια μιας κουλτούρας βιωσιμότητας στον κλάδο είναι ζωτικής σημασίας, η οποία περιλαμβάνει την εκπαίδευση των εργαζομένων, προγράμματα κατάρτισης και φιλόδοξους στόχους βιωσιμότητας (Crispin & Parthasarathy 2025).

Ενσωματώνοντας την καινοτομία, τη συνεργασία και τη βιωσιμότητα, οι πάροχοι logistics μπορούν να οικοδομήσουν ένα πιο ανθεκτικό και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον. Αυτός ο μετασχηματισμός απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογία, υποδομές και ανθρώπινο κεφάλαιο, αλλά τα μακροπρόθεσμα οφέλη τον καθιστούν κρίσιμο εγχείρημα.

Η επιτυχής υιοθέτηση Λύσεων Κυκλικής Κινητικότητας απαιτεί στρατηγική προσέγγιση, προσεκτικό σχεδιασμό και συνεργασία μεταξύ των βασικών ενδιαφερόμενων μερών. Οι οργανισμοί πρέπει να υιοθετήσουν βιώσιμες πρακτικές, αποφεύγοντας παράλληλα κοινές παγίδες, για να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητα και τον μακροπρόθεσμο αντίκτυπο.

Στρατηγικές για την Επιτυχία

Υιοθετήστε την τεχνολογία και την καινοτομία: Αξιοποιήστε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, την Τεχνητή Νοημοσύνη και την ανάλυση δεδομένων για να βελτιστοποιήσετε τη διαχείριση πόρων, να βελτιώσετε την προγνωστική συντήρηση και να βελτιώσετε τις υπηρεσίες κοινής κινητικότητας. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν πιο έξυπνες και αποδοτικές κυκλικές λειτουργίες.

Συνεργαστείτε με ποικίλους εταίρους: Συνεργαστείτε με ενδιαφερόμενα μέρη σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, συμπεριλαμβανομένων προμηθευτών, υπευθύνων χάραξης πολιτικής και καταναλωτών. Η δια-τομεακή συνεργασία προωθεί καινοτόμες λύσεις και διασφαλίζει την ευθυγράμμιση με τους στόχους βιωσιμότητας.

Αξιολογείτε συνεχώς και αναπροσαρμοστείτε: Αξιολογείτε τακτικά τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI) και κάνετε προσαρμογές όπως απαιτείται. Η κυκλική κινητικότητα απαιτεί συνεχείς βελτιώσεις για να παραμένει ένα βήμα μπροστά από τις τάσεις του κλάδου και να διατηρείται η επιχειρησιακή αποδοτικότητα.

Αποφύγετε αυτές τις συνηθισμένες παγίδες

Παράβλεψη της συμμετοχής των ενδιαφερόμενων μερών: Η έλλειψη συμμετοχής από τους βασικούς εταίρους μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση και να δημιουργήσει αντίσταση στην αλλαγή. Διασφαλίστε τη διαφάνεια και τη συνεργασία σε κυκλικές πρωτοβουλίες.

Εστίαση αποκλειστικά σε βραχυπρόθεσμα οφέλη: Ενώ η εξοικονόμηση κόστους είναι ωφέλιμη, η ιεράρχηση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας διασφαλίζει διαρκή επιχειρηματική επιτυχία. Η βραχυπρόθεσμη σκέψη υπονομεύει τις προσπάθειες κυκλικής κινητικότητας και περιορίζει τα περιβαλλοντικά οφέλη.

Αγνοήστε τις κανονιστικές αλλαγές: Μείνετε ενημερωμένοι σχετικά με τις αναδυόμενες πολιτικές και τις απαιτήσεις συμμόρφωσης που σχετίζονται με τις μεταφορές και τη βιωσιμότητα. Η μη προσαρμογή στους κανονισμούς μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργικούς κινδύνους και ζημία στη φήμη.

12. Μελλοντικές τάσεις

Οι λύσεις κυκλικής κινητικότητας στοχεύουν στο να κάνουν τις μεταφορές πιο βιώσιμες μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της βελτιστοποίησης των πόρων, αντί να ακολουθούν το παραδοσιακό μοντέλο «πάρε-φτιάξε-απόρριψε». Αυτή η προσέγγιση παρατείνει τη διάρκεια ζωής των οχημάτων, των υποδομών και των υλικών μεταφοράς μέσω διαφόρων στρατηγικών.

Οι βελτιστοποιημένοι κύκλοι ζωής των οχημάτων μέσω της ανακατασκευής και της ανακαίνισης διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη μείωση των αποβλήτων και στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Τα ανακυκλωμένα υλικά υποδομής για δρόμους και κόμβους μεταφορών συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τις δημόσιες συγκοινωνίες και την εφοδιαστική υποστηρίζουν τους στόχους κλιματικής ουδετερότητας. Η έξυπνη εφοδιαστική βοηθά στη μείωση των αποβλήτων μέσω αποτελεσματικής συσκευασίας και αντίστροφων αλυσίδων εφοδιασμού. Οι λύσεις κοινής κινητικότητας, όπως η κοινή χρήση αυτοκινήτων και ποδηλάτων, ελαχιστοποιούν την ατομική ιδιοκτησία οχημάτων και μειώνουν την αστική συμφόρηση. Οι τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης και Διαδικτύου των Πραγμάτων βελτιώνουν τη βελτιστοποίηση των διαδρομών και την προγνωστική συντήρηση, καθιστώντας τα συστήματα μεταφορών πιο αποτελεσματικά. Οι κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού μειώνουν περαιτέρω τα απόβλητα μέσω συστημάτων κλειστού βρόχου, διασφαλίζοντας τη μέγιστη επαναχρησιμοποίηση πόρων. Οι κυβερνητικές πολιτικές επιβάλλουν οικολογικούς κανονισμούς μεταφορών, προωθώντας την ευρύτερη υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής κινητικότητας.

Πρακτική εφαρμογή σε σχολεία

Οι εκπαιδευτικοί μπορούν να σχεδιάσουν δραστηριότητες που μιμούνται την εφαρμογή συστημάτων κυκλικής κινητικότητας. Αυτό περιλαμβάνει τον σχεδιασμό διαδρομών με υπολογισμούς αποτυπώματος άνθρακα, τον σχεδιασμό σταθμών φόρτισης με ηλιακή ενέργεια για μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων ή την προσομοίωση διαδρομών παράδοσης με drone για το τελευταίο μίλι. Μέσω έργων ενσωματωμένων σε STEM, οι μαθητές εξερευνούν πώς η έξυπνη εφοδιαστική, οι αντίστροφες αλυσίδες εφοδιασμού και η ψηφιακή παρακολούθηση μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Προετοιμασία των μαθητών για ένα κυκλικό μέλλον

Η κυκλική κινητικότητα αντιπροσωπεύει μια μεταμόρφωση στον τρόπο με τον οποίο η κοινωνία προσεγγίζει τις μεταφορές — μετατοπίζοντας από την ιδιοκτησία στην πρόσβαση, από τα απόβλητα στην επαναχρησιμοποίηση και από την εξάρτηση από τον άνθρακα σε λύσεις από ανανεώσιμες πηγές. Η ενσωμάτωση αυτών των θεμάτων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση ενθαρρύνει τη συστημική σκέψη, τον οικολογικό γραμματισμό και την επιχειρηματική επίλυση προβλημάτων.

Συμπεράσματα & Συστάσεις

Η εκπαίδευση διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών. Η ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών, τα πρακτικά έργα, οι κοινοτικές συνεργασίες και οι εκστρατείες ενημέρωσης του κοινού διασφαλίζουν ότι η δευτεροβάθμια εκπαίδευση υποστηρίζει την κυκλική κινητικότητα. Αυτή η εκπαιδευτική μετατόπιση όχι μόνο υποστηρίζει τους παγκόσμιους κλιματικούς στόχους, αλλά και δίνει τη δυνατότητα στους νέους να φανταστούν και να δημιουργήσουν ένα κυκλικό, δίκαιο μέλλον.

Η ΚΟ επικεντρώνεται στη μείωση των αποβλήτων και στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και των υλικών μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της επισκευής και της ανακύκλωσης. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο παραγωγής και απόρριψης, η κυκλικότητα δίνει έμφαση στη διατήρηση της χρήσης των υλικών για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ελαχιστοποιώντας τελικά την κατανάλωση πόρων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ένας από τους βασικούς τομείς στους οποίους η ΚΟ κερδίζει δυναμική είναι οι μεταφορές και η εφοδιαστική, καθώς αυτές οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις βιωσιμότητας. Αυτές περιλαμβάνουν την υψηλή κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, τα απόβλητα από συσκευασίες και εξοπλισμό, καθώς και τον αυξανόμενο όγκο επιστροφών προϊόντων ηλεκτρονικού εμπορίου, τα οποία συμβάλλουν στις εκπομπές, την υπερβολική συσκευασία και τα απόβλητα υγειονομικής ταφής.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, ο τομέας των μεταφορών μπορεί να υιοθετήσει κυκλικές στρατηγικές, όπως η βελτιστοποίηση των οδών παράδοσης για τη μείωση των κενών χιλιομέτρων και της κατανάλωσης καυσίμων, η ενσωμάτωση ΑΠΕ σε οχήματα και λειτουργίες και η ενθάρρυνση των επαναχρησιμοποιήσιμων και ανακυκλώσιμων συσκευασιών. Επιπλέον, τα αποτελεσματικά συστήματα επιστροφής και επαναχρησιμοποίησης μπορούν να βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, δημιουργώντας παράλληλα οικονομικές ευκαιρίες. Οι επιχειρήσεις μπορούν να επεκταθούν σε υπηρεσίες επισκευής και ανακαίνισης, καθώς και σε πρωτοβουλίες ανακύκλωσης για τον εξοπλισμό μεταφορών.

Ένα σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή κυκλικών πρακτικών έγκειται στη διαχείριση της αντίστροφης εφοδιαστικής. Η αποτελεσματική ενσωμάτωση απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, αποτελεσματικά συστήματα συλλογής, εγκαταστάσεις διαλογής και κέντρα ανακατασκευής. Επιπλέον, η διαχείριση της αυξανόμενης ποικιλίας υλικών απαιτεί ευελιξία, προηγμένη τεχνολογία και ισχυρά συστήματα διαχείρισης δεδομένων.

Υιοθετώντας τις αρχές της ΚΟ, οι μεταφορές και η εφοδιαστική μπορούν να κινηθούν προς ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό ως προς τους πόρους μέλλον, εξισορροπώντας την οικονομική ανάπτυξη με την περιβαλλοντική ευθύνη.

Υιοθετώντας την τεχνολογία, ενισχύοντας τη συνεργασία και δεσμευόμενοι για συνεχή βελτίωση, οι οργανισμοί μπορούν να εφαρμόσουν αποτελεσματικά Λύσεις Κυκλικής Κινητικότητας, αποφεύγοντας παράλληλα συνήθεις παγίδες. Μια προληπτική προσέγγιση διασφαλίζει βιωσιμότητα, αποτελεσματικότητα και μακροπρόθεσμη επιτυχία σε ένα εξελισσόμενο τοπίο μεταφορών.

Πηγές

Barman, P., Dutta, L., Bordoloi, S., Kalita, A., Buragohain, P., Bharali, S., & Azzopardi, B. (2023). Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με την τεχνολογία ηλεκτρικών οχημάτων: Μια ανασκόπηση των υφιστάμενων προσεγγίσεων έξυπνης φόρτισης. Ανασκοπήσεις Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Πηγών Ενέργειας. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123003751>

Crispin, A. & Parthasarathy, P. (2025). Γεωχημικά χαρακτηριστικά και παλαιοχημική αποσάθρωση σε ιζήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Noyyal, Tamilnadu-India. Environmental Research & Technology, 8 (1), 163–171 (Scopus Index).

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2025α). Βιώσιμες μεταφορές. Ανακτήθηκε από https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/sustainable-transport_en

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2025β). Σχεδιασμός και παρακολούθηση βιώσιμης αστικής κινητικότητας. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/sustainable-urban-mobility-planning-and-monitoring_en

Green.org (2024). Η κυκλική οικονομία στην αυτοκινητοβιομηχανία: Κλείνοντας τον κύκλο βιωσιμότητας. <https://green.org/2024/01/30/the-circular-economy-in-automotive-closing-the-sustainability-loop/>

Hartley, K., Schülzchen, S., Bakker, C. A., & Kirchherr, J. (2023). Ένα πλαίσιο πολιτικής για την κυκλική οικονομία: Μαθήματα από την ΕΕ. Journal of Cleaner Production, 412, Άρθρο 137176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137176>

Ji-Hyland, C., White, D., & Khaydarov, R. (2025). Ο αντίκτυπος των πρακτικών κυκλικής οικονομίας στην απόδοση της βιώσιμης εφοδιαστικής. Διεθνές Περιοδικό Logistics: Έρευνα και Εφαρμογές. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/13675567.2025.2465579>

Lean Manufacturing Junction (2022). Οι καλύτεροι τρόποι μείωσης των αποβλήτων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Hartley, K., Schülzchen, S., Bakker, C. A., & Kirchherr, J. (2023). Ένα πλαίσιο πολιτικής για την κυκλική οικονομία: Μαθήματα από την ΕΕ. Journal of Cleaner Production, 412, Άρθρο 137176. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137176>

Rakowski, D., Ewalts, D. & Dall' Acqua, C. (2025). Έκθεση Global Circularity Gap. <https://www.deloitte.com/global/en/issues/climate/global-circularity-gap.html>

Schumann, C., Riedel, R., Franke, S., Nitsche, A., & Runte, C. (2022). Υποστήριξη τεχνητής νοημοσύνης για έξυπνα συστήματα εφοδιαστικής σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Τεχνική Έγγραφο SAE, 2022-01-0347.

<https://doi.org/10.4271/2022-01-0347>

Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ (2022). Η ΚΟ κλειδί για την επιτάχυνση των μεταφορών με μηδενικό καθαρό αποτύπωμα.

<https://www.weforum.org/stories/2022/05/circular-economy-net-zero-transportation/>

4. Μελλοντικές Προοπτικές της Τεχνητής Νοημοσύνης στην Κυκλική Οικονομία

Καθώς οι εκπαιδευτικοί επιδιώκουν να εξοπλίσουν την επόμενη γενιά με τις γνώσεις και τα εργαλεία για να ηγηθούν αυτής της μετάβασης, η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στην Εκπαίδευση της Κυκλικής Οικονομίας καθίσταται ολοένα και πιο ζωτικής σημασίας. Μεταξύ αυτών των τεχνολογιών, η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) ξεχωρίζει για την ισχυρή της ικανότητα να μοντελοποιεί την πολυπλοκότητα, να βελτιστοποιεί τη λήψη αποφάσεων και να αυτοματοποιεί τις διαδικασίες βιωσιμότητας. Επιπλέον, η Μηχανική Μάθηση (MM) προσφέρει ένα αυξανόμενο σύνολο υπολογιστικών τεχνικών ικανών να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα και τον δυναμισμό των συστημάτων κυκλικής οικονομίας (ΚΟ), κάτι που θα πρέπει να αποτελεί βασικό θέμα στην εκπαίδευση δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Τα τελευταία χρόνια, ερευνητές και επαγγελματίες έχουν εφαρμόσει διάφορους τύπους MM για να βελτιστοποιήσουν τις ροές πόρων, να ενισχύσουν την ανάκτηση υλικών, να προβλέψουν τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα και να επιτρέψουν την πιο έξυπνη λήψη αποφάσεων σε όλους τους τομείς. Οι μελέτες που συνοψίζονται στον συνοδευτικό πίνακα αντικατοπτρίζουν ποικίλες εφαρμογές της MM που ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της ΚΟ, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η αναγέννηση, οι μειωμένες εκπομπές και οι διαδικασίες κλειστού βρόχου.

Η εποπτευόμενη μάθηση παραμένει ένα από τα πιο ευρέως εφαρμοζόμενα παραδείγματα MM στην έρευνα για την ΚΟ. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει την εκπαίδευση μοντέλων σε σύνολα δεδομένων που περιέχουν τόσο μεταβλητές εισόδου όσο και γνωστά αποτελέσματα, επιτρέποντας στον αλγόριθμο να μαθαίνει προγνωστικές σχέσεις. Μόλις εκπαιδευτεί, το μοντέλο μπορεί να εκτιμήσει άγνωστα αποτελέσματα για νέα δεδομένα. Μέσα σε κυκλικά συστήματα, η εποπτευόμενη μάθηση χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της απόδοσης ή της ποιότητας των ανακυκλωμένων υλικών, την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας πόρων ή την αξιολόγηση της απόδοσης των προμηθευτών με βάση κριτήρια βιωσιμότητας. Οι συνηθισμένοι αλγόριθμοι εποπτευόμενης μάθησης περιλαμβάνουν τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN), τα οποία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην αναγνώριση σύνθετων μοτίβων σε περιβαλλοντικά ή γεωργικά δεδομένα, την Υποστηρικτική Διανυσματική Παλινδρόμηση (SVR), που χρησιμοποιείται για ακριβείς αριθμητικές προβλέψεις, και το Τυχαίο Δάσος, μια ισχυρή μέθοδο συνόλου που χειρίζεται περιβάλλοντα αποφάσεων πολλαπλών μεταβλητών, όπως η ανακύκλωση πλαστικού PET.

Η μη επιβλεπόμενη μάθηση διαφέρει στο ότι λειτουργεί με βάση δεδομένα χωρίς επισημασμένα αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται συνήθως για την εξερεύνηση υποκείμενων μοτίβων, συστάδων ή ανωμαλιών σε σύνθετα σύνολα δεδομένων. Στο πλαίσιο της Βιώσιμης Ενέργειας (ΒΕ), η μη επιβλεπόμενη μάθηση υποστηρίζει λειτουργίες όπως ο εντοπισμός τάσεων στη συμπεριφορά των καταναλωτών που σχετίζονται με βιώσιμα προϊόντα, η ομαδοποίηση ροών αποβλήτων κατά σύνθεση ή η ανίχνευση ανωμαλιών σε δίκτυα ανακύκλωσης. Οι τεχνικές ομαδοποίησης και η μοντελοποίηση θεμάτων είναι ιδιαίτερα πολύτιμες κατά την ανάλυση μη δομημένων πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, των αρχείων καταγραφής αποβλήτων ή της ανατροφοδότησης αισθητήρων από συστήματα υποδομών.

Η ενισχυτική μάθηση εισάγει την προσαρμοστικότητα μέσω βρόχων ανατροφοδότησης. Σε αυτό το μοντέλο, ένας πράκτορας μαθαίνει βέλτιστες στρατηγικές μέσω επαναληπτικών αλληλεπιδράσεων με ένα σύστημα, λαμβάνοντας ανταμοιβές ή κυρώσεις με βάση τα αποτελέσματα. Αυτός ο μηχανισμός δοκιμής και σφάλματος καθιστά την ενισχυτική μάθηση ιδιαίτερα κατάλληλη για δυναμικά λειτουργικά περιβάλλοντα όπως η εφοδιαστική, η διαχείριση στόλου ή ο προσαρμοστικός προγραμματισμός σε βιο-κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού. Μελέτες που εφαρμόζουν αυτήν την τεχνική συχνά επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση της χρήσης καυσίμων, στη μείωση των εκπομπών και στη βελτίωση της αποδοτικότητας των υπηρεσιών - στόχοι που συνδέονται στενά με την έμφαση της ΚΟ στη διατήρηση των πόρων και την ανθεκτικότητα του συστήματος.

Οι τεχνικές βαθιάς μάθησης, συμπεριλαμβανομένων των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNN), κερδίζουν έδαφος σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν αναγνώριση εικόνας, ταξινόμηση και αισθητηριακή ανάλυση. Αυτές είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην αυτοματοποίηση της διαλογής αποβλήτων, στην ανίχνευση μόλυνσης σε ανακυκλώσιμα υλικά ή στην αξιολόγηση της ποιότητας σε ανακαινισμένα προϊόντα. Η βαθιά μάθηση επιτρέπει την υψηλής ταχύτητας, κλιμακούμενη αυτοματοποίηση των διαδικασιών ταξινόμησης υλικών, η οποία είναι απαραίτητη για την αύξηση των ποσοστών ανάκτησης και τη μείωση των εργασιών έντασης εργασίας σε υποδομές ΚΟ.

Τέλος, η Εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη (ΧΑΙ) έχει γίνει μια κρίσιμη καινοτομία όπου απαιτείται διαφάνεια και λογοδοσία μοντέλων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μοντέλα μηχανικής μάθησης «μαύρου κουτιού», η ΧΑΙ παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τις προβλέψεις, υποστηρίζοντας τη λήψη αποφάσεων στην περιβαλλοντική πολιτική, τον σχεδιασμό μείωσης των εκπομπών ή τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Μοντέλα όπως το XGBoost, όταν συνδυάζονται με τιμές SHAP (SHapley Additive exPlanations), μπορούν να αποκαλύψουν τις πιο σημαντικές μεταβλητές που οδηγούν σε αποτελέσματα βιωσιμότητας, επιτρέποντας πιο ενημερωμένες και δικαιολογημένες παρεμβάσεις στη διακυβέρνηση της ΚΟ.

Μαζί, αυτές οι προσεγγίσεις Μηχανικής Μάθησης (MM) αποτελούν ένα συμπληρωματικό σύνολο εργαλείων για την επιχειρησιακή αξιοποίηση της κυκλικότητας. Η εφαρμογή τους κυμαίνεται από την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση έως τον αυτοματισμό και τη συμμόρφωση — η καθεμία υποστηρίζει τον συστηματικό επανασχεδιασμό των συστημάτων παραγωγής, κατανάλωσης και ανάκαμψης που απαιτούνται για τη μετάβαση στην κυκλική οικονομία.

Προσεγγίσεις Μηχανικής Μάθησης σε Πλαίσια Κυκλικής Οικονομίας

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) αναγνωρίζεται ολοένα και περισσότερο ως στρατηγικός παράγοντας για την πρόοδο της ΚΟ. Αντί να χρησιμεύει ως τεχνολογία υποβάθρου, η TN διαμορφώνει προοδευτικά τον σχεδιασμό, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση των κυκλικών συστημάτων σε διάφορους τομείς. Από τη γεωργία έως τον αστικό σχεδιασμό, από την ανάκτηση υλικών έως τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων, η TN διευκολύνει τη μετάβαση από τα γραμμικά μοντέλα «παραλαβής-κατασκευής-απόρριψης» σε αναγεννητικά, κυκλικά συστήματα που μειώνουν τα απόβλητα και μεγιστοποιούν την αποδοτικότητα των πόρων.

Μία από τις πιο σαφείς εφαρμογές της TN στην ΚΟ έγκειται στην προγνωστική μοντελοποίηση για τη βελτιστοποίηση των πόρων. Στον τομέα της βιο-κυκλικής γεωργίας, οι Pitakaso et al. (2025) εφάρμοσαν την ενισχυτική μάθηση και την τεχνητή πολλαπλή νοημοσύνη για τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης και του προγραμματισμού της εφοδιαστικής του στόλου ζαχαροκάλαμου. Αυτό το σύστημα ελαχιστοποίησε με επιτυχία την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές, συμβάλλοντας σε κυκλικές γεωργικές πρακτικές που κλείνουν τον κύκλο χρήσης βιομάζας (Pitakaso et al., 2025). Ομοίως, οι Kravchenko et al. (2025) χρησιμοποίησαν την παλινδρόμηση διανύσματος υποστήριξης για να προβλέψουν τις χημικές ιδιότητες του βιο-άνθρακα που προέρχεται από τα απόβλητα τροφίμων. Το έργο τους υποστηρίζει την ακριβή μηχανική των συστημάτων μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια, διασφαλίζοντας ότι η παραγωγή βιο-άνθρακα ευθυγραμμίζεται με τους στόχους της ΚΟ, μεγιστοποιώντας την επαναχρησιμοποίηση και μειώνοντας τις υπολειμματικές εκροές (Kravchenko et al., 2025).

Ένας άλλος σημαντικός τομέας όπου η TN αναδιαμορφώνει τις πρακτικές ΚΟ είναι η διαλογή αποβλήτων και η ανάκτηση κυκλικών υλικών. Οι πρόοδοι στην όραση των Η/Υ, ιδίως μέσω της βαθιάς μάθησης, μετασχηματίζουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων ανακύκλωσης. Οι Faghieh et al. (2024) έδειξαν πώς τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) θα μπορούσαν να ταξινομήσουν τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μετά την κατανάλωση ανά τύπο υφάσματος με υψηλή ακρίβεια. Αυτό ενισχύει την καθαρότητα των ανακτημένων υλικών και υποστηρίζει την αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας (Faghieh et al., 2024). Στον τομέα της ανακύκλωσης πλαστικών, οι Abedsoltan et al. (2025) ανέπτυξαν ένα υβριδικό μοντέλο χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Τυχαίου Δάσους και ANN για την προσομοίωση των διαδικασιών υδρόλυσης PET, βοηθώντας τους ανακυκλωτές να βελτιώσουν τόσο την απόδοση όσο και την καθαρότητα των ανακυκλωμένων πλαστικών σε συστήματα κλειστού βρόχου (Abedsoltan et al., 2025).

Η TN διαδραματίζει επίσης κεντρικό ρόλο στα κυκλικά αστικά συστήματα. Στις έξυπνες πόλεις, η TN επιτρέπει πιο βιώσιμες υποδομές διαχειριζόμενη δυναμικά πόρους όπως το νερό και τα απόβλητα. Οι Ojadi et al. (2024) χρησιμοποίησαν προβλέψεις χρονοσειρών που βασίζονται στην TN για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και της διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε αστικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας στις πόλεις να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο στα πρότυπα κατανάλωσης και να μειώνουν το περιβαλλοντικό στρες (Ojadi et al., 2024). Πέρα από την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, η TN συμβάλλει στον στρατηγικό αστικό σχεδιασμό. Οι Wang et al. (2025) χρησιμοποίησαν την XAI, συνδυάζοντας τις τιμές XGBoost και SHAP, για να αξιολογήσουν την απόδοση των κυκλικών πρωτοβουλιών άνθρακα στις πιλοτικές πόλεις της Κίνας. Τα ευρήματά τους προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες πολιτικής σχετικά με το ποιες μεταβλητές μειώνουν τις εκπομπές με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, ενισχύοντας έτσι τη διαφάνεια των δεδομένων στη διακυβέρνηση της κυκλικής οικονομίας (Wang et al., 2025).

Τα βιομηχανικά συστήματα και οι αλυσίδες εφοδιασμού επωφελούνται επίσης από την ενσωμάτωση της TN στον κυκλικό σχεδιασμό. Οι Ghanavati-Nejad et al. (2025) ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου για την υποστήριξη της επιλογής προμηθευτών με βάση τις μετρήσεις ανθεκτικότητας και ΚΟ. Το μοντέλο βοηθά τους κατασκευαστές να ενσωματώσουν κριτήρια βιωσιμότητας στις προμήθειες, προωθώντας στόχους όπως η ανακατασκευή και η ηθική προμήθεια πρώτων υλών (Ghanavati-Nejad et al., 2025).

Ομοίως, οι Meena et al. (2025) παρουσίασαν ένα πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων για κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού που χρησιμοποιεί την TN για να εξισορροπήσει το τριπλό αποτέλεσμα: οικονομική αποδοτικότητα, περιβαλλοντική διαχείριση και κοινωνική ευθύνη (Meena et al., 2025).

Κοιτώντας μπροστά, αναδύονται πιο εξελιγμένες εφαρμογές με τη μορφή βιομηχανικών οικοσυστημάτων που συντονίζονται από την TN. Η Telesca (2025) πρότεινε το μοντέλο Έξυπνης Βιώσιμης Ανάπτυξης (SSD) για τη διαχείριση Οικο-βιομηχανικών Ζωνών χρησιμοποιώντας TN για την ενσωμάτωση μετρήσεων απόδοσης ΚΟ, πολιτικών χωροθέτησης και δεδομένων ροής ενέργειας και υλικών σε πραγματικό χρόνο. Το μοντέλο προβλέπει ένα εννοχρηστωμένο σύστημα όπου οι βιομηχανίες μοιράζονται πόρους και συγχρονίζουν τις λειτουργίες τους με βάση έξυπνες αναλύσεις (Telesca, 2025).

Εφαρμογές Μηχανικής Μάθησης στην Κυκλική Οικονομία

Ο πίνακας περιγράφει τις βασικές χρήσεις της MM εντός της ΚΟ. Κάθε καταχώρηση παρουσιάζει πώς οι τεχνικές MM -συμπεριλαμβανομένης της εποπτευόμενης, της μη εποπτευόμενης, της ενισχυτικής και της βαθιάς μάθησης- επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των πόρων, τη μείωση των αποβλήτων, την ταξινόμηση υλικών και την προσαρμοστικότητα του συστήματος. Η επισκόπηση συνδέει κάθε προσέγγιση με συγκεκριμένες λειτουργίες ΚΟ, προσφέροντας μια εικόνα για το πώς τα έξυπνα εργαλεία υποστηρίζουν αναγεννητικές, χαμηλού αντίκτυπου και βασισμένες σε δεδομένα λύσεις σε όλους τους κλάδους.

Τίτλος	Συγγραφείς	Τύπος MM	Αλγόριθμος	Εφαρμογή	Επιπτώσεις στην ΚΟ
Χαρτογράφηση των αποδόσεων υδρόβιων ζιζανίων για την παραγωγή βιοκαρβουνού	Banda et al. (2025)	Εποπτευόμε-νη μάθηση	Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN)	Πρόβλεψη απόδοσης βιομάζας για παρα-γωγή βιοκαρβου-νου	Μετατρέπει τη βιομάζα σε ενέργεια, βελτιστοποι-ώντας τις ροές βιοπόρων
Βιο-κυκλική “πράσινη” οικονομία στη γεωργία	Pitakaso et al. (2025)	Ενισχυτική Μάθηση (EM)	ΕΜ με τεχνητή πολλαπλή νοημοσύνη	Δρομολόγη-ση και προγραμμα-τισμός στόλου για logistics βιομάζας	Βελτιστοποιεί τις εκπομπές από τις μεταφορές και την ανάκτηση πόρων στη γεωργία
Επιλογή προμηθευτή σε κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού	Ghanavati-Nejad et al. (2025)	Εποπτευόμε-νη μάθηση	Μοντέλα Στοχαστι-κών Δικτύων ANN	Επιλογή προμηθευ-τών με βάση την ανθεκτικό-τητα και την κυκλικότητα	Ενισχύει τη βιωσιμότητα και την ευελιξία στα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας

Τίτλος	Συγγραφείς	Τύπος MM	Αλγόριθμος	Εφαρμογή	Επιπτώσεις στην ΚΟ
Μοντελοποίηση υδρόλυσης PET για κυκλικά πλαστικά	Abedsoltan et al. (2025)	Εποπτευόμενη μάθηση	Τυχαίο Δάσος, ANN	Μοντελοποίηση της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας υδρόλυσης αποβλήτων PET	Επιτρέπει την ανακύκλωση πλαστικού κλειστού βρόχου μέσω βελτιστοποίησης χημικών διεργασιών
Ανάλυση αστικής κυκλικής οικονομίας άνθρακα	Wang et al. (2025)	Εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη (XAI)	XGBoost με ανάλυση SHAP	Αξιολόγηση των επιδόσεων βιωσιμότητας των κινεζικών πιλοτικών πόλεων	Υποστηρίζει τον πολεοδομικό σχεδιασμό ευθυγραμμισμένο με την ΚΟ μέσω πληροφοριών αποτυπώματος άνθρακα
TN για πρόβλεψη ιδιοτήτων άνυδρου ξυλάνθρακα	Kravchenko et al. (2025)	Εποπτευόμενη μάθηση	Υποστήριξη διανυσματικής παλινδρόμησης (SVR)	Πρόβλεψη ιδιοτήτων άνυδρου ξυλάνθρακα από απόβλητα τροφίμων	Βελτιστοποιεί τις διαδρομές αποβλήτων προς αξία στην επεξεργασία οργανικών αποβλήτων
Επαναπροσδιορισμός της συμμόρφωσης μέσω TN σε συστήματα μετατροπής αποβλήτων σε αξία	Ashraf & Mustafa (2024)	Μη - Εποπτευόμενη μάθηση	Ανίχνευση ανωμαλιών, εξόρυξη προτύπων	Παρακολούθηση της συμμόρφωσης στις διαδικασίες ψηφιακής αξιοποίησης αποβλήτων	Διασφαλίζει δεοντολογικές και ανιχνεύσιμες κυκλικές ροές αποβλήτων
Βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και των αποβλήτων σε έξυπνες πόλεις με γνώμονα την TN	Ojadi et al. (2024)	Εποπτευόμενη μάθηση	Πρόβλεψη χρονοσειρών	Βελτιστοποίηση των αστικών συστημάτων ύδρευσης και αποβλήτων	Πρωθεί κύκλους αστικών πόρων κλειστού βρόχου
Διαλογή κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων με χρήση TN	Faghih et al. (2024)	Υπολογιστική Όραση / Βαθειά Μάθηση	Συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN)	Ταξινόμηση των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων μετά την κατανάλωση για ανακύκλωση	Βελτιώνει τα ποσοστά ανάκτησης και την καθαρότητα στις ροές επαναχρησιμοποίησης υφασμάτων
Η αξιοποίηση των αποβλήτων συναντά την TN: Ανάπτυξη και ανισότητα των MME	Abbas & Mustafa (2024)	Βαθειά Μάθηση	Πολυ - Επίπεδη Αντίληψη	Πρόβλεψη εξαγωγής αξίας από ανακυκλωμένα υλικά	Ενισχύει τα χωρίς αποκλεισμούς και κλιμακούμενα συστήματα μετατροπής αποβλήτων σε πόρους

Τεχνητή Νοημοσύνη στην Κυκλική Οικονομία: Ευκαιρίες και Κίνδυνοι

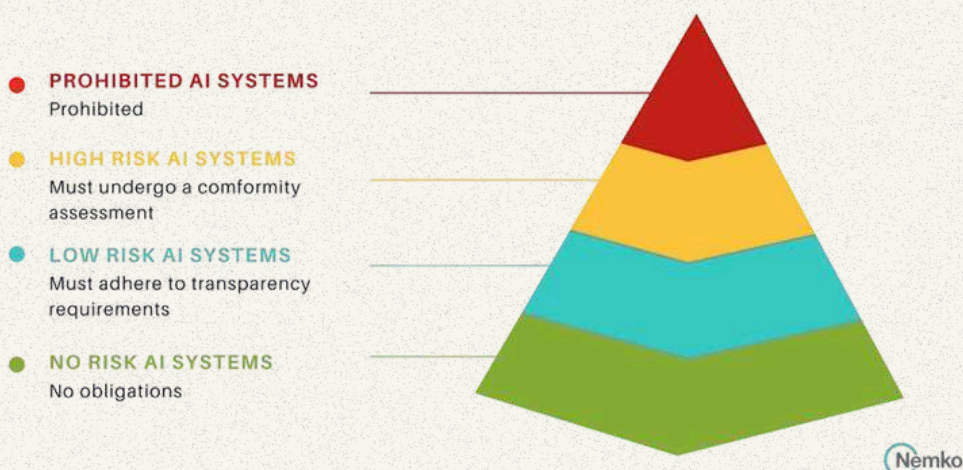
Καθώς τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης ενσωματώνονται ολοένα και περισσότερο στις υποδομές της ΚΟ, ο ρόλος τους εξελίσσεται από την αναλυτική υποστήριξη στον αυτόνομο έλεγχο και την προγνωστική διακυβέρνηση. Οι αναδυόμενες εφαρμογές περιλαμβάνουν αξιολογήσεις κύκλου ζωής σε πραγματικό χρόνο (Krauchenko et al., 2025), μικροδίκτυα ενέργειας με συντονισμό ΤΝ, δυναμική εφοδιαστική για κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού (Pitakaso et al., 2025) και αυτόνομα συστήματα ιχνηλασιμότητας για την παρακολούθηση των ροών υλικών. Αυτά τα εργαλεία υπόσχονται σημαντικά οφέλη στην αποδοτικότητα, τη διαφάνεια και την οικολογική βιωσιμότητα. Μέσω της προηγμένης μάθησης, της αναγνώρισης προτύπων και της προσαρμοστικής λήψης αποφάσεων, η ΤΝ υποστηρίζει τους στόχους του σχεδιασμού της διαχείρισης των αποβλήτων, της αναγέννησης οικοσυστημάτων και του κλεισίματος των βρόχων πόρων σε όλους τους κλάδους.

Ωστόσο, αυτές οι δυνατότητες συνοδεύονται από κρίσιμες προκλήσεις. Η ηθική διακυβέρνηση της ΤΝ παραμένει υπανάπτυκτη σε πολλά περιβάλλοντα ΚΟ, όπου εξακολουθούν να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την αλγοριθμική μεροληψία, την αδιαφάνεια των δεδομένων και τον αποκλεισμό από τη λήψη αποφάσεων (Floridi et al., 2018). Εάν δεν ελεγχθούν, τέτοιοι κίνδυνοι μπορούν να ενισχύσουν τις περιβαλλοντικές αδικίες ή να υπονομεύσουν τον δημοκρατικό έλεγχο. Για παράδειγμα, ο αυτοματισμός που βασίζεται στην ΤΝ στα συστήματα ανακύκλωσης μπορεί να περιθωριοποιήσει τους άτυπους εργαζόμενους ή τους μικρής κλίμακας ανακυκλωτές, ειδικά σε οικονομίες χαμηλού εισοδήματος όπου η πρόσβαση σε ψηφιακές υποδομές παραμένει περιορισμένη (Vinueza et al., 2020). Εν τω μεταξύ, οι κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού βασίζονται όλο και περισσότερο στη συλλογή δεδομένων μεγάλης κλίμακας - μέσω αισθητήρων, έξυπνων συμβολαίων ή παρακολούθησης της συμπεριφοράς των καταναλωτών - εγείροντας ανησυχίες σχετικά με την κυριαρχία και το απόρρητο των δεδομένων.

Αυτές οι ανησυχίες λαμβάνουν πλέον την προσοχή των ρυθμιστικών αρχών. Ο Νόμος περί ΤΝ της Ευρωπαϊκής Ένωσης εισάγει ένα νομικό πλαίσιο που κατηγοριοποιεί τα συστήματα ΤΝ με βάση τους πιθανούς κινδύνους τους, με συγκεκριμένες διατάξεις για συστήματα υψηλού κινδύνου που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση του περιβάλλοντος, στις αστικές υποδομές και στον βιομηχανικό έλεγχο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021/2024). Ο Νόμος περί ΤΝ επιβάλλει διαφάνεια, ανθρώπινη εποπτεία και αλγοριθμική λογοδοσία για τέτοια συστήματα — αρχές που είναι ιδιαίτερα σημαντικές όταν η ΤΝ χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση των εκπομπών, τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας ή την επιβολή της συμμόρφωσης που σχετίζεται με την ΚΟ.

Ο νόμος της ΕΕ για την ΤΝ εισάγει ένα πλαίσιο βασισμένο στον κίνδυνο που ταξινομεί τα συστήματα ΤΝ σε τέσσερα επίπεδα, δομημένα σαν πυραμίδα. Αυτή η δομή βοηθά να διασφαλιστεί ότι η ρύθμιση είναι αναλογική: όσο υψηλότερος είναι ο πιθανός κίνδυνος που θέτει ένα σύστημα ΤΝ για τους ανθρώπους, την κοινωνία ή το περιβάλλον, τόσο αυστηρότερες είναι οι κανονιστικές απαιτήσεις.

EU AI Act: Risk Levels



Σχήμα 4: Νόμος της ΕΕ για την Τεχνητή Νοημοσύνη: Επίπεδα Κινδύνου.
Πηγή: <https://www.nemko.com/blog/a-quick-dive-into-the-eu-ai-act>

Στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκονται τα απαγορευμένα συστήματα ΤΝ υψηλού κινδύνου, τα οποία θεωρούνται πολύ επικίνδυνα για να επιτραπούν στην αγορά της ΕΕ. Αυτά τα συστήματα απαγορεύονται εντελώς. Στο πλαίσιο της ΚΟ, ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένα σύστημα ΤΝ που χρησιμοποιείται για τη χειραγώγηση των καταναλωτών μέσω παραπλανητικών τακτικών “πράσινου” μάρκετινγκ — για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας υποσυνείδητα μηνύματα για να παρουσιάσουν ψευδώς ένα προϊόν ως περιβαλλοντικά βιώσιμο. Εάν ένα τέτοιο σύστημα εκμεταλλεύεται ευάλωτους πληθυσμούς (όπως παιδιά ή ηλικιωμένους), θα εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία υψηλότερου κινδύνου και θα απαγορεύεται.

Το επόμενο επίπεδο προς τα κάτω είναι τα συστήματα ΤΝ υψηλού κινδύνου, τα οποία δεν απαγορεύονται αλλά πρέπει να συμμορφώνονται με αυστηρές υποχρεώσεις σχετικά με τη διαφάνεια, την ποιότητα των δεδομένων, την ανθρώπινη εποπτεία και τη διαχείριση κινδύνων. Στην ΚΟ, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα ΤΝ που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις αυτοματοποιημένης διαλογής αποβλήτων που ταξινομούν υλικά για ανακύκλωση. Ένα άλλο παράδειγμα θα ήταν η ΤΝ που διαχειρίζεται κρίσιμα ενεργειακά συστήματα σε μια έξυπνη πόλη ή βελτιστοποιεί τη διανομή επαναχρησιμοποιήσιμων αγαθών. Ενώ αυτά τα συστήματα υποστηρίζουν στόχους βιωσιμότητας, οποιοδήποτε σφάλμα ή προκατάληψη θα μπορούσε να έχει σοβαρές συνέπειες, όπως περιβαλλοντική ζημία ή κακή κατανομή πόρων — επομένως θεωρούνται υψηλού κινδύνου.

Παρακάτω βρίσκονται τα συστήματα ΤΝ περιορισμένου κινδύνου, τα οποία υπόκεινται κυρίως σε απαιτήσεις διαφάνειας. Αυτά τα συστήματα ενδέχεται να αλληλεπιδρούν με τους χρήστες ή να επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων, αλλά είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν βλάβη. Για παράδειγμα, ένας ψηφιακός βοηθός ή ένα chatbot που καθοδηγεί τους καταναλωτές σχετικά με τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης προϊόντων εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία.

Αυτά τα εργαλεία ΤΝ πρέπει να ενημερώνουν τους χρήστες ότι αλληλεπιδρούν με ένα σύστημα ΤΝ και ενδέχεται να χρειαστεί να εξηγήσουν πώς δημιουργούνται οι συστάσεις (π.χ., προτείνοντας μεταχειρισμένα προϊόντα ή επιλογές επισκευής με βάση τις προτιμήσεις των χρηστών).

Στη βάση της πυραμίδας βρίσκονται συστήματα ΤΝ ελάχιστου ή μηδενικού κινδύνου, τα οποία δεν αντιμετωπίζουν συγκεκριμένους νομικούς περιορισμούς βάσει του Νόμου περί ΤΝ. Αυτά περιλαμβάνουν τις περισσότερες συνηθισμένες εφαρμογές που δεν επηρεάζουν σημαντικά τα δικαιώματα ή την ασφάλεια των ανθρώπων. Στην ΚΟ, αυτό θα μπορούσε να είναι η ΤΝ που χρησιμοποιείται για εσωτερική εφοδιαστική, όπως η βελτιστοποίηση διαδρομών για φορτηγά ανακύκλωσης ή τα εργαλεία προγνωστικής συντήρησης για μηχανήματα σε μια μονάδα ανακύκλωσης. Αυτές οι χρήσεις βελτιώνουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα, αλλά δεν εγείρουν ηθικά ή νομικά ζητήματα, επομένως επιτρέπονται ελεύθερα.

Η πυραμίδα του νόμου περί ΤΝ διασφαλίζει ότι οι εφαρμογές ΤΝ σε τομείς όπως η ΚΟ ρυθμίζονται κατάλληλα ανάλογα με τον αντίκτυπό τους. Τα συστήματα που είναι κρίσιμα για τη δημόσια ή την περιβαλλοντική ευημερία υπόκεινται σε υψηλότερα πρότυπα, ενώ τα εργαλεία χαμηλότερου κινδύνου ενθαρρύνονται με ελάχιστες παρεμβολές.

Η επίτευξη μιας δίκαιης και αποτελεσματικής ΚΟ με την υποστήριξη της ΤΝ απαιτεί περισσότερα από απλή συμμόρφωση. Απαιτεί υπεύθυνο σχεδιασμό, διακυβέρνηση χωρίς αποκλεισμούς και καινοτομία με επίκεντρο τη δικαιοσύνη. Οι αλγοριθμικές αποφάσεις πρέπει να είναι εξηγήσιμες, ιχνηλατήσιμες και ελέγξιμες. Οι κοινότητες που επηρεάζονται από τον αυτοματισμό - ιδίως εκείνες σε ευάλωτα εργασιακά ή οικολογικά συστήματα- πρέπει να έχουν λόγο στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται και αναπτύσσονται τα συστήματα ΤΝ. Η ενσωμάτωση των αρχών της περιβαλλοντικής δικαιοσύνης στην ΤΝ για την Περιβαλλοντική Ανάπτυξη διασφαλίζει ότι η επιδίωξη της βιωσιμότητας δεν θα έχει κόστος την ισότητα.

Συμπερασματικά, ενώ η ΤΝ έχει τεράστιες δυνατότητες για την κλιμάκωση κυκλικών μοντέλων, η ανάπτυξή της πρέπει να καθοδηγείται από ηθικές διασφαλίσεις. Πλαίσια όπως ο Νόμος της ΕΕ για την ΤΝ παρέχουν ένα σημείο εκκίνησης, αλλά ο συνεχής διάλογος μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, των τεχνολόγων και της κοινωνίας των πολιτών θα είναι απαραίτητος για να διασφαλιστεί ότι η κυκλική νοημοσύνη δεν είναι μόνο έξυπνη, αλλά και δίκαιη, χωρίς αποκλεισμούς και υπεύθυνη.

Πηγές

- Abbas, S., & Mustafa, M. (2024). Η αξιοποίηση των αποβλήτων συναντά την TN: Ανάπτυξη MME και ανισότητα. Έγγραφο Εργασίας, ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/390629994>
- Abedsoltan, R., Jafari, R., Rastegar, M., & Brar, S. K. (2025). Μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση της ενζυματικής υδρόλυσης για πλαστικό PET χρησιμοποιώντας μηχανική μάθηση. SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5223492
- Almashaleh, I., Wicaksono, H., & Valilai, O. F. (2025). Ένα πλαίσιο για την ανάλυση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης στην κυκλικότητα των κλωστοϋφαντουργικών επιχειρήσεων για αποτελεσματικό ψηφιακό μάρκετινγκ. Έξυπνες πόλεις και κοινωνία, 1(1).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853125000794>
- Ashraf, M., & Mustafa, M. (2024). Επαναπροσδιορισμός της συμμόρφωσης μέσω της TN σε συστήματα μετατροπής αποβλήτων σε αξία. Έγγραφο εργασίας, ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/390630356>
- Aslam, M., & Mustafa, M. (2024). Από τη σπατάλη στον πλούτο: Στρατηγικές TN και FinTech για δίκαιη ανάπτυξη των MME. Έγγραφο Εργασίας, ResearchGate.
<https://www.researchgate.net/publication/390630431>
- Banda, M., Simukoko, M., & Kalumba, M. (2025). Χρήση μηχανικής μάθησης για τη χαρτογράφηση των αποδόσεων υδρόβιων ζιζανίων για την παραγωγή βιοκάρβουνου: Μελέτη περίπτωσης στους υδροτόπους Bangweulu, Ζάμπια. Advances in Environmental and Energy Research, 6(2), 020. <https://www.lidsen.com/journals/aeer/aeer-06-02-020>
- Faghih, M., Shokri, A., & Ramezani, M. (2024). Ταξινόμηση κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων με TN για βιώσιμη ανακύκλωση: Μια προσέγγιση βαθιάς μάθησης. Sustainability, 17(10), 4264.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/10/4264>
- Ghanavati-Nejad, M., Jolai, F., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2025). Επιλογή προμηθευτών για ανθεκτικές-ευέλικτες κυκλικές αλυσίδες εφοδιασμού χρησιμοποιώντας στοχαστικά μοντέλα που βασίζονται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Soft Computing.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-025-10578-z>
- Kravchenko, J., Bockel, L., & Li, Y. (2025). Πρόβλεψη ιδιοτήτων βιοκάρβουνου από απορρίμματα τροφίμων χρησιμοποιώντας παλινδρόμηση διανύσματος υποστήριξης. Διαχείριση Αποβλήτων & Έρευνα.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343725014873>

Meena, P. L., Ghadge, A., & Kumar, V. (2025). Μια τριπλή προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση της κυκλικής αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση TN. *Annals of Operations Research*.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-025-06510-1>

Ojadi, F., Eze, S. C., & Adeleke, I. (2024). Βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και των αποβλήτων σε έξυπνες πόλεις μέσω TN. Έγγραφο εργασίας, ResearchGate.

<https://www.researchgate.net/publication/390695591>

Pitakaso, R., Jittamai, W., & Chaitiamwong, N. (2025). Ανάπτυξη βιο-κυκλικής πράσινης οικονομίας στη γεωργία με χρήση ενισχυτικής μάθησης. Υπολογιστές και Ηλεκτρονικά στη Γεωργία.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816992500537X>

Telesca, L. (2025). Ένα συστημικό μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης για βιομηχανική κυκλική οικονομία σε ειδικές οικονομικές ζώνες. Διδακτορική Διατριβή του Πανεπιστημίου της Βασιλικάτα.

<https://iris.unibas.it/bitstream/11563/196975/1/tesi%20dottorato%20di%20ricerca%20Lo%20VECCHIO%20con%20firme.pdf>

Wang, L., Xu, Y., & Zhang, T. (2025). Εξηγήσιμη μηχανική μάθηση για την αξιολόγηση της κυκλικής απόδοσης άνθρακα σε πιλοτικές πόλεις. Περιβαλλοντική Ανάπτυξη.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095525001233>

5. Αποτελέσματα Έρευνας σχετικά με τις Κυκλικές Προσεγγίσεις στα Προγράμματα Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Αυτή η αξιολόγηση βασίζεται σε μια έρευνα που διεξήχθη στα τέσσερα δημόσια γυμνάσια της κοινοπραξίας του έργου με έναν εκπρόσωπο από κάθε σχολείο: 5ο Γενικό Λύκειο Λάρισας (FGLL, Ελλάδα), Γυμνάσιο Fritz-Greve (FGGM, Γερμανία), Zespól Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Józefa Piłsudskiego (ZAI, Πολωνία) και Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Τουρκία). Διεξήχθη για να συλλεχθούν πληροφορίες σχετικά με τα προγράμματα σπουδών, τις υπάρχουσες πρακτικές και τις ανάγκες σχετικά με τις προσεγγίσεις της ΚΟ. Ενώ όλα τα συμμετέχοντα σχολεία αναφέρουν κάποια συμπερίληψη θεμάτων ΚΟ στα εθνικά ή περιφερειακά τους προγράμματα σπουδών, το βάθος και το εύρος αυτής της συμπερίληψης ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των χωρών.

Όλα τα σχολεία δήλωσαν ότι το εθνικό/περιφερειακό πρόγραμμα σπουδών τους περιλαμβάνει συγκεκριμένα θέματα ΚΟ, με τον περιορισμό ότι στην Πολωνία μόνο ένα μικρό μέρος ορισμένων μαθημάτων είναι αφιερωμένο στην ΚΟ.

Και τα τέσσερα σχολεία αναγνωρίζουν ότι τα θέματα που σχετίζονται με την ΚΟ αποτελούν μέρος του επίσημου προγράμματος σπουδών, και ενσωματώνονται κυρίως σε μαθήματα που σχετίζονται με τις θετικές επιστήμες (π.χ. Βιολογία, Χημεία, Φυσική) και τις ανθρωπιστικές επιστήμες (π.χ. Ιστορία, Κοινωνικές Επιστήμες, Οικονομικά). Στην Τουρκία και την Πολωνία, το πεδίο εφαρμογής είναι ευρύτερο, επεκτείνοντας στην Πληροφορική και στις γλώσσες τόσο στα σχολεία όσο και στις τέχνες στην Τουρκία. Ωστόσο, η Γερμανία δίνει έμφαση περισσότερο στη βιωσιμότητα γενικά παρά στη ΚΟ ρητά.

Υπάρχει μια εξάρτηση από την ενσωμάτωση θεμάτων ΚΟ σε υπάρχοντα μαθήματα, κάτι που είναι κοινό στην Ελλάδα, την Πολωνία και τη Γερμανία. Η Τουρκία ξεχωρίζει για την έμφαση που δίνει στη μάθηση μέσω projects και στη χρήση τεχνολογίας και ψηφιακών εργαλείων. Στην Πολωνία, η μάθηση αυτή περιλαμβάνεται επιπλέον εξωσχολικές δραστηριότητες και συνεργασίες με εξωτερικούς οργανισμούς, ενώ το γερμανικό σχολείο εφαρμόζει επιπρόσθετα τη μάθηση μέσω projects.

Όλα τα σχολεία καλύπτουν τα βασικά θέματα της ΚΟ στο πρόγραμμα σπουδών τους, με την Πολωνία να ασχολείται με το πιο ολοκληρωμένο σύνολο. Η κλιματική αλλαγή ενσωματώνεται σε όλα τα σχολεία, η βιοποικιλότητα στην Ελλάδα, την Πολωνία και τη Γερμανία, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η βιώσιμη κατανάλωση στην Τουρκία, την Πολωνία και τη Γερμανία και η διαχείριση και ανακύκλωση αποβλήτων στην Ελλάδα, την Τουρκία και την Πολωνία. Η Πολωνία και η Γερμανία περιλαμβάνουν επιπλέον την εξοικονόμηση νερού και την κοινωνική δικαιοσύνη και ισότητα. Η περιβαλλοντική ηθική αποτελεί μόνο μέρος του ελληνικού προγράμματος σπουδών.

Η Γερμανία αναφέρει και πάλι μια λιγότερο σαφή εστίαση, σημειώνοντας ότι θέματα όπως η παραγωγή ενέργειας μπορούν να διδαχθούν χωρίς να διδάσκεται η ανανεώσιμη ενέργεια αυτή καθαυτή. Αυτή η διακύμανση υποδηλώνει ότι ενώ υπάρχουν θέματα ΚΟ, η ορολογία και το πεδίο εφαρμογής μπορεί να διαφέρουν, οδηγώντας ενδεχομένως σε ασυνέπειες στην κατανόηση των μαθητών.

Μόνο η Τουρκία αναφέρει ρητά τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης ως μέρος του προγράμματος σπουδών. Η Πολωνία και η Γερμανία αναφέρουν μερική αναφορά, ενώ η Ελλάδα δεν δηλώνει καμία. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης παρέχουν ένα παγκοσμίως αναγνωρισμένο πλαίσιο που ευθυγραμμίζεται καλά με την εκπαίδευση στην Αειφόρο Ανάπτυξη και θα μπορούσε να συμβάλει σε μια πιο συνεκτική εκπαιδευτική στρατηγική.

Όλα τα σχολεία δήλωσαν ότι δεν χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα πλαίσια ή κατευθυντήριες γραμμές για την ανάλυση του προγράμματος σπουδών (π.χ. Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη της UNESCO, τοπικά πλαίσια) και ότι οι μαθητές, αλλά όχι οι γονείς, συμμετέχουν στην εκπαίδευση για την ΚΟ στο σχολείο τους.

Πέρα από το πρόγραμμα σπουδών, τα σχολεία ρωτήθηκαν σχετικά με την ένταξη των αρχών της ΚΟ στις διδακτικές τους πρακτικές. Η Ελλάδα τις εμπλέκει ως μέρος του προγράμματος σπουδών και σε περιβαλλοντικά προγράμματα, ενώ η Τουρκία δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση της μάθησης μέσω έργων στην ΚΟ στις δραστηριότητες εντός της τάξης. Το πολωνικό σχολείο εμπλέκει τους μαθητές σε εξωσχολικές δραστηριότητες που πραγματοποιούνται από εκπαιδευτικούς και μέσω της συμμετοχής σε δραστηριότητες με εξωτερικούς οργανισμούς ή τοπικές κοινότητες. Στη Γερμανία, εφαρμόζεται επίσης σε τακτικά μαθήματα ή με την έναρξη ειδικών έργων.

Η Πολωνία είναι το μόνο σχολείο με ενεργές συνεργασίες με εξωτερικούς οργανισμούς για την προώθηση της εκπαίδευσης στην ΚΟ. Όλα τα άλλα σχολεία δεν αναφέρουν τέτοιες συνεργασίες, γεγονός που αποτελεί σημαντικό τομέα για πιθανές βελτιώσεις στις πρακτικές ευκαιρίες μάθησης στον «πραγματικό κόσμο». Από πρακτικής άποψης, όλα τα σχολεία διοργανώνουν εκδηλώσεις με θέμα τη βιωσιμότητα (π.χ. Ημέρα της Γης, Οικολογική Έκθεση) και τα περισσότερα σχολεία εφαρμόζουν πρόσθετα προγράμματα ανακύκλωσης (Ελλάδα, Πολωνία, Γερμανία). Επιπλέον, η Τουρκία και η Πολωνία προσφέρουν έργα φύτευσης δέντρων ή κηπουρικής, ενώ η Τουρκία διοργανώνει επίσης έργα κομποστοποίησης και η Πολωνία, επιπλέον, εκστρατείες καθαρισμού.

Το επίπεδο εμπλοκής των μαθητών στο σχεδιασμό ή την υλοποίηση έργων ΚΟ ποικίλλει επίσης: η Πολωνία αναφέρει ενεργή συμμετοχή, η Τουρκία και η Γερμανία μερική, και η Ελλάδα καμία. Αυτό αντανακλά τις διαφορετικές σχολικές κουλτούρες και τους διαθέσιμους πόρους για πρωτοβουλίες με επικεφαλής τους μαθητές. Επιπλέον, τα περισσότερα σχολεία δεν παρακολουθούν τον αντίκτυπο αυτών των πρακτικών δραστηριοτήτων, με μόνο την Πολωνία να αξιολογεί τα αποτελέσματα των εξωσχολικών δραστηριοτήτων.

Κανένα σχολείο δεν προσφέρει επίσημη κατάρτιση εκπαιδευτικών στην ΚΟ και γενικά οι πόροι είναι ελλιπείς. Οι εκπαιδευτικοί βασίζονται σε έντυπο υλικό (Ελλάδα, Γερμανία, Τουρκία), εργαστήρια, ψηφιακούς πόρους και εργαλεία (Τουρκία) ή περιεχόμενο που προέρχεται από ίδιους πόρους (Πολωνία). Το τουρκικό σχολείο είναι συγκριτικά καλύτερα εξοπλισμένο από τα άλλα, ενώ η Πολωνία υπογραμμίζει την ανάγκη για έναν κεντρικό κόμβο γνώσης για το υλικό ΚΟ.

Τα πιο συχνά αναφερόμενα εμπόδια στην εφαρμογή της εκπαίδευσης στην ΚΟ περιλαμβάνουν:

- ✦ Έλλειψη πόρων όπως διδακτικό υλικό και χρηματοδότηση (όλα τα σχολεία)
- ✦ Περιορισμένη ευελιξία προγράμματος σπουδών (όλα τα σχολεία)
- ✦ Ανεπαρκής κατάρτιση εκπαιδευτικών (Ελλάδα, Πολωνία, Γερμανία)
- ✦ Ανεπαρκείς δεξιότητες από τους εκπαιδευτικούς (Τουρκία)
- ✦ Γραφειοκρατική υπερφόρτωση (ιδιαίτερα παρατηρείται στη Γερμανία)
- ✦ Έλλειψη θεσμικής υποστήριξης και πλαισίων εκπαιδευτικής πολιτικής (ειδικά στην Τουρκία και την Πολωνία)
- ✦ Έλλειψη ενδιαφέροντος από τους μαθητές (Τουρκία)
- ✦ Περιορισμένος χρόνος που μπορούν να αφιερώσουν οι εκπαιδευτικοί στην ΚΟ, καθώς πρέπει να προετοιμαστούν εθελοντικά (ειδικά στη Γερμανία και την Πολωνία)

Αυτές οι προκλήσεις αντικατοπτρίζουν ευρύτερα συστημικά ζητήματα των αντίστοιχων εκπαιδευτικών πολιτικών, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν ευκαιρίες για αλλαγή σε επίπεδο σχολείου.

Η Πολωνία και η Γερμανία αναφέρουν τα πιο ανεπτυγμένα έργα που σχετίζονται με την ΚΟ. Η Πολωνία απαριθμεί πρωτοβουλίες όπως η «Πράσινη Τάξη», οι «Συζητήσεις της Οξφόρδης», έργα για τα ηλεκτρικά απόβλητα, η «Τάξη κάτω από το σύννεφο (Δενδροκομείο)», η «Ημέρα της Γης» και η «Ημέρα Καθαρισμού του κόσμου», ενώ η Γερμανία παρουσιάζει την εταιρεία επιχειρηματικών σχολείων «Freiday», η οποία παραδίδει και πουλάει τρόφιμα σε επαναχρησιμοποιήσιμα ποτήρια και ένα προγραμματισμένο μακροπρόθεσμο μαθητικό έργο που υλοποιεί έναν σχολικό κήπο για αυτήν την εταιρεία. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν και να υλοποιήσουν τις δικές τους ιδέες έργων και το νικητήριο έργο προωθείται. Το ελληνικό σχολείο έχει εφαρμόσει ένα πρόσφατο πρόγραμμα Erasmus+ με τίτλο «Let's Get Green - Αυξάνοντας την ευαισθητοποίηση για τα οικολογικά προβλήματα» και η Τουρκία δεν έχει ακόμη υλοποιήσει κανένα επιτυχημένο έργο σε αυτόν τον τομέα.

Η εμπλοκή των μαθητών, αν και ποικίλη, τείνει να είναι πιο έντονη όπου υπάρχουν εξωσχολικές ευκαιρίες και ευκαιρίες βασισμένες σε έργα. Οι Πολωνοί μαθητές συμμετέχουν ενεργά σε όλες τις δραστηριότητες που διοργανώνονται από το σχολείο και εξωτερικούς οργανισμούς και δείχνουν επίγνωση των απειλών που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή, την επαναχρησιμοποίηση υλικών, την ανακύκλωση και την εξοικονόμηση. Στη Γερμανία, οι μαθητές συμμετέχουν στα προαναφερθέντα έργα. Αντίθετα, η εμπλοκή των Ελλήνων μαθητών περιορίζεται στην ανακύκλωση, και στο τουρκικό σχολείο στις περιγραφόμενες δραστηριότητες μάθησης βασισμένες σε έργα.

Ανάγκες και συστάσεις

Για τη βελτίωση της εκπαίδευσης στη Συνεχή Εκπαίδευση, τα σχολεία εξέφρασαν σαφείς ανάγκες για:

- ✦ Μεγαλύτερη ευελιξία στο πρόγραμμα σπουδών και αφιερωμένος χρόνος για την ΚΟ, π.χ. για διεπιστημονικά σχολικά έργα ή νέα μαθήματα που σχετίζονται με την ΚΟ (ειδικά Γερμανία και Ελλάδα)
- ✦ Πρακτικοί διδακτικοί πόροι προσαρμοσμένοι στην ΚΟ (όλες οι χώρες)
- ✦ Ευκαιρίες για εκπαίδευση εκπαιδευτικών και ανταλλαγή από ομοτίμους (Πολωνία)
- ✦ Ισχυρότερη θεσμική και πολιτική υποστήριξη, συμπεριλαμβανομένης λιγότερης γραφειοκρατίας (Γερμανία)
- ✦ Συνεργασία με εξωτερικούς οργανισμούς και τη βιομηχανία (Γερμανία)

Η πρόταση του ΖΑΙ (Πολωνία) για έναν κεντρικό κόμβο γνώσης επιβεβαιώνει την ανάγκη για αυτό το έργο και είναι ιδιαίτερα πολλά υποσχόμενη, καθώς θα μπορούσε να αντιμετωπίσει ταυτόχρονα πολλές προκλήσεις - κενά πόρων, υποστήριξη εκπαιδευτικών και έλεγχο ποιότητας.

Συμπέρασμα

Τα δεδομένα της έρευνας αποκαλύπτουν μια κοινή αναγνώριση της σημασίας της εκπαίδευσης στην ΚΟ, αλλά και σημαντικές διαφορές στην εφαρμογή, το βάθος και την υποστήριξη. Η Πολωνία φαίνεται να είναι η πιο προηγμένη όσον αφορά τη συμμετοχή των μαθητών, την ποικιλία θεμάτων και την εξωτερική συνεργασία, ενώ η Τουρκία επιδεικνύει ισχυρό δυναμικό μέσω ψηφιακών υποδομών και προσεγγίσεων που βασίζονται σε έργα. Η Γερμανία και η Ελλάδα επισημαίνουν διαρθρωτικές και συστημικές προκλήσεις που περιορίζουν το βάθος της ενσωμάτωσης της ΚΟ, παρά το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών.

Για να προχωρήσουμε, χρειάζεται:

- ✦ Ευθυγράμμιση εθνικής πολιτικής με τις αρχές της ΚΟ και των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης
- ✦ Επένδυση στην κατάρτιση και το εκπαιδευτικό υλικό
- ✦ Υποστήριξη για διεπιστημονική μάθηση βασισμένη σε έργα
- ✦ Ενισχυμένη συνεργασία με εξωτερικούς φορείς

Τέτοια βήματα θα βοηθούσαν στη μετάβαση από μεμονωμένες προσπάθειες σε ένα πιο συνεκτικό και αποτελεσματικό σύστημα εκπαίδευσης στην ΚΟ σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία του έργου CircEdu, καθώς αντιμετωπίζει πολλά από αυτά τα σημεία.

6. Αποτελέσματα Έρευνας σχετικά με τις Προοπτικές, τις Εμπειρίες και τις Ανάγκες των Εκπαιδευτικών σχετικά με την Εκπαίδευση ΚΟ στα Σχολεία

Τα ακόλουθα αποτελέσματα ολοκληρώνουν την αξιολόγηση μιας έρευνας που διεξήχθη με περίπου το ήμισυ του διδακτικού προσωπικού καθενός από τα τέσσερα δημόσια σχολεία της κοινοπραξίας του έργου: 5ο Γενικό Λύκειο Λάρισας (FGLL, Ελλάδα), Γυμνάσιο Fritz-Greve (FGGM, Γερμανία), Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących h im. Józefa Piłsudskiego (ZAI, Πολωνία) και Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Τουρκία). Στόχος της έρευνας ήταν η αξιολόγηση των απόψεων, των εμπειριών και των αναγκών των εκπαιδευτικών σχετικά με την εκπαίδευση στην ΚΟ στα σχολεία. Συνολικά, απάντησαν στην έρευνα 56 εκπαιδευτικοί, συμπεριλαμβανομένων 15 εκπαιδευτικών από την Ελλάδα, 19 από την Πολωνία, 11 από τη Γερμανία και 12 από την Τουρκία.

Θεματικές Περιοχές

Στη Γερμανία, το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπαιδευτικών ειδικεύεται στις Γλώσσες (33,3%), ακολουθούμενο από τις Ανθρωπιστικές Επιστήμες (π.χ. Ιστορία, Κοινωνικές Επιστήμες, Οικονομικά) με 26,7%, τις Φυσικές Επιστήμες (π.χ. Βιολογία, Χημεία, Φυσική) με 20% και τις Τέχνες (13,3%). Η Πληροφορική είναι η λιγότερο εκπροσωπούμενη, με 6,7%.

Στην Ελλάδα, η πλειοψηφία των ερωτηθέντων διδάσκει Φυσικές Επιστήμες (35,7%), ακολουθούμενη από τις Ανθρωπιστικές Επιστήμες (28,6%). Οι Γλώσσες και τα Μαθηματικά αντιπροσωπεύουν το 14,3% η καθεμία, και τα Αρχαία Ελληνικά και τα Λατινικά το 7,1%. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Τέχνες και η Πληροφορική δεν εκπροσωπούνται.

Η Πολωνία παρουσιάζει μια πιο διαφοροποιημένη κατανομή. Οι Φυσικές Επιστήμες, οι Ανθρωπιστικές Επιστήμες και οι Γλώσσες εκπροσωπούνται εξίσου με 18,2% η καθεμία. Πρόσθετοι τομείς περιλαμβάνουν εκπαιδευτικά μαθήματα, εκπαίδευση στην οικογενειακή ζωή, υποστήριξη φοιτητών, φιλοξενία, πληροφορική, μαθηματικά, φυσικές επιστήμες, γαστρονομία, επαγγελματική εκπαίδευση, συμβουλευτική σταδιοδρομίας και φυσική αγωγή, με ποσοστό 4,5% η καθεμία.

Στην Τουρκία, το πιο εκπροσωπούμενο μάθημα είναι η Πληροφορική (33,3%), ακολουθούμενη από τις Φυσικές Επιστήμες (26,7%), τις Γλώσσες (20%), τις Τέχνες (13,3%) και τις Ανθρωπιστικές Επιστήμες (6,7%).

Χρόνια Διδακτικής Εμπειρίας

Όσον αφορά την εμπειρία, η Ελλάδα, η Πολωνία και η Τουρκία εμφανίζουν μια ισχυρή πλειοψηφία εκπαιδευτικών με υψηλή εμπειρία. Στην Ελλάδα, το 92,9% των εκπαιδευτικών διδάσκουν για περισσότερα από 10 χρόνια, με μια μικρή μειοψηφία (7,1%) να έχει λιγότερο από 2 χρόνια εμπειρίας. Η Πολωνία παρουσιάζει παρόμοια τάση, με το 84,2% να έχει πάνω από 10 χρόνια εμπειρίας και το 15,8% να κυμαίνεται από 2 έως 5 χρόνια.

Η Τουρκία επίσης ευθυγραμμίζεται με αυτό το μοτίβο, όπου το 83,3% έχει περισσότερα από 10 χρόνια εμπειρίας και το 16,7% εμπίπτει στην κατηγορία των 6-10 ετών. Η Γερμανία, από την άλλη πλευρά, παρουσιάζει μια πιο ισορροπημένη κατανομή. Ενώ το 45,5% των ερωτηθέντων έχει πάνω από 10 χρόνια εμπειρίας, ένα σημαντικό ποσοστό (27,3%) διδάσκει για 2-5 χρόνια και το 18,2% για 6-10 χρόνια. Επιπλέον, το 9,1% είναι σχετικά νέοι στο επάγγελμα με λιγότερο από 2 χρόνια εμπειρίας.

Εκπαίδευση στην Κυκλική Οικονομία

Η εκπαίδευση σε έννοιες ΚΟ παραμένει περιορισμένη στις χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα. Οι εκπαιδευτικοί στη Γερμανία, την Ελλάδα και την Τουρκία αναφέρουν ότι δεν υπάρχει επίσημη εκπαίδευση σε αυτόν τον τομέα, υπογραμμίζοντας την έλλειψη θεσμικής έμφασης στο θέμα. Η Πολωνία ξεχωρίζει, με το 31,6% των ερωτηθέντων να δηλώνει ότι έχει λάβει κάποια μορφή εκπαίδευσης. Ωστόσο, ακόμη και στην Πολωνία, η εν λόγω εκπαίδευση δεν είναι ακόμη ευρέως διαδεδομένη. Αυτό υποδηλώνει μια συστηματική ανάγκη για ευκαιρίες επαγγελματικής ανάπτυξης προσαρμοσμένες στην εκπαίδευση για τη βιωσιμότητα.

Κατανόηση της Κυκλικής Οικονομίας από τους Εκπαιδευτικούς

Οι εκπαιδευτικοί γενικά επιδεικνύουν βασική κατανόηση της ΚΟ, ενώ το βάθος και το εύρος της ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό.

Οι Πολωνοί εκπαιδευτικοί παρείχαν τους πιο ολοκληρωμένους ορισμούς, συχνά αναφερόμενοι στη βιωσιμότητα, την περιβαλλοντική ευθύνη και τους κύκλους ζωής των προϊόντων. Συνολικά, υπήρχε ισχυρή κατανόηση των βασικών αρχών της ΚΟ: επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, μείωση των αποβλήτων, βιωσιμότητα, επέκταση του κύκλου ζωής. Κάποιοι τόνισαν τον εκπαιδευτικό αντίκτυπο: ευαισθητοποίηση, αξίες και αλλαγή συμπεριφοράς. Άλλοι αναγνώρισαν τον ρόλο του προγράμματος σπουδών και της επαγγελματικής εκπαίδευσης (π.χ., υπηρεσίες εστίασης, φιλοξενία). Ορισμένες απαντήσεις συνδέουν την ΚΟ με τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις (π.χ., κλιματική αλλαγή).

Οι γερμανικές απαντήσεις επικεντρώθηκαν περισσότερο στις οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις: Οι ορισμοί δίνουν έμφαση στη συστημική σκέψη, που περιλαμβάνει την κοινωνία, την οικονομία, τους θεσμούς και τους κύκλους των πόρων. Δίνεται έμφαση στις διαδικασίες κλειστού βρόχου, με κάποιο ενδιαφέρον για τον τρόπο εφαρμογής της ΚΟ στο ίδιο το σχολείο. Παρέχουν μια αναλυτική οπτική γωνία σχετικά με την αποδοτικότητα των πόρων και τη βιωσιμότητα ως συστημικό ζήτημα.

Οι εκπαιδευτικοί στην Τουρκία έδωσαν έμφαση σε πρακτικές εφαρμογές όπως η επαναχρησιμοποίηση και η βιωσιμότητα στην εκπαίδευση: Οι ορισμοί κυμαίνονται από τη βασική επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωση έως τις εις βάθος παιδαγωγικές γνώσεις. Αξιοσημείωτες συνεισφορές περιλαμβάνουν μια προηγμένη απάντηση που συνδέει την ΚΟ με ένα μαθησιακό οικοσύστημα (ψηφιακή βιωσιμότητα, μάθηση βασισμένη σε έργα). Κάποιες δίνουν έμφαση στην ευαισθητοποίηση σχετικά με τους πόρους, τη βιωσιμότητα και την ένταξη στο πρόγραμμα σπουδών. Άλλες απαντήσεις αναγνωρίζουν την περιορισμένη εξοικείωση με την έννοια.

Στην Ελλάδα, οι απαντήσεις έδειξαν ισχυρή συσχέτιση της ΚΟ με την ανακύκλωση και τη διαχείριση αποβλήτων. Αρκετές απαντήσεις αναφέρουν πρακτικές δραστηριότητες και εκπαίδευση στην τάξη. Κάποιες δίνουν έμφαση στην αλλαγή συμπεριφοράς μέσω της πρακτικής εκπαίδευσης ή αναφέρουν τα οικολογικά σχολεία, την εκπαίδευση εκπαιδευτικών και την προσαρμογή του προγράμματος σπουδών.

Ενσωμάτωση της ΚΟ στη Διδασκαλία

Η ενσωμάτωση θεμάτων ΚΟ στο πρόγραμμα σπουδών ποικίλλει σημαντικά. Στη Γερμανία, οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί ενσωματώνουν την ΚΟ σε υπάρχοντα μαθήματα, με το 36,4% των ερωτηθέντων να υποδεικνύει αυτήν την προσέγγιση. Η μάθηση μέσω έργων και η συνεργασία με εξωτερικούς οργανισμούς χρησιμοποιούνται από το 18,2% των ερωτηθέντων, αν και δεν είναι ευρέως διαδεδομένες. Το 27,3% των εκπαιδευτικών ανέφερε ότι δεν ασχολείται καθόλου με την ΚΟ στη διδασκαλία τους, και το 9% πρόσθεσε ότι η κυκλική οικονομία αναφέρεται ελάχιστα στις τάξεις του ανώτερου γυμνασίου (11η και 12η).

Στο ελληνικό σχολείο, η πλειοψηφία των ερωτηθέντων (44,4%) ενσωματώνει την ΚΟ σε υπάρχοντα μαθήματα αντί να τη διδάσκει ως αυτόνομο θέμα. Η μάθηση μέσω έργων και οι εξωσχολικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται από το 16,7% των εκπαιδευτικών, όπως και η συνεργασία με εξωτερικούς οργανισμούς. Ωστόσο, το 26,7% των Ελλήνων εκπαιδευτικών δεν ασχολείται καθόλου με την ΚΟ, γεγονός που υποδηλώνει αισθητά κενά στην κάλυψη.

Η μεγαλύτερη συμμετοχή στο πολωνικό σχολείο προέρχεται από μαθήματα αφιερωμένα στην ΚΟ, τα οποία αναφέρθηκαν από το 36,8% των ερωτηθέντων, και από την ενσωμάτωση σε υπάρχοντα μαθήματα, τα οποία αναφέρθηκαν από το 57,9%. Η συνεργασία με εξωτερικούς οργανισμούς χρησιμοποιείται από το 21,1% των εκπαιδευτικών, ενώ η μάθηση μέσω έργων και οι εξωσχολικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά. Μόνο το 5,3% των Πολωνών εκπαιδευτικών ανέφεραν ότι δεν καλύπτουν την ΚΟ, γεγονός που υποδηλώνει μια σχετικά δομημένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση.

Στην Τουρκία, η ΚΟ εισάγεται κυρίως μέσω της μάθησης μέσω έργων, η οποία χρησιμοποιείται από το 75% των ερωτηθέντων, και εξωσχολικών δραστηριοτήτων, όπως αναφέρθηκε από το 33,3%. Ένα μικρότερο ποσοστό (8,3%) υποδεικνύει την ενσωμάτωση της ΚΟ σε υπάρχοντα μαθήματα και το 16,7% αναφέρει ότι προσφέρει ειδικά μαθήματα. Το 8,3% τόνισε τη χρήση καλλιτεχνικών έργων με ανακυκλώσιμα υλικά ως δημιουργική μέθοδο για την ενασχόληση με τη βιωσιμότητα. Παρά τις προσπάθειες αυτές, το 16,7% των Τούρκων εκπαιδευτικών δήλωσαν ότι η ΚΟ δεν αντιμετωπίζεται στη διδασκαλία τους.

Η Γερμανία και η Ελλάδα ενσωματώνουν σε μεγάλο βαθμό την ΚΟ σε υπάρχοντα μαθήματα, αλλά δεν αποτελούν πρωταρχικό στόχο. Η Πολωνία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συμμετοχή σε δομημένα, εξειδικευμένα μαθήματα, ενώ η Τουρκία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη μάθηση μέσω έργων.

Οι εξωσχολικές δραστηριότητες και οι εξωτερικές συνεργασίες είναι περιορισμένες σε όλες τις χώρες, γεγονός που υποδηλώνει ένα πιθανό πεδίο επέκτασης.

Κάλυψη Θεμάτων ΚΟ στην Τάξη

Το διδακτικό περιεχόμενο της ΚΟ επικεντρώνεται κυρίως στη μείωση των αποβλήτων, την ανακύκλωση και τη βιώσιμη κατανάλωση:

Στο γερμανικό σχολείο, οι πτυχές της ΚΟ που αναφέρονται συχνότερα στην εκπαίδευση είναι η βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή, η οποία καλύπτεται από το 72,7% των ερωτηθέντων, και η μείωση και ανακύκλωση των αποβλήτων, η οποία αναφέρεται από το 63,6%. Οι στρατηγικές επισκευής και επαναχρησιμοποίησης αναφέρθηκαν στο 36,4% των απαντήσεων, ενώ ο κύκλος ζωής του προϊόντος και η αποδοτικότητα των πόρων εμφανίστηκαν μόλις στο 9,1%. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 18,2% των εκπαιδευτικών δεν κάλυψαν καθόλου θέματα ΚΟ.

Στην Ελλάδα, το σχολείο έχει το υψηλότερο ποσοστό εκπαιδευτικών που δεν ασχολούνται με τις έννοιες της ΚΟ, με το 33,3% να δηλώνει ότι δεν υπάρχει καμία κάλυψη. Η μείωση των αποβλήτων και η ανακύκλωση ήταν τα στοιχεία που συζητήθηκαν πιο συχνά, με ποσοστό 40% των απαντήσεων, ακολουθούμενα από τη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή, που αναφέρθηκαν από το 20%. Ο κύκλος ζωής του προϊόντος και η αποδοτικότητα των πόρων εντοπίστηκαν στο 13,3% των απαντήσεων.

Οι Πολωνοί εκπαιδευτικοί επιδεικνύουν ευρεία ενασχόληση με θέματα ΚΟ. Η μείωση των αποβλήτων και η ανακύκλωση αναφέρθηκαν από το 73,7% των εκπαιδευτικών, ενώ η βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή εμφανίστηκαν στο 52,6% των απαντήσεων. Ο κύκλος ζωής του προϊόντος και η αποδοτικότητα των πόρων αναφέρθηκαν στο 47,4%, ενώ οι στρατηγικές επισκευής και επαναχρησιμοποίησης σημειώθηκαν από το 42,1% των συμμετεχόντων. Επιπλέον, η οικονομία διαμοιρασμού και οι σχετικές έννοιες επισημάνθηκαν στο 26,3% των απαντήσεων. Το 15,8% των ερωτηθέντων δήλωσαν ότι δεν καλύπτουν την ΚΟ στη διδασκαλία τους.

Στην Τουρκία, όλοι οι ερωτηθέντες ασχολήθηκαν με τουλάχιστον μία πτυχή της ΚΟ. Η μείωση και η ανακύκλωση των αποβλήτων ενσωματώθηκαν από όλους τους συμμετέχοντες, ενώ το 66,7% περιελάμβανε τη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή. Ο κύκλος ζωής του προϊόντος και η αποδοτικότητα των πόρων αναφέρθηκαν από το 50% των ερωτηθέντων, και οι στρατηγικές επισκευής και επαναχρησιμοποίησης από το 41,7%. Η οικονομία διαμοιρασμού αναφέρθηκε από το 8,3%, και μοναδικά μεταξύ των τεσσάρων χωρών, η Τουρκία συμπεριέλαβε την ΚΟ στο πλαίσιο του αστικού σχεδιασμού και των κοινοτήτων, όπως αναφέρθηκε από το 8,3% των εκπαιδευτικών.

Αυτή η ανάλυση δείχνει ποικίλα επίπεδα ενσωμάτωσης θεμάτων ΚΟ στην εκπαίδευση και στις τέσσερις χώρες, με την Πολωνία και την Τουρκία να επιδεικνύουν την πιο ολοκληρωμένη και συνεπή συμμετοχή.

Μέθοδοι Διδασκαλίας ΚΟ

Οι μέθοδοι διδασκαλίας που χρησιμοποιούνται για την εξήγηση των εννοιών της ΚΟ ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των τεσσάρων χωρών. Οι παραδοσιακές διαλέξεις παραμένουν η κυρίαρχη μέθοδος, αν και οι πρακτικές δραστηριότητες και τα πειράματα κερδίζουν έδαφος σε όλες τις χώρες, με την Ελλάδα να έρχεται τελευταία. Η Τουρκία ξεχωρίζει για την υψηλότερη χρήση ψηφιακών εργαλείων και έργων με επικεφαλής φοιτητές. Ωστόσο, η χρήση παιχνιδοποιημένης μάθησης και ψηφιακών προσομοιώσεων είναι γενικά χαμηλή σε όλους τους τομείς.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι, όπως οι διαλέξεις και τα θεωρητικά μαθήματα, αποτελούν την πιο κοινή προσέγγιση συνολικά. Χρησιμοποιούνται περισσότερο στην Πολωνία, όπου το 73,7% των ερωτηθέντων ανέφερε ότι βασίζεται σε αυτήν τη μέθοδο. Ακολουθεί η Ελλάδα με 60%, η Τουρκία με 50% και η Γερμανία με 54,5%. Ενώ αυτό υποδηλώνει μια σταθερή θεωρητική βάση, υποδηλώνει επίσης την ανάγκη για πιο ποικίλες διδακτικές προσεγγίσεις.

Οι πρακτικές δραστηριότητες και τα πειράματα δείχνουν ισχυρή χρήση στην Τουρκία (58,3%), τη Γερμανία (54,5%) και την Πολωνία (31,6%). Είναι ενδιαφέρον ότι η Ελλάδα δεν αναφέρει ρητά τη χρήση αυτής της μεθόδου, υπογραμμίζοντας ένα πιθανό κενό στη βιωματική μάθηση.

Οι εκπαιδευτικές εκδρομές και οι επιτόπιες επισκέψεις χρησιμοποιούνται συχνότερα στην Πολωνία, με το 42,1% των ερωτηθέντων να τις ενσωματώνουν στη διδασκαλία τους. Αντίθετα, αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένες στην Ελλάδα (20%), την Τουρκία (8,3%) και τη Γερμανία (9,1%), γεγονός που υποδηλώνει ότι η εμπλοκή στον πραγματικό κόσμο εξακολουθεί να είναι περιορισμένη σε πολλά πλαίσια.

Οι ψηφιακές και παιχνιδοποιημένες προσεγγίσεις μάθησης παραμένουν γενικά υποαξιοποιημένες. Τα σοβαρά παιχνίδια χρησιμοποιούνται από το 15,8% των Πολωνών εκπαιδευτικών και το 18,2% των Γερμανών εκπαιδευτικών, ενώ καμία απάντηση από την Τουρκία ή την Ελλάδα δεν ανέφερε αυτή τη μέθοδο. Η χρήση ψηφιακών εργαλείων και διαδραστικών προσομοιώσεων είναι υψηλότερη στην Τουρκία με 41,7%, ακολουθούμενη από την Πολωνία με 31,6%, και πολύ περιορισμένη στη Γερμανία (9,1%) και την Ελλάδα (6,7%). Η Τουρκία παρουσιάζει την ισχυρότερη ενσωμάτωση των ψηφιακών εκπαιδευτικών τεχνολογιών μεταξύ των τεσσάρων χωρών.

Η συνεργατική μάθηση και η μάθηση με επικεφαλής τους φοιτητές εφαρμόζονται επίσης άσπαστα. Οι προσκεκλημένοι ομιλητές και οι συνεργασίες είναι σχετικά σπάνιες, με μόνο το 9,1% των Γερμανών, το 15,8% των Πολωνών και το 8,3% των Τούρκων ερωτηθέντων να τους αναφέρουν. Η Ελλάδα δεν ανέφερε καμία χρήση προσκεκλημένων ομιλητών. Ωστόσο, η Τουρκία ξεχωρίζει στη χρήση έργων με επικεφαλής τους φοιτητές, με το 50% των ερωτηθέντων να δηλώνει ότι χρησιμοποιεί αυτήν την προσέγγιση. Συγκριτικά, η Πολωνία και η Ελλάδα ανέφεραν 10,5% και 13,3% αντίστοιχα η καθεμία, και η Γερμανία ανέφερε μη χρήση έργων με επικεφαλής τους φοιτητές.

Συνολικά, η Πολωνία επιδεικνύει την ευρύτερη ποικιλία διδακτικών προσεγγίσεων, συνδυάζοντας την παραδοσιακή διδασκαλία με εκδρομές, πρακτικές δραστηριότητες και κάποια χρήση ψηφιακών και παιχνιδοποιημένων μεθόδων. Η Τουρκία και η Γερμανία επιδεικνύουν επίσης μια διαφοροποιημένη προσέγγιση, με αξιοσημείωτη χρήση διαδραστικών εργαλείων. Αντίθετα, η Ελλάδα φαίνεται να έχει το πιο περιορισμένο σύνολο διδακτικών στρατηγικών, με το 26,7% των ερωτηθέντων να δηλώνουν ότι δεν χρησιμοποιούν καθόλου μεθόδους διδασκαλίας ΚΟ. Η Πολωνία ανέφερε επίσης ότι το 15,8% δεν χρησιμοποιεί καμία συγκεκριμένη μέθοδο, ενώ η Γερμανία είχε το 18,2% των εκπαιδευτικών στην ίδια κατηγορία. Αυτές οι διαφορές υπογραμμίζουν τους ποικίλους βαθμούς εμπλοκής και καινοτομίας στην εκπαίδευση στην κυκλική οικονομία στις συμμετέχουσες χώρες.

Πρόσβαση σε Διδακτικό Υλικό για την Κυκλική Οικονομία

Η πρόσβαση σε συγκεκριμένο εκπαιδευτικό υλικό ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των χωρών. Στη Γερμανία, μόνο το 18,2% των εκπαιδευτικών ανέφερε ότι διαθέτει οποιαδήποτε μορφή τέτοιου υλικού, με το 9,1% αυτών να περιορίζεται στο βασικό περιεχόμενο των σχολικών εγχειριδίων. Ένα εντυπωσιακό ποσοστό 81,8% δήλωσε ότι δεν έχει καθόλου πρόσβαση. Η Ελλάδα παρουσιάζει το πιο κρίσιμο κενό, καθώς κανένας εκπαιδευτικός δεν ανέφερε πρόσβαση σε υλικό ΚΟ, υπογραμμίζοντας την επείγουσα ανάγκη για ανάπτυξη πόρων. Η Πολωνία ηγείται στην πρόσβαση, με το 36,9% των εκπαιδευτικών να διαθέτει υλικό και το 5,3% να αναφέρει συγκεκριμένα το ekoroportencjal.pl ως πόρο. Παρ' όλα αυτά, το 63,2% των Πολωνών εκπαιδευτικών εξακολουθεί να μην έχει πρόσβαση. Στην Τουρκία, η πρόσβαση είναι μέτρια στο 23,1%, αλλά η πλειοψηφία - 76,9% - δεν διαθέτει υλικό. Αυτές οι ανισότητες υπογραμμίζουν την ανάγκη για στοχευμένες προσπάθειες για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας και της διανομής εκπαιδευτικών πόρων για την ΚΟ σε όλη την Ευρώπη.

Βασικές Προκλήσεις στην Ενσωμάτωση της Συνεχούς Εκπαίδευσης στη Διδασκαλία

Κοινά εμπόδια στην ενσωμάτωση της εκπαίδευσης στην κυκλική οικονομία περιλαμβάνουν:

- + Η έλλειψη κατάρτισης αναφέρθηκε συχνότερα σε όλες τις χώρες: Γερμανία (25%), Ελλάδα (23,1%), Πολωνία (20,9%) και Τουρκία (23,1%). Αυτό υπογραμμίζει την ευρεία ανάγκη για περισσότερα προγράμματα ανάπτυξης εκπαιδευτικών σε θέματα ΚΟ.
- + Η ανεπάρκεια διδακτικού υλικού είναι ιδιαίτερα έντονη στη Γερμανία, όπου το 37,5% αναφέρει δυσκολία στην πρόσβαση σε διδακτικό υλικό. Η Ελλάδα (25,6%), η Πολωνία (27,9%) και η Τουρκία (20,5%) επίσης δυσκολεύονται, παρουσιάζοντας ένα διαρκές κενό στους εκπαιδευτικούς πόρους.

- + **Η περιορισμένη ευελιξία των προγραμμάτων σπουδών** αποτελεί σημαντική πρόκληση σε όλες τις χώρες, με τη Γερμανία να εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό (33,3%) ακολουθούμενη από την Ελλάδα (25,6%), την Πολωνία (20,9%) και την Τουρκία (17,9%).
- + **Η έλλειψη ενδιαφέροντος και εμπλοκής των μαθητών** αναφέρθηκε ιδιαίτερα από το τουρκικό σχολείο (15,4%). Η Ελλάδα (7,7%) και η Πολωνία (4,7%) την αναφέρουν επίσης, ενώ η Γερμανία δεν αναφέρει καθόλου αυτό το ζήτημα.
- + Η Πολωνία (7%) και η Τουρκία (10,3%) αναφέρουν κάποια έλλειψη **γονικής υποστήριξης**, ενώ η Ελλάδα (2,6%) αναφέρει ελάχιστη ανησυχία. Καμία χώρα δεν αναφέρει έλλειψη **υποστήριξης από τη σχολική διοίκηση**, πράγμα που σημαίνει ότι η εφαρμογή της περαιτέρω εκπαίδευσης στην ΚΟ δεν θα πρέπει να επηρεαστεί από την έλλειψη θεσμικής υποστήριξης.
- + Η Ελλάδα (15,4%), η Πολωνία (11,6%) και η Τουρκία (12,8%) επισημαίνουν την **ανεπαρκή ένταξη στις εκπαιδευτικές πολιτικές**. Η Γερμανία δεν αναφέρει αυτό ως πρόκληση, γεγονός που ενδεχομένως υποδηλώνει καλύτερη ευθυγράμμιση των πολιτικών.
- + Η Γερμανία (4,2%), η Πολωνία (7%) αναφέρουν ένα μικρό ποσοστό εκπαιδευτικών που δεν αντιμετωπίζουν κανένα πρόβλημα με την εκπαίδευση στην ΚΟ. Η Ελλάδα και η Τουρκία δεν αναφέρουν εκπαιδευτικούς που να μην αντιμετωπίζουν δυσκολίες.

Η Γερμανία αντιμετωπίζει τις μεγαλύτερες δυσκολίες με τη διαθεσιμότητα πόρων και την ευελιξία του προγράμματος σπουδών. Η Ελλάδα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανησυχία για τα κενά πολιτικής, την υποστήριξη των γονέων και την έλλειψη ενδιαφέροντος των μαθητών. Η Πολωνία και η Τουρκία αντιμετωπίζουν πιο ποικίλες προκλήσεις. Το μεγαλύτερο παγκόσμιο πρόβλημα σε όλες τις χώρες είναι η έλλειψη κατάρτισης και το ανεπαρκές διδακτικό υλικό.

Επιθυμητή Υποστήριξη για την Αποτελεσματικότερη Διδασκαλία της ΚΟ

Πολλοί εκπαιδευτικοί ζήτησαν πρόσβαση σε καλύτερο διδακτικό υλικό, γεγονός που το καθιστά κορυφαία προτεραιότητα σε όλες τις χώρες. Στη Γερμανία, αυτό επισημάνθηκε από το 90,9% των ερωτηθέντων, που αποτελεί τη μεγαλύτερη συνολική ζήτηση. Ακολούθησε η Πολωνία με 89,5%, ενώ το 60% των εκπαιδευτικών στην Ελλάδα και το 75% των εκπαιδευτικών στην Τουρκία το προσδιόρισαν ως βασική ανάγκη.

Τα προγράμματα κατάρτισης και τα εργαστήρια ήταν επίσης ιδιαίτερα απαιτητικά, με ιδιαίτερη έμφαση στην Ελλάδα με 93,3% και στην Πολωνία με 78,9%. Η Γερμανία (36,4%) και η Τουρκία (50%) έδειξαν επίσης ζήτηση για αυτές τις ευκαιρίες.

Η διεπιστημονική συνεργασία εκτιμάται ιδιαίτερα από τους εκπαιδευτικούς στη Γερμανία (63,6%), ακολουθούμενη από την Πολωνία (47,4%) και την Τουρκία (41,7%). Οι Έλληνες εκπαιδευτικοί (20%) εξέφρασαν επίσης ενδιαφέρον για διεπιστημονικές προσεγγίσεις, αν και σε μικρότερο βαθμό.

Η μάθηση μέσω έργων και οι πρακτικές ευκαιρίες ζητήθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τους Πολωνούς (68,4%) και τους Τούρκους (66,7%) ερωτηθέντες. Η Γερμανία (54,5%) και η Ελλάδα (26,7%) έδειξαν επίσης ενδιαφέρον για πιο πρακτικές και εφαρμοσμένες μορφές μάθησης.

Η υποστήριξη από εξωτερικούς οργανισμούς και εμπειρογνώμονες εκτιμήθηκε σε όλες τις χώρες: η Πολωνία (36,8%), η Γερμανία (45,5%), η Τουρκία (50%) και η Ελλάδα (33,3%) ανέφεραν την αξία τέτοιων συνεργασιών. Αυτό υποδηλώνει μια ευκαιρία για συνεργασίες με μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς, τη βιομηχανία και πολιτικές οργανώσεις για την ενίσχυση της εκπαίδευσης στην ΚΟ.

Οι εκπαιδευτικοί στην Πολωνία εμφάνισαν τη μεγαλύτερη ανάγκη για ισχυρότερες εκπαιδευτικές πολιτικές και θεσμική υποστήριξη (42,1%), ακολουθούμενοι από την Ελλάδα (33,3%). Η Γερμανία δεν ανέφερε καθόλου αυτή την ανάγκη και μόνο το 8,3% των εκπαιδευτικών στην Τουρκία την ανέφεραν.

Τέλος, η Πολωνία εξέφρασε επίσης τη μεγαλύτερη ανάγκη για γονική υποστήριξη (26,3%). Αυτή ήταν χαμηλότερης προτεραιότητας στην Τουρκία (16,7%), τη Γερμανία (9,1%) και την Ελλάδα (6,7%). Η ευελιξία του προγράμματος σπουδών αναφέρθηκε αποκλειστικά στη Γερμανία (9,1%).

Πρωτοβουλίες ΚΟ σε Επίπεδο Σχολείου

Όλα τα σχολεία εφαρμόζουν κάποιο είδος πρωτοβουλιών ΚΟ. Όλα τα σχολεία ανέφεραν προγράμματα ανακύκλωσης, ενώ εργαστήρια επισκευής και επαναχρησιμοποίησης υπάρχουν μόνο στην Πολωνία και την Τουρκία. Βιώσιμες σχολικές υποδομές (π.χ. συστήματα εξοικονόμησης νερού, ηλιακοί συλλέκτες) εφαρμόζονται στο γερμανικό και το πολωνικό σχολείο, αναδεικνύοντας ευκαιρίες για επενδύσεις σε οικολογικά σχέδια σχολείων στις άλλες χώρες. Διαγωνισμοί και εκδηλώσεις με θέμα την ΚΟ διοργανώνονται από τα σχολεία της Γερμανίας, της Πολωνίας και της Τουρκίας, ενώ η Ελλάδα δεν αναφέρει καμία εκδήλωση. Το τουρκικό, πολωνικό και γερμανικό σχολείο συνεργάζεται ενεργά με τοπικές επιχειρήσεις και οργανισμούς. Επιπλέον, η Ελλάδα ανέφερε την ετήσια συμμετοχή στο εθνικό περιβαλλοντικό πρόγραμμα για τα δασικά οικοσυστήματα, τη βιωσιμότητα και τη βιώσιμη διαχείριση, συμπεριλαμβανομένων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ΚΟ.

Στην Τουρκία (57,1%) και στην Ελλάδα (13,3%), αρκετοί εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι δεν υπάρχουν πρωτοβουλίες που να εφαρμόζονται αυτήν τη στιγμή στο σχολείο τους, παρά τις αναφορές των συναδέλφων τους σε έργα. Επιπλέον, σε όλες τις χώρες οι εκπαιδευτικοί έδωσαν πολύ διαφορετικές απαντήσεις σχετικά με τις πρωτοβουλίες που γνωρίζουν στο σχολείο τους. Αυτό υποδηλώνει προβλήματα επικοινωνίας και συνοχής και έλλειψη διεπιστημονικότητας.

Συμμετοχή Μαθητών

Σε όλα τα σχολεία, αναφέρθηκε η ενεργός συμμετοχή των μαθητών στο σχεδιασμό ή την υλοποίηση έργων ΚΟ. Η Γερμανία ανέφερε την μαθητική εταιρεία, όπου οι νέοι αναπτύσσουν το δικό τους βιώσιμο επιχειρηματικό έργο, την υλοποίηση δικών τους έργων που συνδέονται με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης και το έργο «Freiday», όπου οι μαθητές δημιουργούν το δικό τους βιώσιμο έργο. Στην Ελλάδα, υλοποιούνται κυρίως η ανακύκλωση και το προαναφερθέν περιβαλλοντικό έργο. Το τουρκικό σχολείο υλοποιεί έργα TÜBITAK και Teknofest και εν μέρει εμπλέκει τους μαθητές σε μελέτες που βασίζονται σε έργα, ενώ οι πρωτοβουλίες που βασίζονται στη δημιουργία προϊόντων είναι οι πιο δημοφιλείς. Στην Πολωνία, οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί αναφέρουν τη συμμετοχή των μαθητών, αλλά χωρίς περαιτέρω εξηγήσεις.

Η αξιολόγηση αυτών των ερωτήσεων επιβεβαιώνει την προαναφερθείσα υπόθεση περί έλλειψης συνέπειας και ανταλλαγής απόψεων μεταξύ των εκπαιδευτικών και επικοινωνιακών μέτρων σχετικά με τα υλοποιημένα έργα, καθώς οι απαντήσεις διέφεραν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους σε όλα τα σχολεία.

Συνολικά, η συνεπής εφαρμογή πρακτικών και ποικίλων ή ακόμη και διεπιστημονικών έργων με επικεφαλής τους μαθητές θα μπορούσε να ωφεληθεί σημαντικά τα σχολεία, διασφαλίζοντας την ενεργό ηγεσία των νέων σε λύσεις ΚΟ.

Πρακτικές Αξιολόγησης

Η αξιολόγηση των προσπαθειών ΚΟ γίνεται κυρίως μέσω μαθητικών έργων και παρουσιάσεων σε όλες τις χώρες. Η Τουρκία (66,7%), η Ελλάδα (64,3%) και η Πολωνία (58,3%) αναφέρουν τη μεγαλύτερη εξάρτηση από αυτήν τη μέθοδο. Η Γερμανία (38,5%) χρησιμοποιεί επίσης αυτήν την προσέγγιση, αλλά λιγότερο συχνά, ενώ βασίζεται περισσότερο στην ανατροφοδότηση μαθητών/προσωπικού σε σύγκριση με άλλες χώρες (30,8%). Η Ελλάδα (14,3%), η Πολωνία (20,8%) και η Τουρκία (6,7%) χρησιμοποιούν έρευνες σε μικρότερο βαθμό. Η συλλογή δεδομένων (μείωση αποβλήτων και εξοικονόμηση ενέργειας) ενσωματώνεται από τα σχολεία στην Ελλάδα (21,4%), την Πολωνία (12,5%) και την Τουρκία (20%). Η Γερμανία, από την άλλη πλευρά, δεν χρησιμοποιεί συλλογή δεδομένων.

Η Πολωνία (4,2%) και η Τουρκία (6,7%) εκπονούν εκθέσεις και δημοσιεύσεις, αν και σε χαμηλότερα επίπεδα, ενώ η Γερμανία και η Ελλάδα δεν δημοσιεύουν καθόλου επίσημες εκθέσεις. Στο γερμανικό σχολείο, ένας μεγάλος αριθμός εκπαιδευτικών δηλώνει ότι δεν αξιολογεί τις πρωτοβουλίες ΚΟ, ενώ σε όλα τα άλλα σχολεία όλοι οι συμμετέχοντες ανέφεραν κάποιο είδος αξιολόγησης, παρά το γεγονός ότι ένα μικρό ποσοστό Πολωνών εκπαιδευτικών δεν γνώριζε τα μέτρα.

Συνολικά, η αξιολόγηση δεν είναι πολύ ολοκληρωμένη σε όλες τις χώρες. Οι δομημένες έρευνες, οι εκθέσεις και η συλλογή δεδομένων εξακολουθούν να υποχρησιμοποιούνται στις περισσότερες χώρες.

Επιτυχημένα Έργα ΚΟ με Μαθητές

Και στις τέσσερις χώρες, έχουν υλοποιηθεί σε σχολεία διάφορα έργα ΚΟ και βιωσιμότητας, καθένα από τα οποία αντανάκλα διαφορετικά επίπεδα συμμετοχής των μαθητών, καινοτομίας και θεσμικής υποστήριξης.

Γερμανία

- + Εστίαση στην ανακύκλωση (έπιπλα, έργα τέχνης) και στον διαχωρισμό αποβλήτων, αλλά οι τελευταίες προσπάθειες δεν ήταν πάντα επιτυχημένες.
- + Η μαθητική εταιρεία δημιούργησε το δικό της μοντέλο ανακύκλωσης για ένα βιώσιμο πρωινό.
- + Εργαστήρια με εξωτερικούς εμπειρογνώμονες (έργο Spirit of Football) που συνδέουν τη βιωσιμότητα με τον αθλητισμό.
- + Οι μαθητές δίδαξαν στα μικρότερα παιδιά σχετικά με τη μείωση των αποβλήτων, ενθαρρύνοντας την εκπαίδευση με πρωτοβουλία συνομηλίκων.
- + Ανησυχίες σχετικά με την έλλειψη βιώσιμων αρχών που εφαρμόζονται στο ίδιο το σχολείο

Ελλάδα

- + Τα υπάρχοντα έργα επικεντρώνονται στην ανακύκλωση μπαταριών, την επαναχρησιμοποίηση παλαιών υλικών, τη φύτευση δέντρων και τις περιβαλλοντικές επισκέψεις.
- + Ένα έργο Erasmus+.
- + Καμία αναφορά στην καινοτομία που καθοδηγείται από τους μαθητές, κυρίως σε προ-δομημένες προσπάθειες βιωσιμότητας.

Πολωνία

- + Εξωτερικές συνεργασίες με το Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Arka.
- + Έργα ανακύκλωσης: «Παγκόσμια Ημέρα Καθαρισμού» και συλλογή ηλεκτρονικών αποβλήτων.
- + Εκστρατείες όπως το «Καθαρά Βουνά» που προωθούν την προστασία του περιβάλλοντος και την προώθηση της βιοποικιλότητας,
- + Έργα ΚΟ που σχετίζονται με τη μόδα (Eco-Wave: Γρήγορη επίγνωση της μόδας).
- + Έργα που περιλαμβάνουν εναλλακτικά ενεργειακά μοντέλα και βιώσιμη κηπουρική και συγκομιδή χούμους.
- + Έργα κλειστού βρόχου οικονομίας με επίκεντρο τη γαστρονομία, που δείχνουν ενσωμάτωση βιωσιμότητας σε συγκεκριμένους κλάδους.

Τουρκία

- ✦ Πρακτικά δημιουργικά έργα που χρησιμοποιούν απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των έργων κατασκευής πυραύλων και αυτοκινήτων,
- ✦ Πολεοδομικά έργα που ενσωματώνουν έννοιες βιωσιμότητας.
- ✦ Βραβευμένη εφαρμογή TÜBİTAK για κινητά για εξοικονόμηση νερού.
- ✦ Οι τεχνικές παιχνιδοποιημένης μάθησης αυξάνουν το ενδιαφέρον των μαθητών.
- ✦ Ερευνητικά έργα με μαθητές

Το πολωνικό σχολείο παρουσιάζει το ευρύτερο φάσμα έργων, ενώ το τουρκικό σχολείο ξεχωρίζει για τις δημιουργικές και τεχνολογικές βασισμένες προσεγγίσεις του. Το ελληνικό σχολείο δίνει πρωταρχική έμφαση στην παραδοσιακή ανακύκλωση και στις περιβαλλοντικές δραστηριότητες, ενώ το γερμανικό σχολείο δίνει έμφαση στην αλληλομάθεια, όπου οι μαθητές διδάσκουν σε άλλους για τη βιωσιμότητα.

Συμβουλές για Εκπαιδευτικούς σχετικά με τη Διδασκαλία Εννοιών Κυκλικής Οικονομίας

Ενσωματώστε την Κυκλική Οικονομία στην Καθημερινή Διδασκαλία

- ✦ Συμπεριλάβετε θέματα ΚΟ σε καθημερινά μαθήματα και παραδείγματα από την πραγματική ζωή (Γερμανία).
- ✦ Χρησιμοποιήστε μάθηση μέσω project και εξωσχολικές δραστηριότητες (Ελλάδα, Τουρκία).
- ✦ Ενθαρρύνετε τους μαθητές να ξεκινήσουν πρωτοβουλίες όπως ανταλλαγές ρούχων ή έργα μηδενικών αποβλήτων (Πολωνία).

Αναζητήστε εξωτερική υποστήριξη και συνεργασίες

- ✦ Προσκαλέστε ειδικούς και συνεργαστείτε με τοπικές επιχειρήσεις και περιβαλλοντικές οργανώσεις (Γερμανία, Ελλάδα, Τουρκία).
- ✦ Δημιουργία δικτύων μάθησης από ομοτίμους για την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών (Ελλάδα).
- ✦ Ενθάρρυνση συνεργασιών με ιδρύματα που επικεντρώνονται στη βιωσιμότητα (Πολωνία, Τουρκία).

Χρησιμοποιήστε πρακτικές προσεγγίσεις μάθησης

- ✦ Οργάνωση εργαστηρίων, εκπαιδευτικών εκδρομών και διαδραστικών φοιτητικών δραστηριοτήτων (Ελλάδα, Τουρκία).
- ✦ Υλοποίηση έργων βιωσιμότητας σε μικρά βήματα, όπως η ανακύκλωση μπαταριών ή τα σχολικά ηλιακά πάνελ (Τουρκία).
- ✦ Διδάξτε μέσω παιχνιδοποιημένης μάθησης, συμπεριλαμβανομένων οικολογικών διαγωνισμών και παιχνιδιών ΚΟ (Πολωνία).

Υποστηρίξτε την Ενσωμάτωση της ΚΟ στα Προγράμματα Σπουδών

- + Ενθάρρυνση ενημερώσεων προγραμμάτων σπουδών ώστε να συμπεριληφθούν επίσημα οι έννοιες της ΚΟ (Τουρκία).
- + Πίεση για θεσμική υποστήριξη και χρηματοδότηση για την ενίσχυση της εκπαίδευσης για τη βιωσιμότητα (Ελλάδα, Πολωνία).
- + Έναρξη πιλοτικών προγραμμάτων πριν από την ευρύτερη εφαρμογή τους (Ελλάδα).

Πρόσβαση & Ανάπτυξη Διδακτικών Πόρων

- + Αναζήτηση κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού και μελετών περίπτωσης (Γερμανία, Ελλάδα).
- + Δημιουργήστε βιβλιοθήκες πόρων με σχέδια μαθημάτων, βίντεο και μελέτες περίπτωσης (Ελλάδα).
- + Προώθηση διαδικτυακών μαθημάτων και εργαστηρίων εκπαιδευτικών σχετικά με την ΚΟ (Πολωνία, Τουρκία).

Συμπέρασμα και συστάσεις

Τα ευρήματα της έρευνας αποκαλύπτουν ένα κατακερματισμένο αλλά εξελισσόμενο τοπίο στην εκπαίδευση για την ΚΟ. Ενώ η Πολωνία επιδεικνύει την πιο ολοκληρωμένη και δομημένη προσέγγιση, άλλες χώρες επιδεικνύουν μεμονωμένες προσπάθειες με σημαντικά κενά στην εκπαίδευση, το υλικό και τη συμμετοχή των φοιτητών.

Οι συστάσεις περιλαμβάνουν:

1. Ανάπτυξη εθνικών προγραμμάτων κατάρτισης για εκπαιδευτικούς σε έννοιες κυκλικής οικονομίας.
2. Δημιουργία και διανομή τυποποιημένου διδακτικού υλικού, προσβάσιμου σε όλες τις γλώσσες και προσαρμόσιμου σε διάφορα εκπαιδευτικά επίπεδα.
3. Προώθηση της διεπιστημονικής μάθησης και της μάθησης που βασίζεται σε έργα, ενθαρρύνοντας την εφαρμογή της στον πραγματικό κόσμο.
4. Ενίσχυση συνεργασιών με επιχειρήσεις, ΜΚΟ και τοπικές κοινότητες για την ενίσχυση της πρακτικής εμπειρίας.
5. Υποστήριξη πρωτοβουλιών με επικεφαλής μαθητές, διασφαλίζοντας ότι οι νέοι δεν είναι απλώς παθητικοί μαθητές αλλά και ενεργοί συνεισφέροντας στις προσπάθειες βιωσιμότητας.
6. Εφαρμογή σαφών πλαισίων αξιολόγησης που παρακολουθούν τόσο τα μαθησιακά αποτελέσματα όσο και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ως εκ τούτου, η έρευνα υπογραμμίζει επίσης τη σημασία του έργου CircEdu που εφαρμόζει ένα ευρωπαϊκό μαθησιακό τοπίο, συμπεριλαμβανομένου ενός προγράμματος ανάπτυξης ικανοτήτων και ενός κόμβου γνώσης.

7. Συμπέρασμα

Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη ενσωμάτωσης των αρχών της Κυκλικής Οικονομίας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση ως μετασχηματιστική απάντηση στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές κρίσεις που προκαλούνται από γραμμικά οικονομικά μοντέλα. Μέσω μιας ολοκληρωμένης ανασκόπησης γραφείου και έρευνας βασισμένης σε έρευνες σε όλη τη Γερμανία, την Ελλάδα, την Πολωνία και την Τουρκία, το έργο CircEdu αποκάλυψε τόσο την ευρεία αναγνώριση της σημασίας της Κυκλικής Οικονομίας (ΚΟ) όσο και τα σημαντικά κενά στην ενσωμάτωση των προγραμμάτων σπουδών, την κατάρτιση των εκπαιδευτικών και τη διαθεσιμότητα πόρων.

Ενώ υπάρχει ένα αυξανόμενο σύνολο έρευνας και καινοτόμων πρακτικών στον ευρύτερο τομέα της κυκλικής οικονομίας, η ενσωμάτωσή της στα εκπαιδευτικά συστήματα, ιδίως στο δευτεροβάθμιο επίπεδο, παραμένει κατακερματισμένη και υπανάπτυκτη. Η μελέτη υπογραμμίζει την αξία της εκπαίδευσης όχι μόνο στην ευαισθητοποίηση αλλά και στον εξοπλισμό των μελλοντικών γενεών με τις δεξιότητες, τις αξίες και τη συστημική σκέψη που είναι απαραίτητες για να ηγηθούν ενός βιώσιμου μετασχηματισμού. Καταδεικνύει επίσης τις δυνατότητες των διεπιστημονικών, βασισμένων σε έργα και ψηφιακά υποστηριζόμενων μαθησιακών μοντέλων για την ενίσχυση της ουσιαστικής εμπλοκής με τις έννοιες της κυκλικής οικονομίας.

Οι γνώσεις που συλλέχθηκαν από εκπαιδευτικούς και ιδρύματα σε όλες τις χώρες-εταίρους αποτελούν μια ισχυρή βάση για τις επόμενες φάσεις του έργου CircEdu. Για να προχωρήσουμε, απαιτούνται συνεχείς προσπάθειες για την ανάπτυξη ικανοτήτων, τη δημιουργία προσαρμόσιμων διδακτικών πόρων και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τις αλλαγές στο πλαίσιο πολιτικής που ενσωματώνουν την κυκλική σκέψη στις σχολικές κουλτούρες και τα προγράμματα σπουδών. Ενδυναμώνοντας τόσο τους εκπαιδευτικούς όσο και τους μαθητές, η εκπαίδευση μπορεί να γίνει καταλύτης για μια δίκαιη και αναγεννητική κυκλική οικονομία στην ψηφιακή εποχή.