

BADANIE NA TEMAT: PRAKTYKI CYRKULARNE DLA EDUKACJI W CYFROWYM WSZECHŚWIECIE



Autorzy

Kolleg für Management und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung (KMGNE, Germany)

Sucessos Criativos Lda Portugal Norte (SC, Portugal)

Higher School of Transport "Todor Kableshev" (HST, Bulgaria)

FIFTH GENERAL LYCEUM Larisas (FGLL, Greece)

Fritz-Greve-Gymnasium (FGGM, Germany)

Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Józefa Piłsudskiego (ZAI, Poland)

Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Türkiye)

Koordinator

Kolleg für Management und Gestaltung nachhaltiger Entwicklung (KMGNE, Germany)

Oświadczenie o nieujawnianiu informacji



**Co-funded by
the European Union**

Projekt „Circular Practices for Education in the Digital Universe” jest współfinansowany przez Unię Europejską. Wyrażone poglądy i opinie są jednak wyłącznie poglądami autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej lub EACEA. Ani Unia Europejska, ani organ przyznający dofinansowanie nie mogą być za nie pociągnięte do odpowiedzialności.

SPIS TREŚCI

1	Wstęp	1
2	Gospodarka o obiegu zamkniętym i Podejścia GOZ w edukacji	2
3	Rozwiązania mobilności o obiegu zamkniętym w edukacji	11
4	Perspektywy wykorzystania AI w CE	20
5	Wyniki ankiety na temat podejścia cyrkularnego w programach nauczania szkół średnich	30
6	Wyniki ankiety na temat perspektyw, doświadczeń i potrzeb nauczycieli w zakresie edukacji cyrkularnej w szkołach	33
7	Wnioski	45

1. Wstęp

W obliczu eskalacji wyzwań środowiskowych i nierówności społecznych, tradycyjne liniowe modele ekonomiczne charakteryzujące się podejściem „weź, wyprodukuj, pozbyć się” coraz częściej okazują się niezrównoważone. Na przykład planowana nietrwałość, w której produkty są projektowane z ograniczoną żywotnością, aby zachęcić konsumentów do ich ponownego zakupu, jest strategią generowania zysków w tej gospodarce. Dlatego też transformacja w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym ma kluczowe znaczenie w walce z kryzysem klimatycznym i związanymi z nim wyzwaniami.

Niniejsze badanie „Circular Practices for Education in the Digital Universe” jest wynikiem projektu CircEdu (2024-1-DE03-KA220-SCH-000250897), współfinansowanego przez Unię Europejską. We wszystkich krajach partnerskich zaangażowanych w tworzenie tego badania (Bułgaria, Niemcy, Grecja, Portugalia, Polska i Turcja) zidentyfikowano potrzebę kompleksowych praktyk edukacyjnych i materiałów dotyczących edukacji cyrkularnej. Dlatego konsorcjum projektu CircEdu, składające się z Kolleg für Management und Gestaltung Nachhaltiger Entwicklung (KMGNE, Niemcy), Sucessos Criativos Lda Portugal Norte (SC, Portugalia), Wyższa Szkoła Transportu „Todor Kableshkov” (HST, Bułgaria), FIFTH GENERAL LYCEUM Larisas (FGLL, Grecja), Fritz-Greve-Gymnasium (FGGM, Niemcy), Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Józefa Piłsudskiego (ZAI, Polska) i Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Türkiye) przeprowadzili szeroko zakrojone badania źródeł wtórnych i stworzyli dwie różne ankiety skierowane do szkół średnich w konsorcjum projektu i ich nauczycieli. Dzięki tym badaniom konsorcjum było w stanie wykryć rzeczywistość grup docelowych projektu, ich wiedzę i potrzeby oraz wgląd w stan praktyk GOZW szkolnictwie średnim w szkołach europejskich.

Badanie wykazało, że istnieje wiele badań związanych ogólnie z gospodarką o obiegu zamkniętym, ale niewystarczająca ilość materiałów w dziedzinie szkolnictwa średniego, zarówno w badaniach, jak i w praktyce. Dlatego celem niniejszego badania jest zebranie wiedzy na ten temat, która może służyć jako podstawa do dalszego rozwoju metodologii uczenia się. Wyniki ankiet zostały przedstawione w raporcie podsumowującym porównanie czterech różnych krajów.

Poza wstępem, opracowanie zostało podzielone na pięć rozdziałów:

2. Gospodarka o obiegu zamkniętym i podejście GOZ w edukacji
3. Rozwiązania mobilności cyrkularnej w edukacji
4. Przyszłe perspektywy wykorzystania sztucznej inteligencji w edukacji
5. Wyniki ankiety na temat podejścia cyrkularnego w programach nauczania szkół średnich
6. Wyniki ankiety na temat perspektyw, doświadczeń i potrzeb nauczycieli w zakresie edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym w szkołach

2. Gospodarka o obiegu zamkniętym i podejście GOZ w edukacji

W następnym rozdziale zostanie wprowadzona koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) w sensie ogólnym, a w szczególności kształcenie w zakresie GOZ.

Wraz z raportem Klubu Rzymskiego „Granice wzrostu” (1972), Raportem Brundtland ONZ (1987) i Światową Konferencją ONZ w Rio de Janeiro (1992), ogólne postrzeganie konsekwencji kapitalistycznego metabolizmu zaczęło przesuwać się w kierunku nowego i niezbędnego paradygmatu rozwoju. Ta pożądana zmiana kierunku została nazwana zrównoważonym rozwojem, mającym na celu zmianę praktyk społecznych i indywidualnych na mniej, bardziej cyrkularne, bardziej długotrwałe, bardziej regionalne i bardziej oparte na współpracy. W konsekwencji system gospodarczy podporządkowuje się i integruje ze skończonym organizmem Ziemi (patrz Lovelock & Margulis 2007).

Zgodnie z tym paradygmatem, gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) uznaje, że zasoby naturalne są ograniczone i dąży do wydłużenia cyklu życia materiałów, utrzymując je w użyciu poprzez praktyki takie jak ponowne użycie, naprawa, regeneracja, udostępnianie i recykling. Podstawowe zasady GOZ obejmują 3R - redukcję, ponowne użycie i recykling - oraz rozszerzoną wersję znaną jako 6R, która dodaje przeprojektowanie, regenerację i odzysk (patrz Jawahir i Bradley 2016). CE to ramy ekonomiczne, w których etapy planowania, pozyskiwania zasobów, zaopatrzenia, produkcji i ponownego przetwarzania są celowo zaprojektowane i zarządzane w celu poprawy zarówno zdrowia ekosystemu, jak i dobrostanu ludzi (patrz Murray i in. 2017). Jako model generatywny i regeneracyjny, GOZ dąży do zachowania wartości produktów, materiałów i zasobów tak długo, jak to możliwe, ograniczając w ten sposób powstawanie odpadów końcowych (Ranta et al. 2018).

Chociaż w dużej mierze koncentruje się na innowacjach, takich jak tworzenie nowych technologii i modeli biznesowych w celu utrzymania obiegu materiałów, obejmuje to również eliminację odpadów poprzez lepsze projektowanie, zastępowanie nieodnawialnych materiałów odnawialnymi alternatywami oraz wspieranie regeneracji naturalnych ekosystemów. Parlament Europejski (2023) wymienia następujące kluczowe korzyści z przejścia na GOZ: ograniczenie utraty różnorodności biologicznej, zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, zmniejszenie ilości odpadów, zmniejszenie zależności od surowców i oszczędność pieniędzy konsumentów dzięki trwalszym produktom. Dodatkowo wspomina się o wzroście gospodarczym, podczas gdy punkt ten nie odzwierciedla wielu ustaleń naukowych, które zakładają, że GOZ idzie w parze z wzrostem (patrz Winans et al. 2015: 825-826). Jednakże, zgodnie z podejściem post-wzrostowym, niekoniecznie oznacza to spadek dobrobytu, ale może nawet prowadzić do jego wzrostu.



Rysunek 1: Model gospodarki o obiegu zamkniętym: mniej surowców, mniej odpadów, mniej emisji.
Źródło: Biuro Analiz Parlamentu Europejskiego (Parlament Europejski 2023).

Koncepcja GOZ nie ma jasno określonego pochodzenia lub twórcy. Jednak kilka kluczowych postaci ukształtowało jej rozwój, w tym amerykański naukowiec John Lyle, jego student William McDonough, niemiecki chemik Michael Braungart oraz architekt i ekonomista Walter Stahel (patrz Winans et al. 2015: 825-826). Wpływy na ideę GOZ mogą również obejmować „Cichą wiosnę” Rachel Carson, wspomniany wcześniej raport Klubu Rzymskiego z lat 70. na temat „granic wzrostu”, analogię „statku kosmicznego Ziemia” wprowadzoną przez Barbarę Ward i Kennetha Bouldinga oraz prace eko-ekonomisty Hermana Daly'ego (ibid.).

Ramy GOZ są powiązane z innymi koncepcjami, z których niektóre istniały wcześniej, takimi jak symbioza przemysłowa (zob. Winans et al. 2015: 825-826). W ramach ekologii przemysłowej i teorii systemów, GOZ jest powiązana z różnymi dyscyplinami, w tym z termodynamiką i ekonomią ekologiczną (ibid.). Zgodnie z teorią systemów i prawami termodynamiki, wdrażanie strategii GOZ ma tendencję do przesuwania systemów gospodarczych w kierunku fazy „degrowth” zamiast wspierania tradycyjnego rozwoju zorientowanego na wzrost (ibid.), wspierając teorie ekonomiczne post-wzrostu i degrowth.

W niektórych krajach, takich jak Niemcy i Portugalia, koncepcja GOZ jest stosowana w gospodarce odpadami, a wiele firm wykorzystuje ją do poprawy przepływu materiałów (ibid.: 826). UE wdrożyła plan działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, którego celem jest „zbudowanie gospodarki o obiegu zamkniętym i neutralnej dla klimatu do 2050 r.” (Parlament Europejski 2023), wdrażając różnorodne przepisy obejmujące ekoprojekt, opakowania, greenwashing, prawo do naprawy i gospodarkę odpadami (zob. tamże). Podczas gdy liczba inicjatyw w tym obszarze rośnie, komponent społeczny często nie jest dokładnie rozważany.

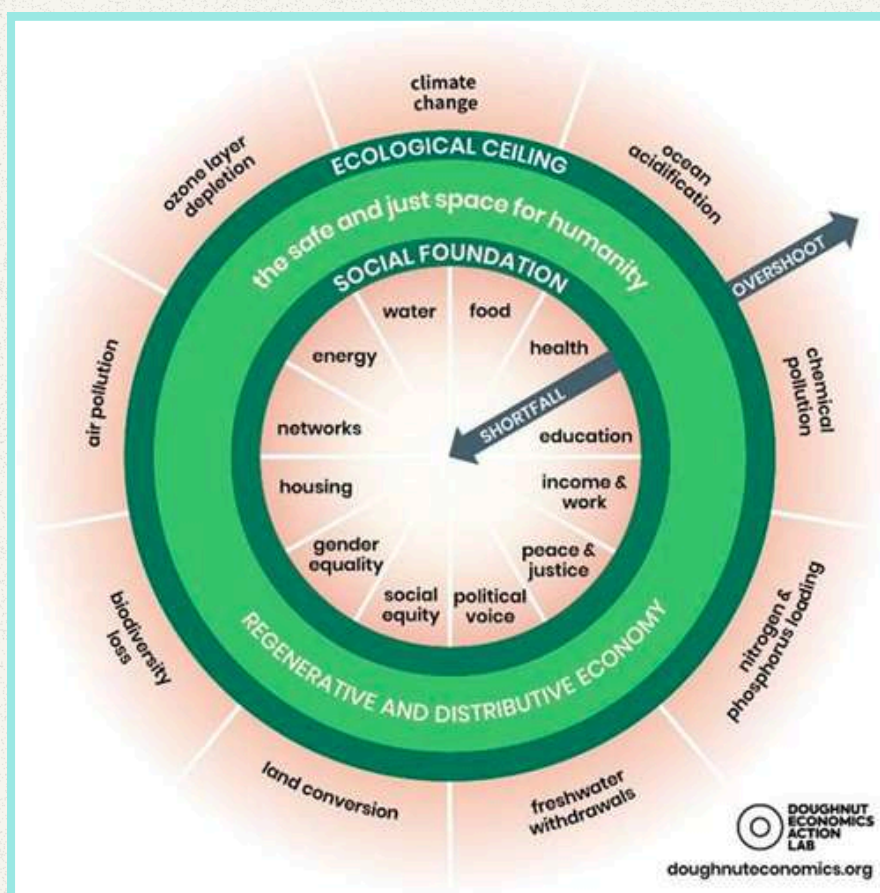
Agenda ONZ 2030 podkreśla, że zrównoważony rozwój środowiskowy, społeczny i gospodarczy są ze sobą głęboko powiązane i nie mogą być rozpatrywane w oderwaniu od siebie. Ponieważ powiązania między wyzwaniami środowiskowymi, takimi jak zmiany klimatu, nadmierne zużycie zasobów i odpady, a wyzwaniami społecznymi, takimi jak nierówności i zmieniający się charakter pracy, stają się coraz bardziej widoczne, potrzeba dostosowania działań środowiskowych do sprawiedliwości społecznej staje się coraz ważniejsza. Dlatego też koncepcja „sprawiedliwej transformacji” łączącej zrównoważony rozwój środowiska, sprawiedliwe zatrudnienie, integrację społeczną i eliminację ubóstwa zyskuje na popularności w dyskursach na temat zrównoważonego rozwoju.

Sprawiedliwa transformacja w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym oferuje sposób na zmniejszenie ilości odpadów, stymulowanie innowacji i promowanie zrównoważonego rozwoju, przy jednoczesnym zajęciu się nierównościami społecznymi i gospodarczymi zgodnie z Celami Zrównoważonego Rozwoju ONZ, aby nikogo nie pozostawić w tyle (patrz Schröder 2020). W miarę rozwoju polityki gospodarki o obiegu zamkniętym, zwłaszcza w obliczu cyfryzacji i zmian w przemyśle, kluczowe znaczenie ma ocena jej wpływu na miejsca pracy i źródła utrzymania. Ochrona socjalna musi być zintegrowana, aby zapobiec sytuacji, w której grupy szczególnie wrażliwe ponoszą ciężar zmian, takich jak utrata pracy lub pogorszenie warunków pracy (ibid.).

Kraje o niskim i średnim dochodzie, które zależą od liniowych sektorów gospodarki, takich jak górnictwo, produkcja szybko zbywalnych dóbr konsumpcyjnych, tekstylia i rolnictwo, mogą stanąć w obliczu wyzwań związanych z transformacją o obiegu zamkniętym (ibid.). Kraje te będą potrzebowały ukierunkowanego wsparcia międzynarodowego, aby się dostosować.

Skuteczna globalna współpraca, przejrzyste i odpowiedzialne mechanizmy finansowe, sprawiedliwe zarządzanie i skoordynowane polityki na wszystkich szczeblach władzy będą kluczem do zarządzania transformacją (ibid.).

Co więcej, Kate Raworth Doughnut Economics oferuje dodatkowe ramy transformacyjne, które przewidują bezpieczną i sprawiedliwą przestrzeń dla ludzkości. Model ten równoważy potrzebę zaspokojenia podstawowych potrzeb każdego człowieka (fundament społeczny) bez przekraczania ekologicznych limitów planety (pułap ekologiczny) (zob. Raworth 2017). Model Doughnut rzuca wyzwanie konwencjonalnemu naciskowi na ciągły wzrost gospodarczy, opowiadając się zamiast tego za gospodarkami regeneracyjnymi i dystrybucyjnymi. Podkreśla znaczenie myślenia systemowego, uznając wzajemne powiązania systemów społecznych i ekologicznych. GOZ może uzupełniać model Doughnut, proponując systemowe przejście od systemów liniowych do cyrkularnych, obejmujących możliwości społeczne i gospodarcze oraz odporność



Rysunek 2: Pączek granic społecznych i planetarnych.

Źródło: Kate Raworth i Christian Guthier. CC-BY-SA 4.0 (Raworth 2017)..

Wdrożenie zasad GOZ wymaga fundamentalnej zmiany w sposobie, w jaki społeczeństwa produkują i konsumują towary. Wiąże się to z ponownym przemyśleniem projektu produktu, modeli biznesowych, infrastruktury, polityki i indywidualnych zachowań. Podnoszenie świadomości może odegrać kluczową rolę w ułatwieniu tej transformacji poprzez wyposażenie jednostek w wiedzę i umiejętności pozwalające na uczestnictwo w praktykach obiegu zamkniętego oraz stymulowanie zmian instytucjonalnych i systemowych. Edukacja jest zatem kluczowym czynnikiem umożliwiającym przejście do gospodarki o obiegu zamkniętym. Oprócz rozwijania świadomości, kultywuje umiejętności i kształtuje wartości, które są zgodne ze zrównoważonymi praktykami. Włączenie koncepcji GOZ do systemów edukacji przygotowuje studentów do poruszania się i wpływu na ewoluującą transformację społeczno-ekologiczną.

Koncepcje takie jak Edukacja na rzecz zrównoważonego rozwoju (ESD) są już bardzo ugruntowane, a jednocześnie interpretowane na wiele różnych sposobów. Na przykład interpretacje ESD dostarczają różnych definicji dla GOZ, niektóre dotyczą głównie recyklingu, inne, jak w tym badaniu, oferują szersze holistyczne podejścia, w tym czynniki społeczne i zmiany kulturowe (patrz Kirchherr i Piscicelli 2019). Z drugiej strony, badania nad konkretną edukacją dla GOZ są nadal ograniczone. Kirchherr i Piscicelli (2019) proponują podejście oparte na literaturze ESD i identyfikują pięć odpowiednich podstawowych zasad nauczania ECE (Education for Circular Economy): „interaktywność, brak dogmatyzmu i wzajemność, a także konstruktywne dostosowanie i uczenie się oparte na problemach”.

Inną ramą w tym kontekście jest GreenComp - Europejskie ramy kompetencji w zakresie zrównoważonego rozwoju, opracowane przez Wspólne Centrum Badawcze (JRC), serwis naukowy i wiedzy Komisji Europejskiej (patrz Bianchi et al. 2022: 2). Ma ona na celu wspieranie postaw, umiejętności i wiedzy w zakresie zrównoważonego rozwoju oraz proponuje 12 kompetencji w czterech kluczowych obszarach:

1. “Uwzględnianie złożoności w zrównoważonym rozwoju, w tym kompetencje: myślenie systemowe, myślenie krytyczne i formułowanie problemów,
2. Wyobrażanie sobie zrównoważonej przyszłości, w tym kompetencje: znajomość przyszłości, zdolność adaptacji i myślenie eksploracyjne,
3. Działanie na rzecz zrównoważonego rozwoju, w tym kompetencje: sprawczość polityczna, działanie zbiorowe i inicjatywa indywidualna” (ibid.).

Niektóre kraje już uwzględniają edukację społeczną w swoich praktykach i politykach. W Finlandii, na przykład, edukacja GOZ jest osadzona na wszystkich poziomach, od szkół podstawowych po szkolenia zawodowe. Programy takie jak Yrityskylä zapewniają możliwości uczenia się przez doświadczenie, w ramach których uczniowie angażują się w symulowane działania gospodarcze uwzględniające zasady GOZ (patrz Circular Design Suomi 2023 i Tiippana et al. 2023). Tiippana et al. (2023) proponują dostosowanie fińskiego modelu do różnych systemów edukacji.

Szkolnictwo średnie służy jako krytyczny punkt do wpajania zasad GOZ. Na tym etapie uczniowie rozwijają zdolności poznawcze, aby zrozumieć złożone systemy i zdolność do wprowadzania zmian. Integracja GOZ nie tylko z przedmiotami takimi jak nauki ścisłe, technologia, inżynieria i matematyka (STEM), ale także z przedmiotami humanistycznymi, językami, sztuką i naukami społecznymi, zapewnia holistyczne zrozumienie zrównoważonego rozwoju. Uczniowie mogą być uprawnieni do opracowywania własnych projektów, w tym praktyk cyrkularnych.

Poza praktycznymi zastosowaniami, edukacja GOZ zachęca do filozoficznej zmiany w sposobie postrzegania naszych relacji ze środowiskiem, aby wspierać zmiany kulturowe poprzez narracje, które opowiadamy o świecie. Zachęca do przejścia od linearnych, antropocentrycznych światopoglądów do cyrkularnych, ekocentrycznych perspektyw, które uznają współzależność wszystkich form życia. Jest to zgodne z wieloma rdzennymi filozofiami, które podkreślają relacje z ponadludzkimi i ekologicznymi cyklami życia. Może to otworzyć dyskurs na temat alternatywnych koncepcji spiralnego czasu, łącząc ludzką historię z naturą, a także bardziej odpowiednio łącząc ludzkie pokolenia, w tym przodków i potomków (patrz Fritsch 2024) oraz jedność życia i śmierci. Włączenie tych perspektyw do edukacji sprzyja głębszemu etycznemu zaangażowaniu w zrównoważony rozwój. Stanowi wyzwanie dla uczniów, aby rozważyli nie tylko techniczne aspekty GOZ, ale także moralne imperatywy wielogatunkowego pokrewieństwa (zob. Haraway 2016) i sprawiedliwości społecznej.

Co więcej, włączenie tradycyjnej wiedzy i praktyk do edukacji GOZ wzbogaca naukę, łącząc uczniów z lokalną historią i zrównoważonymi praktykami. Na przykład badanie tradycyjnych technik budowlanych, które wykorzystują lokalne, odnawialne materiały, może zaoferować wgląd w zrównoważone projektowanie w obiegu zamkniętym. W ten sposób pomocne strategie, które z czasem zanikły, można ożywić i dostosować do współczesnych czasów lub połączyć z nowymi pomysłami (patrz Watson 2019). Takie podejście nie tylko chroni dziedzictwo kulturowe i wzmacnia więź uczniów z ich środowiskiem, ale także pokazuje znaczenie tradycyjnych praktyk w podejmowaniu współczesnych wyzwań związanych ze zrównoważonym rozwojem.

Schröder, P. (2020). Promoting a just transition to an inclusive circular economy (pp. p-33). London: Royal Institute of International Affairs.

Tiippana-Usvasalo, M., Pajunen, N., & Holuszko, M. (2023). The role of education in promoting circular economy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 92–103.

Watson, J. (2019). *Lo-TEK: Design by radical indigenism*. Taschen.

Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.

3. Rozwiązania mobilności cyrkulacyjnej w edukacji

W miarę jak świat zmierza w kierunku bardziej zrównoważonych systemów, koncepcja mobilności cyrkularnej stała się kluczowym filarem gospodarki o obiegu zamkniętym. Włączenie tego podejścia do szkolnictwa średniego ma zasadnicze znaczenie dla przygotowania uczniów na przyszłość, w której priorytetem jest zrównoważony rozwój, innowacje i odpowiedzialne korzystanie z zasobów.

Mobilność w obiegu zamkniętym obejmuje różne strategie zrównoważonego transportu, takie jak pojazdy elektryczne, usługi mobilności współdzielonej, integrację energii odnawialnej i inteligentne planowanie urbanistyczne. Włączenie tych koncepcji do szkolnego programu nauczania zachęca uczniów do zrozumienia wzajemnych powiązań między technologią, środowiskiem i społeczeństwem. Umożliwia im krytyczne myślenie o tym, jak systemy transportowe mogą ewoluować od liniowych modeli konsumpcji do cyrkularnych modeli optymalizacji zasobów.

Nauka oparta na projektach może symulować rzeczywiste wyzwania, przed którymi stoją menedżerowie mobilności - równoważąc wydajność, infrastrukturę i cele środowiskowe - umożliwiając studentom badanie rozwiązań strategicznych, technicznych i logistycznych. Dzięki interdyscyplinarnym projektom studenci mogą badać, w jaki sposób miasta ograniczają emisje, w jaki sposób materiały są ponownie wykorzystywane w produkcji pojazdów oraz w jaki sposób energia odnawialna może zasilać przyszłe systemy transportowe.

Niniejszy artykuł stanowi kompleksowy przewodnik po rozwiązaniach z zakresu mobilności cyrkularnej, badając ich wdrażanie, korzyści, wyzwania i perspektywy na przyszłość poprzez spostrzeżenia ekspertów, rzeczywiste studia przypadków i praktyczne strategie (Purdue OWL, b.d.).

Kluczowe tematy dla integracji w klasie:

1. Zrównoważony transport

Przejsie na zrównoważony transport obejmuje pojazdy elektryczne (EV), programy współdzielenia rowerów i niskoemisyjny transport publiczny. Inicjatywy te zmniejszają zależność od paliw kopalnych i poprawiają jakość powietrza (Smith, 2025a; Komisja Europejska, 2025a).

2. Efektywne wykorzystanie zasobów w mobilności

Przemysł motoryzacyjny coraz częściej wykorzystuje materiały pochodzące z recyklingu i wdraża produkcję w obiegu zamkniętym, aby zminimalizować ilość odpadów i zoptymalizować wykorzystanie zasobów (Doe, 2025b; Smith, 2025b).

3. Planowanie urbanistyczne i zielona infrastruktura

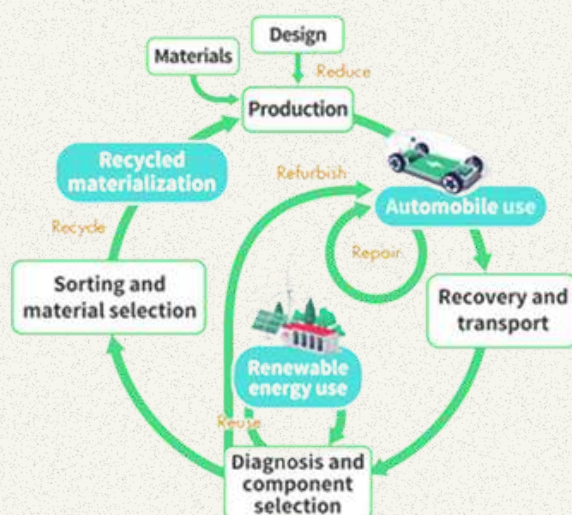
Włączenie technologii do planowania urbanistycznego, takich jak inteligentne systemy ruchu i plany zrównoważonej mobilności miejskiej, poprawia mobilność i obniża emisje (URBACT, 2025).

4. Integracja energii odnawialnej

Wykorzystanie technologii słonecznych i wodorowych w transporcie zmniejsza emisję dwutlenku węgla i promuje efektywność energetyczną. Kluczowe znaczenie ma rozbudowa sieci ładowania pojazdów elektrycznych zasilanych energią odnawialną (Międzynarodowa Agencja Energii, 2025).

5. Redukcja odpadów w transporcie

Producenci samochodów przyjmują strategie recyklingu i ponownego wykorzystania materiałów, takich jak aluminium, tworzywa sztuczne i baterie. Cyrkularne łańcuchy dostaw i ekologiczna produkcja zmniejszają ilość odpadów (Doe, 2025c; Smith, 2025c).



Rysunek 3: Wdrożenie zasad GOZ w produkcji samochodów. Źródło: https://www.tytlabs.co.jp/en/assets/images/technology/project/project2_image_01.png

6. Polityka i regulacje

Rządy i organizacje globalne wdrażają strategie zachęcające do zrównoważonej mobilności. Strategia UE ma na celu zmniejszenie emisji z transportu o 90% do 2050 r. (Komisja Europejska, 2025c; Światowe Forum Ekonomiczne, 2025).

7. Edukacja i świadomość społeczna

Włączenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym do programów szkolnych i programów społecznościowych sprzyja zrównoważonemu rozwojowi. Warsztaty i narzędzia cyfrowe promują zrównoważone zachowania i uczą uczniów, jak podnosić świadomość społeczności w zakresie mobilności w obiegu zamkniętym (Doe, 2025d).

8. Technologia i innowacje

Zarządzanie ruchem oparte na sztucznej inteligencji, inteligentna logistyka i automatyzacja poprawiają wydajność transportu i zmniejszają wpływ na środowisko (Smith, 2025d).

9. Modele współpracy

Partnerstwa branżowe i społeczne promują zrównoważoną mobilność. Programy takie jak URBACT pokazują skuteczną współpracę lokalną (URBACT, 2025).

10. Wpływ gospodarczy i społeczny

Mobilność w obiegu zamkniętym wspiera tworzenie miejsc pracy, wzrost gospodarczy i zrównoważony rozwój miast poprzez redukcję emisji i zachęcanie do innowacji (Doe, 2025e; Smith, 2025e; Światowe Forum Ekonomiczne, 2025).

11. Wdrożenie

Gospodarka o obiegu zamkniętym wymaga fundamentalnej transformacji w transporcie i logistyce, wymagając nowej infrastruktury, procesów i technologii w celu zapewnienia zrównoważonego rozwoju i wydajności. Kluczową strategią jest nadanie priorytetu zrównoważonemu rozwojowi we wszystkich operacjach, integrując przyjazne dla środowiska praktyki z wyborem pojazdów, wyborem paliwa, projektowaniem magazynów i gospodarką odpadami (Beames i in., 2025). Ponadto cyfryzacja odgrywa kluczową rolę w umożliwianiu logistyki cyrkularnej. Technologie takie jak IoT i "blockchain" usprawniają śledzenie cyklu życia produktu, optymalizację zasobów i współpracę w ramach łańcucha dostaw (Purushothaman i in., 2025). Zaawansowana sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe dodatkowo poprawiają optymalizację tras, zmniejszają liczbę pustych kilometrów i minimalizują zużycie paliwa.



Rysunek 4: 9R gospodarki o obiegu zamkniętym w celu poprawy równowagi środowiskowej mobilności. Źródło: VCÖ 2022 <https://vcoe.at/publikationen/vcoe-factsheets/detail/implementing-the-circular-economy-in-mobility>

Kolejnym istotnym krokiem jest inwestowanie w transport intermodalny. Zachęcanie do korzystania z kolei, wody i innych zrównoważonych środków transportu zmniejsza emisję, jednocześnie poprawiając infrastrukturę zbierania, sortowania i przetwarzania (Beames i in., 2025). Skuteczne wdrożenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga współpracy między zainteresowanymi stronami, w tym dostawcami usług logistycznych, producentami, decydentami i partnerami, zapewniając wymianę danych i otwartą komunikację w celu efektywnego wykorzystania zasobów (Purushothaman i in., 2025).

Ostatnia mila dostawy wiąże się z wyjątkowymi wyzwaniami, wymagającymi rozwiązań w zakresie mikromobilności, dostaw za pomocą dronów i lokalnych punktów odbioru w celu zwiększenia wydajności (Beames i in., 2025). Ponadto kluczowe znaczenie ma wspieranie kultury zrównoważonego rozwoju w branży, obejmującej edukację pracowników, programy szkoleniowe i ambitne cele w zakresie zrównoważonego rozwoju (Purushothaman i in., 2025).

Dzięki innowacjom, współpracy i zrównoważonemu rozwojowi dostawcy usług logistycznych mogą budować bardziej odporną i przyjazną dla środowiska przyszłość. Transformacja ta wymaga znacznych inwestycji w technologię, infrastrukturę i kapitał ludzki, ale długoterminowe korzyści sprawiają, że jest to kluczowe przedsięwzięcie.

Pomyślne wdrożenie rozwiązań z zakresu mobilności w obiegu zamkniętym wymaga strategicznego podejścia, starannego planowania i współpracy między kluczowymi interesariuszami. Organizacje muszą przyjąć zrównoważone praktyki, unikając jednocześnie typowych pułapek, aby zmaksymalizować wydajność i długoterminowy wpływ.

Strategie sukcesu

Wykorzystanie technologii i innowacji: Wykorzystanie IoT, sztucznej inteligencji i analizy danych w celu optymalizacji zarządzania zasobami, usprawnienia konserwacji predykcyjnej i poprawy usług mobilności współdzielonej. Technologie te umożliwiają bardziej inteligentne i wydajne operacje w obiegu zamkniętym.

Współpracuj z różnymi partnerami: Współpracuj z interesariuszami w całym łańcuchu wartości, w tym z dostawcami, decydentami i konsumentami. Współpraca międzysektorowa sprzyja innowacyjnym rozwiązaniom i zapewnia zgodność z celami zrównoważonego rozwoju.

Ciągła ocena i adaptacja: Regularnie oceniaj kluczowe wskaźniki wydajności (KPI) i w razie potrzeby wprowadzaj poprawki. Mobilność w obiegu zamkniętym wymaga ciągłych ulepszeń, aby wyprzedzać trendy w branży i utrzymywać wydajność operacyjną.

Unikaj tych typowych pułapek

Pomijanie zaangażowania interesariuszy: Brak zaangażowania ze strony kluczowych partnerów może spowolnić przyjęcie i wywołać opór przed zmianami. Zapewnij przejrzystość i współpracę w inicjatywach dotyczących obiegu zamkniętego.

Skupianie się wyłącznie na krótkoterminowych zyskach: Chociaż oszczędności kosztów są korzystne, priorytetowe traktowanie długoterminowego zrównoważonego rozwoju zapewnia trwałe sukcesy biznesowe. Myślenie krótkoterminowe podważa wysiłki na rzecz mobilności w obiegu zamkniętym i ogranicza korzyści dla środowiska.

Ignorowanie zmian regulacyjnych: Bądź na bieżąco z pojawiającymi się politykami i wymogami zgodności związanymi z transportem i zrównoważonym rozwojem. Niedostosowanie się do przepisów może prowadzić do ryzyka operacyjnego i utraty reputacji.

12. Przyszłe trendy

Rozwiązania w zakresie mobilności o obiegu zamkniętym mają na celu uczynienie transportu bardziej zrównoważonym poprzez ponowne wykorzystanie, recykling i optymalizację zasobów, zamiast podążania za tradycyjnym modelem „weź, zrób, wyrzuć” (Leal Filho i in., 2021). Podejście to wydłuża żywotność pojazdów, infrastruktury i materiałów transportowych dzięki różnym strategiom.

Zoptymalizowane cykle życia pojazdów poprzez regenerację i odnawianie odgrywają kluczową rolę w ograniczaniu ilości odpadów i maksymalizacji wydajności (Di Gerlando i in., 2024). Materiały infrastrukturalne z recyklingu dla dróg i węzłów transportowych przyczyniają się do minimalizacji wpływu na środowisko (Leal Filho i in., 2021). Odnawialne źródła energii dla transportu publicznego i logistyki wspierają cele neutralności klimatycznej (Heineke i in., 2023). Inteligentna logistyka pomaga zmniejszyć ilość odpadów dzięki wydajnemu pakowaniu i odwróconym łańcuchom dostaw (Di Gerlando i in., 2024). Rozwiązania w zakresie mobilności współdzielonej, takie jak car-sharing i bike-sharing, minimalizują indywidualne posiadanie pojazdów i zmniejszają zatory komunikacyjne w miastach (Heineke i in., 2023). Technologie AI i IoT poprawiają optymalizację tras i konserwację predykcyjną, zwiększając wydajność systemów transportowych (Leal Filho i in., 2021). Łańcuchy dostaw o obiegu zamkniętym dodatkowo zmniejszają ilość odpadów poprzez systemy o obiegu zamkniętym, zapewniając maksymalne ponowne wykorzystanie zasobów (Di Gerlando i in., 2024). Polityki rządowe egzekwują przyjazne dla środowiska przepisy transportowe, napędzając szersze przyjęcie praktyk mobilności o obiegu zamkniętym (Heineke i in., 2023).

Praktyczne wdrażanie w szkołach

Nauczyciele mogą projektować działania naśladujące wdrażanie systemów mobilności cyrkulacyjnej. Obejmuje to planowanie tras z obliczeniami śladu węglowego, projektowanie zasilanych energią słoneczną stacji ładowania dla modelowych pojazdów elektrycznych lub symulowanie tras dostaw dronów na ostatniej mili. Dzięki projektom zintegrowanym ze STEM uczniowie badają, w jaki sposób inteligentna logistyka, odwrócone łańcuchy dostaw i cyfrowe śledzenie zmniejszają wpływ na środowisko.

Przygotowanie uczniów na przyszłość w obiegu zamkniętym

Mobilność w obiegu zamkniętym oznacza transformację w podejściu społeczeństwa do transportu - przejście od własności do dostępu, od odpadów do ponownego wykorzystania oraz od zależności od emisji dwutlenku węgla do rozwiązań odnawialnych. Włączenie tych tematów do szkolnictwa średniego zachęca do myślenia systemowego, wiedzy ekologicznej i przedsiębiorczego rozwiązywania problemów

Wnioski i zalecenia

Edukacja odgrywa kluczową rolę w promowaniu zrównoważonych praktyk. Opracowywanie programów nauczania, praktyczne projekty, partnerstwa społecznościowe i publiczne kampanie informacyjne zapewniają, że edukacja na poziomie średnim wspiera mobilność cyrkularną (Doe, 2025d; Smith, 2025d). Ta zmiana edukacyjna nie tylko wspiera globalne cele klimatyczne, ale także umożliwia młodzieży wyobrażanie sobie i tworzenie cyrkularnej, sprawiedliwej przyszłości.

Gospodarka o obiegu zamkniętym koncentruje się na ograniczaniu ilości odpadów i wydłużaniu żywotności produktów i materiałów poprzez ich ponowne wykorzystanie, naprawę i recykling. W przeciwieństwie do tradycyjnego liniowego modelu produkcji i utylizacji, cyrkularność kładzie nacisk na utrzymanie materiałów w użyciu tak długo, jak to możliwe, ostatecznie minimalizując zużycie zasobów i wpływ na środowisko.

Jednym z kluczowych obszarów, w których gospodarka o obiegu zamkniętym nabiera rozpędu, jest transport i logistyka, ponieważ branże te stoją w obliczu poważnych wyzwań związanych ze zrównoważonym rozwojem. Obejmują one wysokie zużycie paliw kopalnych, odpady z opakowań i sprzętu oraz rosnącą liczbę zwrotów produktów w handlu elektronicznym, które przyczyniają się do emisji, nadmiaru opakowań i odpadów na wysypiskach.

Aby sprostać tym wyzwaniom, sektor transportu może przyjąć strategię cyrkularną, takie jak optymalizacja tras dostaw w celu zmniejszenia pustych mil i zużycia paliwa, integracja energii odnawialnej w pojazdach i operacjach oraz zachęcanie do stosowania opakowań wielokrotnego użytku i nadających się do recyklingu. Dodatkowo, wydajne systemy zwrotu i ponownego wykorzystania mogą pomóc zminimalizować ilość odpadów, jednocześnie tworząc możliwości ekonomiczne. Firmy mogą rozszerzyć swoją działalność na usługi naprawy i renowacji, a także inicjatywy recyklingu sprzętu transportowego.

Istotną przeszkodą we wdrażaniu praktyk cyrkularnych jest zarządzanie logistyką zwrótną. Skuteczna integracja wymaga starannego planowania, wydajnych systemów zbiórki, sortowni i centrów regeneracji. Co więcej, obsługa rosnącej różnorodności materiałów wymaga elastyczności, zaawansowanej technologii i solidnych systemów zarządzania danymi.

Przyjmując zasady gospodarki o obiegu zamkniętym, transport i logistyka mogą zmierzać w kierunku bardziej zrównoważonej i zasobooszczędnej przyszłości, równoważąc wzrost gospodarczy z odpowiedzialnością za środowisko.

Przyjmując technologię, wspierając współpracę i angażując się w ciągłe doskonalenie, organizacje mogą skutecznie wdrażać rozwiązania mobilności cyrkularnej, unikając jednocześnie typowych pułapek. Proaktywne podejście zapewnia zrównoważony rozwój, wydajność i długoterminowy sukces w zmieniającym się środowisku transportowym.

Sources

Bianchi, G., Pisiotis, U., Cabrera Giraldez, M. (2022). GreenComp – The European sustainability competence framework. Bacigalupo, M., Punie, Y. (ed.), EUR 30955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Circular Design Suomi (2023). Circular Design – a path towards circular economy, training programme. <https://circulardesignsuomi.fi/en/frontpage/>

European Parliament (2023). Circular economy: definition, importance and benefits. <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201ST005603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>

Fritsch, M. (2024). Indigenous Accounts of Spiraling Time. Yearbook for Eastern and Western Philosophy, 7(1), 60-86.

Haraway, D. J. (2016). Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene. Duke University Press.

Jawahir, I. S., & Bradley, R. (2016). Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing. Procedia Cirp, 40, 103-108.

Kirchherr, J., & Piscicelli, L. (2019). Towards an education for the circular economy (ECE): five teaching principles and a case study. Resources, Conservation and Recycling, 150, 104406.

Lovelock, J., & Margulis, L. (2007). The gaia hypothesis. New York.

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. Journal of business ethics, 140, 369-380.

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Mäkinen, S. J. (2018). Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. Resources, Conservation and Recycling, 135, 70-82.

Raworth, K. (2017): Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st Century Economist. London: Penguin Random House.

Schröder, P. (2020). Promoting a just transition to an inclusive circular economy (pp. p-33). London: Royal Institute of International Affairs.

Tiippana-Usvasalo, M., Pajunen, N., & Holuszko, M. (2023). The role of education in promoting circular economy. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 92–103.

Watson, J. (2019). *Lo-TEK: Design by radical indigenism*. Taschen.

Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.

4. Prognozy wykorzystania sztucznej inteligencji w gospodarce o obiegu zamkniętym

Ponieważ nauczyciele starają się wyposażyć następne pokolenie w wiedzę i narzędzia do kierowania tą transformacją, integracja technologii cyfrowych z edukacją w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym staje się coraz bardziej istotna. Wśród tych technologii sztuczna inteligencja (AI) wyróżnia się potężną zdolnością do modelowania złożoności, optymalizacji procesu decyzyjnego i automatyzacji procesów zrównoważonego rozwoju. Co więcej, uczenie maszynowe (ML) oferuje rosnący zestaw technik obliczeniowych zdolnych do radzenia sobie ze złożonością i dynamiką systemów gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), co powinno być kluczowym tematem w edukacji na poziomie szkoły średniej. W ostatnich latach naukowcy i praktycy zastosowali różne rodzaje uczenia maszynowego w celu optymalizacji przepływu zasobów, zwiększenia odzysku materiałów, prognozowania wyników środowiskowych i umożliwienia inteligentniejszego podejmowania decyzji w różnych sektorach. Badania podsumowane w załączonej tabeli odzwierciedlają różnorodne zastosowania uczenia maszynowego zgodnego z zasadami GOZ, w tym ponowne wykorzystanie, regenerację, redukcję emisji i procesy w obiegu zamkniętym.

Uczenie nadzorowane pozostaje jednym z najczęściej stosowanych paradygmatów UM w badaniach GOZ. Podejście to obejmuje trenowanie modeli na zbiorach danych, które zawierają zarówno zmienne wejściowe, jak i znane wyniki, umożliwiając algorytmowi uczenie się relacji predykcyjnych. Raz wytrenowany model może oszacować nieznane wyniki dla nowych danych. W systemach cyrkularnych uczenie nadzorowane jest wykorzystywane do prognozowania wydajności lub jakości materiałów pochodzących z recyklingu, przewidywania dostępności zasobów lub oceny wydajności dostawców w oparciu o kryteria zrównoważonego rozwoju. Powszechne algorytmy uczenia nadzorowanego obejmują sztuczne sieci neuronowe (ANN), które są szczególnie skuteczne w rozpoznawaniu złożonych wzorców w danych środowiskowych lub rolniczych; regresję wektorów wsparcia (SVR), wykorzystywaną do precyzyjnych prognoz numerycznych; oraz Random Forest, solidną metodę zespołową, która obsługuje środowiska decyzyjne o wielu zmiennych, takie jak recykling tworzyw sztucznych PET.

Uczenie bez nadzoru różni się tym, że działa z danymi bez oznaczonych wyników. Jest ono powszechnie stosowane do badania podstawowych wzorców, klastrów lub anomalii w złożonych zbiorach danych. W kontekście GOZ, uczenie bez nadzoru wspiera takie funkcje, jak identyfikacja trendów w zachowaniach konsumentów związanych ze zrównoważonymi produktami, grupowanie strumieni odpadów według składu lub wykrywanie nieprawidłowości w sieciach recyklingu. Techniki klastrowania i modelowania tematycznego są szczególnie cenne podczas analizy nieustrukturyzowanych źródeł danych, w tym mediów społecznościowych, dzienników odpadów lub informacji zwrotnych z czujników z systemów infrastruktury.

Uczenie ze wzmocnieniem wprowadza zdolność adaptacji poprzez pętle sprzężenia zwrotnego. W tym modelu agent uczy się optymalnych strategii poprzez iteracyjne interakcje z systemem, otrzymując nagrody lub kary w oparciu o wyniki. Mechanizm prób i błędów sprawia, że uczenie ze wzmocnieniem szczególnie nadaje się do dynamicznych kontekstów operacyjnych, takich jak logistyka, zarządzanie flotą lub adaptacyjne planowanie w bio-okrągłych łańcuchach dostaw. Badania wykorzystujące tę technikę często koncentrują się na minimalizacji zużycia paliwa, redukcji emisji i poprawie wydajności usług - celach ściśle związanych z naciskiem GOZ na ochronę zasobów i odporność systemu.

Techniki głębokiego uczenia, w tym konwolucyjne sieci neuronowe (CNN), zyskują na popularności w zastosowaniach obejmujących rozpoznawanie obrazów, klasyfikację i analizę sensoryczną. Są one szczególnie skuteczne w automatyzacji sortowania odpadów, wykrywaniu zanieczyszczeń w materiałach nadających się do recyklingu lub ocenie jakości odnowionych towarów. Głębokie uczenie się umożliwia szybką, skalowalną automatyzację procesów klasyfikacji materiałów, co ma zasadnicze znaczenie dla zwiększenia wskaźników odzysku i ograniczenia pracochłonnych operacji w infrastrukturze GOZ.

Wreszcie, Explainable AI (XAI) stała się kluczową innowacją tam, gdzie wymagana jest przejrzystość i odpowiedzialność modelu. W przeciwieństwie do tradycyjnych modeli ML typu „black-box”, XAI zapewnia wgląd w czynniki wpływające na prognozy, wspierając podejmowanie decyzji w zakresie polityki środowiskowej, planowania redukcji emisji lub zrównoważonego rozwoju obszarów miejskich. Modele takie jak XGBoost, w połączeniu z wartościami SHAP (SHapley Additive exPlanations), mogą ujawnić najbardziej wpływowe zmienne wpływające na wyniki zrównoważonego rozwoju, umożliwiając bardziej świadome i uzasadnione interwencje w zarządzaniu GOZ.

Razem te podejścia ML tworzą komplementarny zestaw narzędzi do operacjonalizacji obiegu zamkniętego. Ich zastosowanie sięga od przewidywania i optymalizacji po automatyzację i zgodność - każde z nich wspiera systemowe przeprojektowanie systemów produkcji, konsumpcji i odzysku potrzebnych do przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym.

Podejścia oparte na uczeniu maszynowym w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym

Sztuczna inteligencja (AI) jest coraz częściej uznawana za strategiczny czynnik umożliwiający rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym. Zamiast służyć jako technologia tła, sztuczna inteligencja stopniowo kształtuje projektowanie, kontrolę i optymalizację systemów o obiegu zamkniętym w różnych sektorach. Od rolnictwa po planowanie urbanistyczne, od odzyskiwania materiałów po zarządzanie cyklem życia produktu, sztuczna inteligencja ułatwia przejście od liniowych modeli "weź-wyprodukuj-wyrzuć" do regeneracyjnych, cyrkularnych systemów, które zmniejszają ilość odpadów i maksymalizują efektywność wykorzystania zasobów.

Jednym z najwyraźniejszych zastosowań sztucznej inteligencji w CE jest modelowanie predykcyjne w celu optymalizacji zasobów. W sektorze rolnictwa o obiegu zamkniętym Pitakaso i in. (2025) zastosowali uczenie ze wzmocnieniem i sztuczną inteligencję wielokrotną do optymalizacji tras i planowania logistyki floty trzciny cukrowej. System ten z powodzeniem zminimalizował zużycie paliwa i emisje, przyczyniając się do stosowania praktyk rolniczych o obiegu zamkniętym, które zamykają pętlę wykorzystania biomasy (Pitakaso i in., 2025). Podobnie Kravchenko i in. (2025) wykorzystali regresję wektorów nośnych do przewidywania właściwości chemicznych biowęgla pochodzącego z odpadów spożywczych. Ich praca wspiera precyzyjną inżynierię systemów przetwarzania odpadów w energię, zapewniając, że produkcja biowęgla jest zgodna z celami GOZ poprzez maksymalizację ponownego wykorzystania i redukcję pozostałości (Kravchenko i in., 2025).

Innym ważnym obszarem, w którym sztuczna inteligencja przekształca praktyki GOZ, jest sortowanie odpadów i odzyskiwanie materiałów w obiegu zamkniętym. Postępy w wizji komputerowej, w szczególności dzięki głębokiemu uczeniu się, zmieniają wydajność systemów recyklingu. Faghih et al. (2024) wykazali, w jaki sposób konwolucyjne sieci neuronowe (CNN) mogą z dużą dokładnością klasyfikować tekstylia pokonsumenckie według rodzaju tkaniny. Zwiększa to czystość odzyskanych materiałów i wspiera efektywne ponowne wykorzystanie w przemyśle tekstylnym (Faghih i in., 2024). W dziedzinie recyklingu tworzyw sztucznych Abedsoltan i in. (2025) opracowali model hybrydowy wykorzystujący Random Forest i ANN do symulacji procesów hydrolizy PET, pomagając firmom zajmującym się recyklingiem poprawić zarówno wydajność, jak i czystość tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu w systemach o obiegu zamkniętym (Abedsoltan i in., 2025).

Sztuczna inteligencja odgrywa również kluczową rolę w systemach miejskich o obiegu zamkniętym. W inteligentnych miastach sztuczna inteligencja umożliwia bardziej zrównoważoną infrastrukturę poprzez dynamiczne zarządzanie zasobami, takimi jak woda i odpady. Ojadi et al. (2024) zastosowali prognozowanie szeregów czasowych oparte na sztucznej inteligencji w celu optymalizacji zużycia wody i zarządzania odpadami stałymi w środowiskach miejskich, umożliwiając miastom dostosowanie się w czasie rzeczywistym do wzorców konsumpcji i zmniejszenie obciążenia środowiska (Ojadi et al., 2024). Poza wydajnością operacyjną, sztuczna inteligencja przyczynia się do strategicznego planowania urbanistycznego. Wang i in. (2025) wykorzystali Explainable AI (XAI), łącząc wartości XGBoost i SHAP, do oceny wydajności inicjatyw związanych z emisją dwutlenku węgla w miastach pilotażowych w Chinach. Ich odkrycia oferują cenny wgląd w politykę dotyczącą tego, które zmienne najsukutekniej zmniejszają emisje, zwiększając tym samym przejrzystość danych w zarządzaniu GOZ (Wang i in., 2025).

Systemy przemysłowe i łańcuchy dostaw również korzystają z integracji sztucznej inteligencji w projektowaniu cyrkularnym. Ghanavati-Nejad et al. (2025) opracowali stochastyczny model sztucznej sieci neuronowej wspierający wybór dostawców w oparciu o wskaźniki odporności i gospodarki o obiegu zamkniętym. Model ten pomaga producentom w uwzględnianiu kryteriów zrównoważonego rozwoju w zamówieniach, realizując cele takie jak regeneracja i etyczne pozyskiwanie (Ghanavati-Nejad i in., 2025).

Podobnie Meena i in. (2025) przedstawili ramy wspomagania procesów decyzyjnych dla łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym, które wykorzystują sztuczną inteligencję do zrównoważenia potrójnej linii przewodniej: efektywności ekonomicznej, zarządzania środowiskiem i odpowiedzialności społecznej (Meena i in., 2025).

Patrząc w przyszłość, pojawiają się bardziej wyrafinowane aplikacje w postaci ekosystemów przemysłowych koordynowanych przez sztuczną inteligencję. Telesca (2025) zaproponował model inteligentnego zrównoważonego rozwoju (SSD) do zarządzania strefami ekoprzemysłowymi przy użyciu sztucznej inteligencji w celu zintegrowania wskaźników wydajności GOZ, polityki zagospodarowania przestrzennego oraz danych dotyczących przepływu energii i materiałów w czasie rzeczywistym. Model ten przewiduje zaaranżowany system, w którym branże dzielą się zasobami i synchronizują działania w oparciu o inteligentną analitykę (Telesca, 2025).

Zastosowania uczenia maszynowego w gospodarce o obiegu zamkniętym

Tabela przedstawia kluczowe zastosowania uczenia maszynowego (ML) w gospodarce o obiegu zamkniętym. Każdy wpis pokazuje, w jaki sposób techniki ML - w tym nadzorowane, nienadzorowane, wzmacniające i głębokie uczenie się - umożliwiają optymalizację zasobów, redukcję odpadów, klasyfikację materiałów i zdolność adaptacji systemu. Przegląd łączy każde podejście z konkretnymi funkcjami gospodarki o obiegu zamkniętym, oferując wgląd w to, jak inteligentne narzędzia wspierają rozwiązania regeneracyjne, o niskim wpływie i oparte na danych w różnych branżach

Tytuł	Autorzy	Tytuł	Autorzy	Tytuł	Autorzy
Mapping Aquatic Weed Yields for Biochar Production	Banda et al. (2025)	Supervised Learning	Artificial Neural Networks (ANN)	Predicting biomass yield for biochar production	Converts biomass into energy, optimizing bioresource flows
Bio-Circular Green Economy in Agriculture	Pitakaso et al. (2025)	Reinforcement Learning	RL with Artificial Multiple Intelligence	Fleet routing and scheduling for biomass logistics	Optimizes transport emissions and resource recovery in agriculture
Supplier Selection in Circular Supply Chains	Ghanavati-Nejad et al. (2025)	Supervised Learning	Stochastic ANN Models	Selecting suppliers based on resilience and circularity	Enhances sustainability and agility in supply chain networks

Tytut	Autorzy	Typ ML	Algorytm	Zastosowanie	GOZ Wplyw
PET Hydrolysis Modeling for Circular Plastics	Abedsoltan et al. (2025)	Supervised Learning	Random Forest, ANN	Modeling efficiency of PET waste hydrolysis process	Enables closed-loop recycling of plastic through chemical process optimization
Urban Circular Carbon Economy Analysis	Wang et al. (2025)	Explainable AI (XAI)	XGBoost with SHAP analysis	Assessing sustainability performance of Chinese pilot cities	Supports urban planning aligned with CE via carbon footprint insights
AI for Biochar Property Prediction	Kravchenko et al. (2025)	Supervised Learning	Support Vector Regression (SVR)	Predicting biochar properties from food waste	Optimizes waste-to-value pathways in organic waste processing
Reimagining Compliance Through AI in Waste-to-Value Systems	Ashraf & Mustafa (2024)	Un-supervised Learning	Anomaly Detection, Pattern Mining	Monitoring compliance in digital waste valorization processes	Ensures ethical and traceable circular waste flows
AI-Driven Optimization of Water Usage and Waste in Smart Cities	Ojadi et al. (2024)	Supervised Learning	Time Series Forecasting	Optimizing urban water and waste systems	Promotes closed-loop urban resource cycles
AI-Enabled Textile Waste Sorting	Faghih et al. (2024)	Computer Vision / Deep Learning	Convolutional Neural Networks (CNN)	Classifying post-consumer textile waste for recycling	Improves recovery rates and purity in textile reuse streams
Waste Valorization Meets AI: SME Growth and Inequality	Abbas & Mustafa (2024)	Deep Learning	Multi-layer Perceptron	Predicting value extraction from recycled materials	Strengthens inclusive and scalable waste-to-resource systems

Sztuczna inteligencja w gospodarce o obiegu zamkniętym: Szanse i zagrożenia

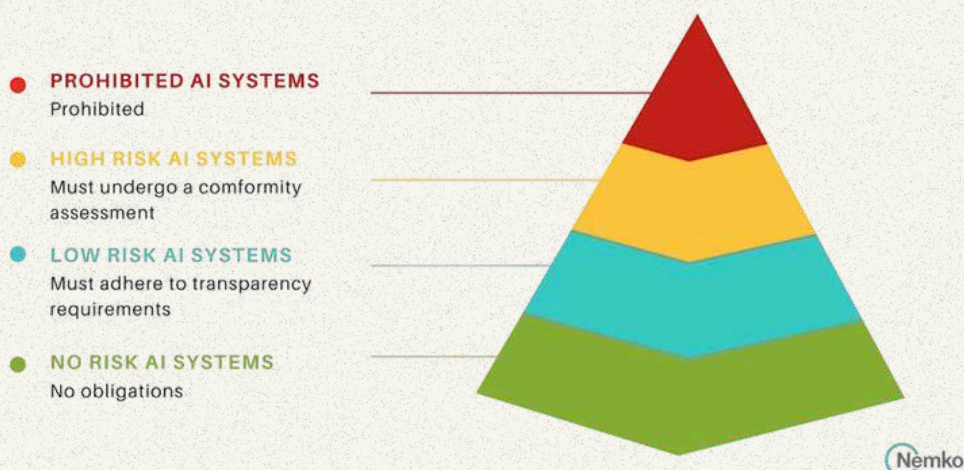
W miarę jak systemy sztucznej inteligencji stają się coraz bardziej osadzone w infrastrukturach gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), ich rola ewoluuje od wsparcia analitycznego do autonomicznej kontroli i zarządzania predykcyjnego. Pojawiające się zastosowania obejmują oceny cyklu życia w czasie rzeczywistym (Kravchenko i in., 2025), mikrosieci energetyczne sterowane za pomocą sztucznej inteligencji, dynamiczną logistykę dla łańcuchów dostaw o obiegu zamkniętym (Pitakaso i in., 2025) oraz autonomiczne systemy identyfikowalności do monitorowania przepływów materiałów. Narzędzia te obiecują znaczny wzrost wydajności, przejrzystości i zrównowżenia ekologicznego. Dzięki zaawansowanemu uczeniu się, rozpoznawaniu wzorców i adaptacyjnemu podejmowaniu decyzji, sztuczna inteligencja wspiera cele związane z projektowaniem odpadów, regeneracją ekosystemów i zamykaniem pętli zasobów w różnych branżach.

Możliwości te wiążą się jednak z krytycznymi wyzwaniami. Etyczne zarządzanie sztuczną inteligencją pozostaje słabo rozwinięte w wielu kontekstach Europy Środkowo-Wschodniej, gdzie utrzymują się obawy dotyczące stronniczości algorytmów, nieprzejrzystości danych i wykluczenia z procesu decyzyjnego (Floridi i in., 2018). Niekontrolowane tego rodzaju zagrożenia mogą potęgować niesprawiedliwości środowiskowe lub podważać demokratyczną kontrolę. Przykładowo, oparta na sztucznej inteligencji automatyzacja systemów recyklingu może marginalizować pracowników nieformalnych lub małe firmy zajmujące się recyklingiem, zwłaszcza w gospodarkach o niskich dochodach, w których dostęp do infrastruktury cyfrowej pozostaje ograniczony (Vinuesa i in., 2020). Tymczasem cyrkularne łańcuchy dostaw w coraz większym stopniu opierają się na gromadzeniu danych na dużą skalę - za pomocą czujników, inteligentnych kontraktów lub śledzenia zachowań konsumentów - co budzi obawy dotyczące suwerenności danych i prywatności.

Obawy te są obecnie przedmiotem uwagi organów regulacyjnych. Ustawa Unii Europejskiej o sztucznej inteligencji (EU AI Act) wprowadza ramy prawne, które kategoryzują systemy sztucznej inteligencji w oparciu o ich potencjalne ryzyko, ze szczególnymi przepisami dotyczącymi systemów wysokiego ryzyka wykorzystywanych w zarządzaniu środowiskiem, infrastrukturze miejskiej i kontroli przemysłowej (Komisja Europejska, 2021/2024). Ustawa o sztucznej inteligencji nakazuje przejrzystość, nadzór ludzki i odpowiedzialność algorytmiczną za takie systemy - zasady, które są szczególnie istotne w przypadku, gdy sztuczna inteligencja jest wykorzystywana do monitorowania emisji, optymalizacji zużycia energii lub egzekwowania zgodności z GOZ.

Unijna ustawa o sztucznej inteligencji wprowadza ramy oparte na ryzyku, które klasyfikują systemy sztucznej inteligencji na czterech poziomach o strukturze piramidy. Struktura ta pomaga zapewnić proporcjonalność regulacji: im wyższe potencjalne ryzyko dla ludzi, społeczeństwa lub środowiska stwarza system sztucznej inteligencji, tym surowsze są wymagania regulacyjne.

EU AI Act: Risk Levels



Rysunek 4: Ustawa UE o sztucznej inteligencji: Poziomy ryzyka. Źródło: <https://www.nemko.com/blog/a-quick-dive-into-the-eu-ai-act>

Na szczycie piramidy znajdują się systemy AI o niedopuszczalnym ryzyku, które są uważane za zbyt niebezpieczne, aby mogły być dopuszczone do obrotu na rynku UE. Systemy te są całkowicie zakazane. W kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym, przykładem może być system sztucznej inteligencji wykorzystywany do manipulowania konsumentami poprzez zwodnicze taktyki marketingu ekologicznego - na przykład poprzez wykorzystywanie komunikatów podprogowych do fałszywego przedstawiania produktu jako zrównoważonego środowiskowo. Jeśli taki system wykorzystuje wrażliwe populacje (takie jak dzieci lub osoby starsze), należałoby do tej kategorii najwyższego ryzyka i byłby zabroniony.

Kolejnym poziomem są systemy AI wysokiego ryzyka, które nie są zakazane, ale muszą spełniać surowe wymogi dotyczące przejrzystości, jakości danych, nadzoru ludzkiego i zarządzania ryzykiem. W gospodarce o obiegu zamkniętym może to obejmować systemy sztucznej inteligencji wykorzystywane w zautomatyzowanych sortowniach odpadów, które klasyfikują materiały do recyklingu. Innym przykładem może być sztuczna inteligencja, która zarządza krytycznymi systemami energetycznymi w inteligentnym mieście lub optymalizuje dystrybucję towarów wielokrotnego użytku. Chociaż systemy te wspierają cele zrównoważonego rozwoju, każdy błąd lub stronniczość może mieć poważne konsekwencje, takie jak szkody dla środowiska lub niewłaściwa alokacja zasobów - dlatego są one uważane za obciążone wysokim ryzykiem.

Poniżej znajdują się systemy AI o ograniczonym ryzyku, które podlegają głównie wymogom przejrzystości. Systemy te mogą wchodzić w interakcje z użytkownikami lub wpływać na podejmowanie decyzji, ale prawdopodobieństwo wyrządzenia szkody jest mniejsze. Na przykład cyfrowy asystent lub chatbot, który prowadzi konsumentów w zakresie ponownego użycia lub recyklingu produktów, należy do tej kategorii.

Te narzędzia AI muszą informować użytkowników, że wchodzą w interakcję z systemem AI i mogą wymagać wyjaśnienia, w jaki sposób generowane są rekomendacje (np. sugerowanie produktów używanych lub opcji naprawy w oparciu o preferencje użytkownika).

U podstawy piramidy znajdują się systemy sztucznej inteligencji o minimalnym lub zerowym ryzyku, które nie podlegają żadnym konkretnym ograniczeniom prawnym na mocy ustawy o sztucznej inteligencji. Obejmują one najbardziej powszechne zastosowania, które nie wpływają znacząco na prawa lub bezpieczeństwo ludzi. W gospodarce o obiegu zamkniętym może to być sztuczna inteligencja wykorzystywana w logistyce wewnętrznej, taka jak optymalizacja tras dla ciężarówek do recyklingu lub narzędzia do konserwacji predykcyjnej maszyn w zakładzie recyklingu. Te zastosowania poprawiają wydajność i zrównoważony rozwój, ale nie budzą wątpliwości etycznych ani prawnych, więc są swobodnie dozwolone.

Piramida AI Act zapewnia, że zastosowania sztucznej inteligencji w obszarach takich jak gospodarka o obiegu zamkniętym są odpowiednio regulowane w zależności od ich wpływu. Systemy o krytycznym znaczeniu dla dobrobytu publicznego lub środowiskowego podlegają wyższym standardom, podczas gdy narzędzia o niższym ryzyku są promowane przy minimalnej ingerencji.

Osiągnięcie sprawiedliwej i skutecznej gospodarki o obiegu zamkniętym opartej na sztucznej inteligencji wymaga czegoś więcej niż tylko zgodności z przepisami. Wymaga odpowiedzialnego projektowania, inkluzywnego zarządzania i innowacji skoncentrowanych na sprawiedliwości. Decyzje algorytmiczne muszą być wytłumaczalne, identyfikowalne i możliwe do skontrolowania. Społeczności dotknięte automatyzacją - w szczególności te z wrażliwych systemów pracy lub systemów ekologicznych - muszą mieć głos w sposobie projektowania i wdrażania systemów sztucznej inteligencji. Włączenie zasad sprawiedliwości środowiskowej do AI dla GOZ gwarantuje, że dążenie do zrównoważonego rozwoju nie odbywa się kosztem sprawiedliwości.

Podsumowując, podczas gdy sztuczna inteligencja ma ogromny potencjał do skalowania modeli obiegu zamkniętego, jej wdrażanie musi być kierowane zabezpieczeniami etycznymi. Ramy takie jak EU AI Act stanowią punkt wyjścia, ale ciągły dialog między decydentami, technologami i społeczeństwem obywatelskim będzie miał zasadnicze znaczenie dla zapewnienia, że inteligencja cyrkularna jest nie tylko inteligentna, ale także sprawiedliwa, inkluzywna i odpowiedzialna.

Źródła

Abbas, S., & Mustafa, M. (2024). Waste valorization meets AI: SME growth and inequality. Working Paper, ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390629994>

Abedsoltan, R., Jafari, R., Rastegar, M., & Brar, S. K. (2025). Modeling and optimization of enzymatic hydrolysis for PET plastic using machine learning. SSRN. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5223492

Almashaleh, I., Wicaksono, H., & Valilai, O. F. (2025). A framework for social media analytics in textile business circularity for effective digital marketing. Smart Cities and Society, 1(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853125000794>

Ashraf, M., & Mustafa, M. (2024). Reimagining compliance through AI in waste-to-value systems. Working Paper, ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390630356>

Aslam, M., & Mustafa, M. (2024). From waste to wealth: AI and FinTech strategies for equitable SME development. Working Paper, ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390630431>

Banda, M., Simukoko, M., & Kalumba, M. (2025). Utilizing machine learning to map aquatic weed yields for biochar production: A case study in the Bangweulu Wetlands, Zambia. 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). AI-enabled textile waste classification for sustainable recycling: A deep learning approach. Sustainability, 17(10), 4264. <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/10/4264>

Ghanavati-Nejad, M., Jolai, F., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2025). Supplier selection for resilient-leagile circular supply chains using stochastic ANN-based models. Soft Computing. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00500-025-10578-z>

Kravchenko, J., Bockel, L., & Li, Y. (2025). Predicting biochar properties from food waste using support vector regression. Waste Management & Research. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343725014873>

Meena, P. L., Ghadge, A., & Kumar, V. (2025). A triple bottom line approach to circular supply chain optimization using artificial intelligence. *Annals of Operations Research*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-025-06510-1>

Ojadi, F., Eze, S. C., & Adeleke, I. (2024). AI-driven optimization of water usage and waste in smart cities. Working Paper, ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/390695591>

Pitakaso, R., Jittamai, W., & Chaitiamwong, N. (2025). Bio-circular green economy development in agriculture using reinforcement learning. *Computers and Electronics in Agriculture*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816992500537X>

Telesca, L. (2025). A systemic sustainable development model for industrial circular economy in special economic zones. University of Basilicata Doctoral Thesis. <https://iris.unibas.it/bitstream/11563/196975/1/tesi%20dottorato%20di%20ricerca%20Lo%20VECCHIO%20con%20firme.pdf>

Wang, L., Xu, Y., & Zhang, T. (2025). Explainable machine learning to evaluate circular carbon performance in pilot cities. *Environmental Development*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095525001233>

5. Wyniki ankiety na temat podejścia cyrkularnego w programach nauczania szkół średnich

Ocena ta opiera się na ankiecie, która została przeprowadzona w czterech publicznych szkołach średnich w konsorcjum projektu z jednym przedstawicielem każdej szkoły: FIFTH GENERAL LYCEUM Larisas (FGLL, Grecja), Fritz-Greve-Gymnasium (FGGM, Niemcy), Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Józefa Piłsudskiego (ZAiO, Polska) i Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Turcja). Badanie zostało przeprowadzone w celu zebrania informacji na temat programów nauczania, istniejących praktyk i potrzeb w zakresie edukacji CE. Podczas gdy wszystkie uczestniczące szkoły zgłosiły pewne włączenie tematów GOZ do swoich krajowych lub regionalnych programów nauczania, głębokość i zakres tego włączenia różnią się znacznie w zależności od kraju.

Wszystkie szkoły stwierdziły, że ich krajowe/regionalne programy nauczania zawierają konkretne tematy związane z GOZ, z zastrzeżeniem, że w Polsce tylko niewielka część niektórych przedmiotów jest poświęcona GOZ.

Wszystkie cztery szkoły przyznają, że tematy związane z G Zsą częścią formalnego programu nauczania, głównie w ramach przedmiotów ścisłych (np. biologia, chemia, fizyka) i humanistycznych (np. historia, nauki społeczne, ekonomia). W Turcji i Polsce zakres ten jest szerszy i obejmuje informatykę oraz języki obce w obu szkołach, a w Turcji dodatkowo sztukę. Jednak w Niemczech kładzie się większy nacisk na ogólnie pojęty zrównoważony rozwój, a nie bezpośrednio na GOZ.

W Grecji, Polsce i Niemczech powszechne jest włączanie tematów GOZ do istniejących przedmiotów. Turcja wyróżnia się naciskiem na uczenie się w oparciu o projekty oraz wykorzystanie technologii i narzędzi cyfrowych. W Polsce jest ona ponadto włączana do zajęć pozalekcyjnych i współpracy z organizacjami zewnętrznymi, podczas gdy niemiecka szkoła dodatkowo stosuje uczenie się oparte na projektach.

Wszystkie szkoły uwzględniają podstawowe tematy GOZ w swoich programach nauczania, przy czym Polska ma najbardziej kompleksowy program. Zmiany klimatu są uwzględniane we wszystkich szkołach, bioróżnorodność w Grecji, Polsce i Niemczech, energia odnawialna i zrównoważona konsumpcja w Turcji, Polsce i Niemczech oraz gospodarka odpadami i recykling w Grecji, Turcji i Polsce. Polska i Niemcy dodatkowo uwzględniają ochronę wody oraz sprawiedliwość i równość społeczną. Etyka środowiskowa jest tylko częścią greckiego programu nauczania.

Niemcy ponownie wskazują na mniej wyraźny zakres tematyczny, zauważając, że tematy takie jak produkcja energii mogą być nauczane bez nauczania o energii odnawialnej jako takiej. To zróżnicowanie sugeruje, że chociaż tematy związane z GOZ są obecne, terminologia i zakres mogą się różnić, potencjalnie prowadząc do niespójności w zrozumieniu przez uczniów.

Jedynie w Turcji cele zrównoważonego rozwoju są wyraźnie uwzględnione w programie nauczania. Polska i Niemcy wskazują na częściowe odniesienie, podczas gdy Grecja nie wskazuje na żadne. Jest to istotne, ponieważ cele zrównoważonego rozwoju stanowią globalnie uznawane ramy, które dobrze pasują do edukacji europejskiej i mogą przyczynić się do bardziej spójnej strategii edukacyjnej.

Wszystkie szkoły zadeklarowały, że nie stosują żadnych konkretnych ram ani wytycznych do analizy programów nauczania (np. UNESCO Education for Sustainable Development, ramy lokalne) i że uczniowie, ale nie rodzice, są zaangażowani w edukację społeczną w ich szkole.

Poza programem nauczania, szkoły zostały zapytane o włączenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym do swoich praktyk nauczania. Grecja angażuje je jako część programu nauczania i programów środowiskowych, podczas gdy Turcja kładzie nacisk na uczenie się oparte na projektach CE, które jest zintegrowane z ich działaniami w klasie. Polska szkoła angażuje uczniów w zajęcia pozalekcyjne prowadzone przez nauczycieli oraz poprzez łączenie działań z organizacjami zewnętrznymi lub społecznościami lokalnymi. W Niemczech jest to również realizowane w ramach regularnych lekcji lub poprzez uruchamianie specjalnych projektów.

Polska jest jedyną szkołą, która aktywnie współpracuje z organizacjami zewnętrznymi w celu promowania edukacji GOZ. Wszystkie pozostałe szkoły wskazują na brak takiej współpracy, co stanowi ważny obszar potencjalnej poprawy w zakresie praktycznych możliwości uczenia się w „prawdziwym świecie”. Od strony praktycznej wszystkie szkoły organizują wydarzenia związane ze zrównoważonym rozwojem (np. Dzień Ziemi, targi ekologiczne), a większość szkół prowadzi dodatkowe programy recyklingu (Grecja, Polska, Niemcy). Ponadto, Turcja i Polska oferują projekty sadzenia drzew lub ogrodnictwa, podczas gdy Turcja również projekty kompostowania, a Polska ponadto akcje sprzątania.

Poziom zaangażowania studentów w projektowanie lub wdrażanie projektów CE również jest zróżnicowany: Polska wskazuje na aktywne zaangażowanie, Turcja i Niemcy na częściowe, a Grecja na żadne. Odzwierciedla to różne modele kultury szkolnej i dostępne zasoby dla inicjatyw prowadzonych przez uczniów. Co więcej, większość szkół nie monitoruje wpływu tych praktycznych działań, a jedynie Polska ocenia wyniki zajęć pozalekcyjnych.

Żadna szkoła nie oferuje formalnego szkolenia nauczycieli w zakresie GOZ, a zasoby są na ogół niewystarczające. Nauczyciele polegają na materiałach drukowanych (Grecja, Niemcy, Turcja), warsztatach, zasobach i narzędziach cyfrowych (Turcja) lub samodzielnie pozyskiwanych treściach (Polska). Turecka szkoła jest stosunkowo lepiej wyposażona niż inne, podczas gdy Polska podkreśla potrzebę scentralizowanego centrum wiedzy na temat materiałów GOZ.

Najczęściej wymieniane bariery we wdrażaniu edukacji ustawicznej obejmują:

- ✦ Brak zasobów, takich jak materiały dydaktyczne i finansowanie (wszystkie szkoły)
- ✦ Ograniczona elastyczność programu nauczania (wszystkie szkoły)
- ✦ Niewystarczające szkolenie nauczycieli (Grecja, Polska, Niemcy)
- ✦ Niewystarczające umiejętności nauczycieli (Turcja)
- ✦ Przeciężenia biurokratyczne (szczególnie zauważalne w Niemczech)
- ✦ Brak wsparcia instytucjonalnego i ram polityki edukacyjnej (szczególnie w Turcji i Polsce)
- ✦ Brak zainteresowania uczniów (Turcja)
- ✦ Ograniczony czas, jaki nauczyciele mogą poświęcić na GOZ, ponieważ musi być ono przygotowywane dobrowolnie (szczególnie w Niemczech i Polsce)

Wyzwania te odzwierciedlają szersze kwestie systemowe związane z odpowiednimi politykami edukacyjnymi, a jednocześnie pokazują możliwości zmian na poziomie szkoły. Polska i Niemcy wskazują na najbardziej rozwinięte projekty związane z CE. Polska wymienia inicjatywy takie jak „Zielona pracownia”, „Debaty oksfordzkie”, projekty dotyczące odpadów elektrycznych, „Klasa pod chmurką (Arboretum)”, „Dzień Ziemi” i „Sprzątanie świata”, „Eco-Wave” podczas gdy Niemcy prezentują firmę szkolną „Freiday” dostarczającą i sprzedającą żywność w kubkach wielokrotnego użytku oraz zaplanowany długoterminowy projekt uczniowski szkolny ogród dostarczający produkty dla tej firmy. W tym kontekście uczniowie mają możliwość tworzenia i realizowania własnych pomysłów na projekty, a zwycięski projekt jest promowany. Grecka szkoła wdrożyła niedawno program Erasmus+ zatytułowany „Let's Get Green - podnoszenie świadomości na temat problemów ekologicznych”, a w Turcji nie zrealizowano jeszcze żadnych udanych projektów w tym obszarze.

Zaangażowanie uczniów, choć zróżnicowane, jest bardziej widoczne tam, gdzie istnieją możliwości pozalekcyjne i projektowe. Polscy uczniowie są aktywnie zaangażowani we wszystkie działania organizowane przez szkołę i organizacje zewnętrzne oraz wykazują świadomość zagrożeń związanych ze zmianami klimatycznymi, ponownym wykorzystaniem materiałów, recyklingiem i oszczędzaniem. W Niemczech uczniowie są zaangażowani w wyżej wymienione projekty. Z kolei zaangażowanie greckich uczniów ogranicza się do recyklingu, a w tureckiej szkole do opisanych działań edukacyjnych opartych na projektach.

Potrzeby i zalecenia

Aby poprawić edukację CE, szkoły wyraziły wyraźne potrzeby w zakresie:

- + Większa elastyczność programu nauczania i więcej czasu przeznaczonego na GOZ, np. na interdyscyplinarne projekty szkolne lub nowe przedmioty związane z GOZ (zwłaszcza Niemcy i Grecja)
- + Praktyczne zasoby dydaktyczne dostosowane do GOZ (wszystkie kraje)
- + Możliwości szkolenia nauczycieli i wymiany partnerskiej (Polska)
- + Silniejsze wsparcie instytucjonalne i polityczne, w tym mniej biurokracji (Niemcy)
- + Współpraca z organizacjami zewnętrznymi i przemysłem (Niemcy)

Sugestia ZAiO (Polska) dotycząca scentralizowanego ośrodka wiedzy potwierdza potrzebę realizacji tego projektu i jest szczególnie obiecująca, ponieważ może sprostać kilku wyzwaniom jednocześnie - brakom w zasobach, wsparciu nauczycieli i kontroli jakości.

Wnioski

Dane ankietowe ujawniają wspólne uznanie znaczenia edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym, ale także znaczne różnice we wdrażaniu, głębokości i wsparciu. Polska wydaje się być najbardziej zaawansowana pod względem zaangażowania uczniów, różnorodności tematów i współpracy zewnętrznej, podczas gdy Turcja wykazuje duży potencjał dzięki infrastrukturze cyfrowej i podejściu opartemu na projektach. Niemcy i Grecja podkreślają wyzwania strukturalne i systemowe, które ograniczają głębokość integracji GOZ pomimo zainteresowania nauczycieli.

Aby iść naprzód, potrzebne są:

- + Dostosowanie polityki krajowej do zasad GOZ i SDG
- + Inwestycje w szkolenia i materiały dla nauczycieli
- + Wsparcie dla interdyscyplinarnego uczenia się opartego na projektach
- + Wzmocniona współpraca z podmiotami zewnętrznymi

Takie kroki pomogłyby przekształcić odizolowane wysiłki w bardziej spójny, skuteczny system edukacji GOZ w całej Europie. Badanie podkreśla znaczenie projektu CircEdu, ponieważ odnosi się on do kilku z tych punktów.

6. Wyniki ankiety na temat poglądów, doświadczeń i potrzeb nauczycieli w zakresie edukacji GOZ szkołach

Poniższe wyniki podsumowują ocenę ankiety przeprowadzonej z udziałem około połowy kadry nauczycielskiej każdej z czterech publicznych szkół średnich wchodzących w skład konsorcjum projektu: FIFTH GENERAL LYCEUM Larisas (FGLL, Grecja), Fritz-Greve-Gymnasium (FGGM, Niemcy), Zespołu Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Józefa Piłsudskiego (ZAiO, Polska) i Hadiye Kuradaci Bilim Ve Sanat Merkezi Tarsus (HKB, Türkiye). Badanie miało na celu ocenę perspektyw, doświadczeń i potrzeb nauczycieli w zakresie edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym w szkołach. W sumie na ankietę odpowiedziało 56 nauczycieli, w tym 15 nauczycieli z Grecji, 19 z Polski, 11 z Niemiec i 12 z Turcji.

Obszary tematyczne

W Niemczech największy odsetek nauczycieli specjalizuje się w językach obcych (33,3%), następnie w naukach humanistycznych (np. historia, nauki społeczne, ekonomia) (26,7%), naukach ścisłych (np. biologia, chemia, fizyka) (20%) i sztuce (13,3%). Informatyka jest najrzadziej reprezentowana (6,7%).

W Grecji większość respondentów uczy przedmiotów ścisłych (35,7%), a następnie przedmiotów humanistycznych (28,6%). Języki i matematyka stanowią po 14,3%, a starożytna greka i łacina - 7,1%. Warto zauważyć, że sztuka i informatyka nie są tu reprezentowane.

Polska wykazuje bardziej zróżnicowany udział. Przedmioty ścisłe, humanistyczne i języki obce są reprezentowane w równym stopniu (po 18,2%). Dodatkowe obszary obejmują lekcje edukacyjne, wychowanie do życia w rodzinie, wsparcie dla uczniów, hotelarstwo, informatykę, matematykę, nauki ścisłe, gastronomię, kształcenie zawodowe, doradztwo zawodowe i wychowanie fizyczne, każdy po 4,5%.

W Turcji najliczniej reprezentowanym przedmiotem jest informatyka (33,3%), a następnie nauki ścisłe (26,7%), języki obce (20%), sztuka (13,3%) i nauki humanistyczne (6,7%).

Lata doświadczenia w nauczaniu

Jeśli chodzi o doświadczenie, Grecja, Polska i Turcja wykazują zdecydowaną większość bardzo doświadczonych nauczycieli. W Grecji 92,9% nauczycieli uczy od ponad 10 lat, a niewielka mniejszość (7,1%) ma mniej niż 2 lata doświadczenia. Polska odzwierciedla podobny trend, z 84,2% nauczycieli z ponad 10-letnim doświadczeniem i 15,8% z doświadczeniem w przedziale 2-5 lat.

Z tym modelem koresponduje również Turcja, gdzie 83,3% posiada ponad 10-letnie doświadczenie, a 16,7% należy do kategorii 6-10 lat. Z drugiej strony, Niemcy charakteryzują się bardziej zrównoważonym rozkładem. Podczas gdy 45,5% respondentów ma ponad 10-letnie doświadczenie, znaczna część (27,3%) uczy od 2 do 5 lat, a 18,2% od 6 do 10 lat. Ponadto 9,1% to osoby stosunkowo nowe w zawodzie z doświadczeniem krótszym niż 2 lata.

Szkolenie w zakresie gospodarki

o obiegu zamkniętym Szkolenie w zakresie koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym pozostaje na niskim poziomie we wszystkich badanych krajach. Nauczyciele w Niemczech, Grecji i Turcji deklarują brak formalnego szkolenia w tym obszarze, co podkreśla brak instytucjonalnego nacisku na ten temat. Na tym tle wyróżnia się Polska, gdzie 31,6% respondentów wskazało, że otrzymało jakąś formę szkolenia. Jednak nawet w Polsce takie szkolenia nie są jeszcze powszechne. Wskazuje to na systemowe zapotrzebowanie na możliwości rozwoju zawodowego dostosowane do edukacji w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Zrozumienie gospodarki o obiegu zamkniętym przez nauczycieli

Nauczyciele generalnie wykazują podstawowe zrozumienie gospodarki o obiegu zamkniętym, podczas gdy jej głębokość i zakres były bardzo zróżnicowane.

Polscy nauczyciele przedstawili najbardziej kompleksowe definicje, często odnosząc się do zrównoważonego rozwoju, odpowiedzialności za środowisko i cyklu życia produktu. Ogólnie rzecz biorąc, zrozumienie podstawowych zasad gospodarki o obiegu zamkniętym było duże: ponowne wykorzystywanie, recykling, redukcja odpadów, zrównoważony rozwój, wydłużenie cyklu życia. Niektórzy podkreślali wpływ edukacyjny: świadomość wartości i zmianę zachowań. Inni uznali rolę programu nauczania i kształcenia zawodowego (np. usługi gastronomiczne, hotelarstwo). Niektóre odpowiedzi łączyły gospodarkę o obiegu zamkniętym z globalnymi wyzwaniami środowiskowymi (np. zmianami klimatu).

Odpowiedzi udzielone w Niemczech koncentrowały się bardziej na wymiarze ekonomicznym i społecznym: Definicje kładą nacisk na myślenie systemowe, obejmujące społeczeństwo, gospodarkę, instytucje i cykle zasobów. Koncentrują się na procesach o obiegu zamkniętym, z pewnym zainteresowaniem tym, jakie zastosowanie ma gospodarka o obiegu zamkniętym w samej szkole. Stanowi to analityczne spojrzenie na efektywność wykorzystania zasobów i zrównoważony rozwój jako kwestię systemową.

Nauczyciele w Turcji kładli nacisk na praktyczne zastosowania, takie jak ponowne użycie i zrównoważony rozwój w edukacji: Zakres definicji waha się od podstawowego ponownego użycia i recyklingu do głębokich spostrzeżeń pedagogicznych. Na uwagę zasługuje jedna rozbudowana odpowiedź łącząca GOZ z edukacyjnym ekosystemem (zrównoważony rozwój cyfrowy, uczenie się w oparciu o projekty). Niektóre podkreślają świadomość wykorzystania zasobów, zrównoważony rozwój i włączenie do programu nauczania. Inne odpowiedzi wskazują na ograniczoną znajomość tej koncepcji.

IW Grecji odpowiedzi wskazywały na silne powiązanie GOZ z recyklingiem i gospodarką odpadami. W kilku odpowiedziach wspomniano o praktycznych zajęciach i szkoleniach. Niektórzy podkreślają potrzebę zmiany zachowań poprzez praktyczną edukację lub wspominają o eko-szkolach, szkoleniach dla nauczycieli i adaptacji programów nauczania.

Integracja GOZ w nauczaniu

Integracja tematów związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym w ramach programów nauczania jest bardzo zróżnicowana. W Niemczech większość nauczycieli wprowadza tematy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym do istniejących przedmiotów, na co wskazało 36,4% respondentów. Uczenie się oparte na projektach i współpraca z organizacjami zewnętrznymi są stosowane przez 18,2% respondentów, choć nie są one powszechne. 27,3% nauczycieli zgłosiło, że w ogóle nie odnosi się do gospodarki o obiegu zamkniętym w swoim nauczaniu, a 9% dodało, że gospodarka o obiegu zamkniętym jest ledwo wspomniana w klasach średnich II stopnia (11. i 12.).

W greckiej szkole większość respondentów (44,4%) uwzględnia gospodarkę o obiegu zamkniętym w istniejących przedmiotach, zamiast uczyć jej jako odrębnego tematu. Uczenie się w oparciu o projekty i zajęcia pozalekcyjne są wykorzystywane przez 16,7% nauczycieli, podobnie jak współpraca z organizacjami zewnętrznymi. Jednak 26,7% greckich nauczycieli w ogóle nie podejmuje tematyki gospodarki o obiegu zamkniętym, co wskazuje na zauważalne luki w tym zakresie.

Największe wykorzystanie zagadnień związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym w polskiej szkole wynika z dedykowanych lekcji na ten temat, o których wspomniało 36,8% respondentów, oraz integracji z istniejącymi przedmiotami, o której wspomniało 57,9%. Współpraca z organizacjami zewnętrznymi jest praktykowana przez 21,1% nauczycieli, podczas gdy uczenie się w oparciu o projekty i zajęcia pozalekcyjne są rzadziej stosowane. Tylko 5,3% polskich nauczycieli zgłosiło, że nie uwzględnia tematyki gospodarki o obiegu zamkniętym w nauczaniu swoich przedmiotów, co sugeruje stosunkowo ustrukturyzowane i kompleksowe podejście.

W Turcji gospodarka o obiegu zamkniętym jest wprowadzana głównie poprzez uczenie się oparte na projektach, wykorzystywane przez 75% respondentów, oraz zajęcia pozalekcyjne, wymieniane przez 33,3%. Mniejsza część (8,3%) wskazała na integrację CE z istniejącymi przedmiotami, a 16,7% zgłosiło prowadzenie dedykowanych lekcji. 8,3% podkreśliło wykorzystanie projektów artystycznych z materiałów nadających się do recyklingu jako kreatywną metodę angażowania się w zrównoważony rozwój. Pomimo tych wysiłków, 16,7% tureckich nauczycieli stwierdziło, że gospodarka o obiegu zamkniętym nie jest uwzględniana w ich nauczaniu.

Niemcy i Grecja w dużej mierze integrują gospodarkę o obiegu zamkniętym z istniejącymi przedmiotami, ale nie jest to najważniejszy temat. Polska wykazuje największe zaangażowanie w ustrukturyzowane, dedykowane lekcje, podczas gdy Turcja w dużej mierze stawia na naukę opartą na projektach.

Działania pozaszkolne i współpraca zewnętrzna są we wszystkich krajach niewielkie, co sugeruje potencjalny obszar do zagospodarowania.

Zakres tematów związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym

GOZ koncentruje się głównie na redukcji odpadów, recyklingu i zrównoważonej konsumpcji:

W niemieckiej szkole najczęściej poruszonymi aspektami gospodarki o obiegu zamkniętym w edukacji są zrównoważona konsumpcja i produkcja, uwzględnione przez 72,7% respondentów, oraz redukcja odpadów i recykling, wspomniane przez 63,6%. Do strategii naprawy i ponownego użycia odniesiono się w 36,4% odpowiedzi, podczas gdy cykl życia produktu i efektywność wykorzystania zasobów pojawiły się w zaledwie 9,1%. Warto zauważyć, że 18,2% nauczycieli w ogóle nie poruszało tematów związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym.

W Grecji odnotowano najwyższy odsetek nauczycieli, którzy nie odnosili się do koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym - 33,3% wskazało na brak takiego zakresu. Redukcja odpadów i recykling były najczęściej omawianymi elementami, obecnymi w 40% odpowiedzi, a następnie zrównoważona konsumpcja i produkcja, wymienione przez 20%. Cykl życia produktu i efektywność wykorzystania zasobów zostały zidentyfikowane w 13,3% odpowiedzi.

Działania pozaszkolne i współpraca zewnętrzna są we wszystkich krajach niewielkie, co sugeruje potencjalny obszar do zagospodarowania.

Polscy nauczyciele wykazują szerokie zaangażowanie w tematy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym. Redukcja odpadów i recykling zostały poruszone przez 73,7% nauczycieli, a zrównoważona konsumpcja i produkcja pojawiły się w 52,6% odpowiedzi. Cykl życia produktu i efektywność wykorzystania zasobów zostały wspomniane w 47,4%, a strategię naprawy i ponownego użycia zostały odnotowane przez 42,1% uczestników. Dodatkowo, Ekonomia Współdzielenia i związane z nią koncepcje zostały podkreślone w 26,3% odpowiedzi. 15,8% respondentów wskazało, że nie uwzględnia gospodarki o obiegu zamkniętym w swoim nauczaniu.

W Turcji wszyscy respondenci odnieśli się do co najmniej jednego aspektu gospodarki o obiegu zamkniętym. Redukcja odpadów i recykling zostały uwzględnione przez wszystkich uczestników, podczas gdy 66,7% uwzględniło zrównoważoną konsumpcję i produkcję. Cykl życia produktu i efektywność wykorzystania zasobów zostały odnotowane przez 50% respondentów, a strategię naprawy i ponownego użycia przez 41,7%. Ekonomia Współdzielenia została wspomniana przez 8,3%, a wyjątkowo spośród czterech krajów, Turkiye uwzględniło gospodarkę o obiegu zamkniętym w kontekście planowania urbanistycznego i społeczności, o czym wspomniało 8,3% nauczycieli.

Analiza ta pokazuje różne poziomy integracji tematów gospodarki o obiegu zamkniętym w edukacji w czterech krajach, przy czym Polska i Turcja wykazują najbardziej kompleksowe i spójne zaangażowanie.

Metody nauczania GOZ

Metody nauczania stosowane do wyjaśniania koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym różnią się znacznie w poszczególnych krajach. Tradycyjne wykłady pozostają dominującą metodą, chociaż zajęcia praktyczne i eksperymenty zyskują na popularności we wszystkich krajach, z których Grecja zajmuje ostatnie miejsce. Turcja wyróżnia się większym wykorzystaniem narzędzi cyfrowych i projektów prowadzonych przez studentów. Jednak wykorzystanie nauczania opartego na wykorzystaniu gier i symulacji cyfrowych jest ogólnie niskie we wszystkich krajach.

Tradycyjne metody, takie jak wykłady i lekcje teoretyczne, są ogólnie najpowszechniejszym podejściem. Najczęściej stosuje się je w Polsce, gdzie 73,7% respondentów zgłosiło, że polega na tej metodzie. Kolejne miejsca zajmują Grecja - 60%, Turcja - 50% i Niemcy - 54,5%. Wprawdzie wskazuje to na solidne podstawy teoretyczne, ale sugeruje również potrzebę bardziej zróżnicowanych podejść instruktażowych.

Zajęcia praktyczne i eksperymenty są szeroko stosowane w Turcji (58,3%), Niemczech (54,5%) i Polsce (31,6%). Co ciekawe, Grecja nie deklaruje wyraźnego korzystania z tej metody, co podkreśla potencjalną lukę w nauczaniu opartym na doświadczeniu.

Wycieczki i wizyty w terenie są najczęściej wykorzystywane w Polsce, gdzie 42,1% respondentów stosuje je w swoim nauczaniu. Z kolei metody te są znacznie mniej powszechne w Grecji (20%), Turcji (8,3%) i Niemczech (9,1%), co wskazuje, że wykorzystanie nauki opartej na doświadczeniu jest nadal niewielkie w wielu kontekstach.

Cyfrowe i metody nauczania oparte na wykorzystaniu gier pozostają ogólnie niedostatecznie wykorzystywane. Gry asgajujące społecznie są wykorzystywane przez 15,8% polskich nauczycieli i 18,2% niemieckich nauczycieli, podczas gdy w odpowiedziach z Turcji i Grecji nie wspomniano o tej metodzie. Wykorzystanie narzędzi cyfrowych i interaktywnych symulacji jest najwyższe w Turcji (41,7%), następnie w Polsce (31,6%) i bardzo niewielkie w Niemczech (9,1%) i Grecji (6,7%). Turcja wykazuje najsilniejszą integrację cyfrowych technologii edukacyjnych spośród czterech krajów.

Współpraca i uczenie się prowadzone przez uczniów są również stosowane nierównomiernie. Gościnni prelegenci i formy współpracy są stosunkowo rzadkie - wspomina o nich tylko 9,1% niemieckich, 15,8% polskich i 8,3% tureckich respondentów. Grecja nie wskazała na korzystanie z gościnnych prelegentów. Turcja wyróżnia się jednak pod względem korzystania z projektów prowadzonych przez uczniów - 50% respondentów wskazało, że stosuje takie podejście. Dla porównania, Polska i Grecja zgłosiły odpowiednio 10,5% i 13,3%, a Niemcy nie zgłosiły żadnego wykorzystania projektów prowadzonych przez studentów.

Ogólnie rzecz biorąc, Polska prezentuje najszerszą gamę sposobów nauczania, łącząc tradycyjne nauczanie z wycieczkami terenowymi, zajęciami praktycznymi i pewnym wykorzystaniem metod cyfrowych i grywalizacji. Turcja i Niemcy również wykazują zróżnicowane podejście, ze znaczącym wykorzystaniem narzędzi interaktywnych. Z kolei Grecja wydaje się mieć najbardziej niewielki zestaw strategii nauczania, przy czym 26,7% respondentów wskazało, że w ogóle nie stosuje żadnych metod nauczania w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym. Polska również zgłosiła, że 15,8% nie stosuje żadnych konkretnych metod, podczas gdy w Niemczech w tej samej kategorii znalazło się 18,2% nauczycieli. Różnice te podkreślają różne stopnie zaangażowania i innowacyjności w edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym w krajach uczestniczących.

Dostęp do materiałów dydaktycznych dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym

Dostęp do konkretnych materiałów edukacyjnych różni się znacznie w zależności od kraju. W Niemczech tylko 18,2% nauczycieli zgłosiło posiadanie jakiejkolwiek formy takich materiałów, przy czym 9,1% z nich ograniczyło się do podstawowych treści w podręcznikach szkolnych. Uderzające jest to, że 81,8% wskazało na brak jakiegokolwiek dostępu. Grecja wykazuje najbardziej krytyczną lukę, ponieważ żaden nauczyciel nie zadeklarował dostępu do materiałów dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym, co podkreśla pilną potrzebę opracowania zasobów. Polska przoduje pod względem dostępu do materiałów - 36,9% nauczycieli ma do nich dostęp, a 5,3% wskazuje ekopotencjal.pl jako źródło. Niemniej jednak 63,2% polskich nauczycieli nadal nie ma dostępu do materiałów. W Turcji dostęp jest umiarkowany na poziomie 23,1%, ale większość - 76,9% - nie ma dostępnych materiałów. Różnice te podkreślają potrzebę podjęcia ukierunkowanych wysiłków w celu poprawy dostępności i dystrybucji zasobów edukacyjnych związanych z GOZ w całej Europie.

Kluczowe wyzwania związane z integracją gospodarki o obiegu zamkniętym w nauczaniu

Powszechne bariery w integracji edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym obejmują:

- + Brak szkoleń był najczęściej wymieniany we wszystkich krajach: Niemcy (25%), Grecja (23,1%), Polska (20,9%) i Turcja (23,1%). Podkreśla to powszechną potrzebę większej liczby skierowanych do nauczycieli programów doskonalenia zawodowego na tematy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym.
- + Niewystarczające materiały dydaktyczne są szczególnie widoczne w Niemczech, gdzie 37,5% zgłasza trudności w dostępie do materiałów dydaktycznych. Grecja (25,6%), Polska (27,9%) i Turcja (20,5%) również borykają się z tym problemem, wykazując stałą lukę w dostępie do zasobów edukacyjnych.

- + Brak zainteresowania i zaangażowania uczniów był szczególnie sygnalizowany przez szkoły tureckie (15,4%). Grecja (7,7%) i Polska (4,7%) również o tym wspominają, podczas gdy Niemcy w ogóle nie zgłaszają tej kwestii.
- + Polska (7%) i Turcja (10,3%) wskazują na pewien brak wsparcia ze strony rodziców, podczas gdy Grecja (2,6%) zgłasza minimalne obawy. Żaden kraj nie wskazuje na brak wsparcia ze strony administracji szkolnej, co oznacza, że brak wsparcia instytucjonalnego nie powinien mieć wpływu na wdrażanie dalszej edukacji CE.
- + Grecja (15,4%), Polska (11,6%) i Turcja (12,8%) podkreślają niewystarczające włączanie tych tematów do polityki edukacyjnej. Niemcy nie zgłaszają tego jako problemu, co może wskazywać na lepsze dostosowanie polityki.
- + Niemcy (4,2%) i Polska (7%) wskazują mały odsetek nauczycieli, którzy nie napotykają żadnych problemów związanych z edukacją w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym. Grecja i Turcja nie zgłaszają żadnych nauczycieli, którzy byłoby wolni od wyzwań.

Ograniczona elastyczność programu nauczania jest głównym wyzwaniem we wszystkich krajach, przy czym najwyższy wskaźnik odnotowano w Niemczech (33,3%), a następnie w Grecji (25,6%), Polsce (20,9%) i Turcji (17,9%). Niemcy najbardziej zmagają się z dostępnością materiałów i elastycznością programu nauczania. Grecja wykazuje największą dbałość o niedociągnięcia w polityce edukacyjnej, wsparcie rodziców i brak zainteresowania uczniów. Polska i Turcja doświadczają bardziej zróżnicowanych wyzwań. Największym powszechnym problemem we wszystkich krajach jest brak szkoleń i niewystarczające materiały dydaktyczne.

Potrzebne wsparcie w skuteczniejszym nauczaniu GOZ

Wielu nauczycieli wnioskowało o dostęp do lepszych materiałów dydaktycznych, co stanowiło najwyższy priorytet we wszystkich krajach. W Niemczech zostało to podkreślone przez 90,9% respondentów, co stanowi najwyższe ogólne zapotrzebowanie. Polska uplasowała się na drugim miejscu z wynikiem 89,5%, podczas gdy 60% nauczycieli w Grecji i 75% nauczycieli w Turcji uznało to za jedną z kluczowych potrzeb.

Programy szkoleniowe i warsztaty były również bardzo oczekiwane, szczególnie w Grecji (93,3%) i w Polsce (78,9%). Niemcy (36,4%) i Turcja (50%) również wykazały zapotrzebowanie na takie szkolenia.

Współpraca interdyscyplinarna jest szczególnie ceniona przez nauczycieli w Niemczech (63,6%), a następnie w Polsce (47,4%) i Turcji (41,7%). Grecy nauczyciele (20%) również wyrazili zainteresowanie podejściem interdyscyplinarnym, choć w mniejszym stopniu.

Uczenie się w oparciu o projekty i praktyczne możliwości były często preferowane przez polskich (68,4%) i tureckich (66,7%) respondentów. Niemcy (54,5%) i Grecja (26,7%) również wykazały zainteresowanie bardziej praktycznymi metodami uczenia się.

Wsparcie ze strony zewnętrznych organizacji i ekspertów zostało docenione we wszystkich krajach: Polska (36,8%), Niemcy (45,5%), Turcja (50%) i Grecja (33,3%) wskazały na wartość takiej współpracy. Wskazuje to na możliwość partnerstwa z organizacjami non-profit, przemysłem i organizacjami politycznymi w celu poprawy edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym.

Największe zapotrzebowanie na silniejszą politykę edukacyjną i wsparcie instytucjonalne wykazali nauczyciele w Polsce (42,1%), a następnie w Grecji (33,3%). Niemcy w ogóle nie zgłosiły tej potrzeby, a tylko 8,3% nauczycieli w Turcji wspomniało o niej.

Ponadto Polska wyraziła największą potrzebę wsparcia ze strony rodziców (26,3%). Mniejszą wagę przywiązywano do tej kwestii w Turcji (16,7%), Niemczech (9,1%) i Grecji (6,7%). Elastyczność programu nauczania była wymieniana wyłącznie w Niemczech (9,1%)

Inicjatywy GOZ na poziomie szkoły

Wszystkie szkoły wdrażają różnego rodzaju inicjatywy CE. Programy recyklingu zostały wspomniane przez wszystkie szkoły, podczas gdy warsztaty napraw i ponownego użycia istnieją tylko w Polsce i Turcji. Zrównoważona infrastruktura szkolna (np. systemy oszczędzania wody, panele słoneczne) jest wprowadzana w niemieckiej i polskiej szkole, podkreślając możliwości inwestowania w ekologiczne projekty szkół w innych krajach. Konkursy i wydarzenia związane z tematyką CE są organizowane przez szkoły w Niemczech, Polsce i Turcji, podczas gdy Grecja nie poinformowała o żadnych wydarzeniach. Tureckie, polskie i niemieckie szkoły aktywnie współpracują z lokalnymi firmami i organizacjami. Ponadto Grecja wymieniła coroczny udział w krajowym programie środowiskowym dotyczącym ekosystemów leśnych, zrównoważonego rozwoju i zrównoważonego zarządzania, w tym działań związanych z GOZ.

W Turcji (57,1%) i Grecji (13,3%) wielu nauczycieli wskazało, że w ich szkole nie są obecnie realizowane żadne inicjatywy, pomimo wzmianek o projektach przez ich kolegów. Co więcej, we wszystkich krajach nauczyciele udzielali bardzo zróżnicowanych odpowiedzi dotyczących inicjatyw, o których wiedzą w swojej szkole. Wskazuje to na problemy z komunikacją i spójnością oraz brak interdyscyplinarności.

Zaangażowanie uczniów

We wszystkich szkołach odnotowano aktywny udział uczniów w projektowaniu lub wdrażaniu projektów GO Z. Niemcy wymieniają firmę uczniowską, w której młodzież rozwija swój własny zrównoważony projekt biznesowy, wdrażanie własnych projektów związanych z celami zrównoważonego rozwoju oraz projekt „Freiday”, w ramach którego uczniowie tworzą własny ekologiczny projekt. W Grecji najczęściej realizuje się recykling i wyżej wspomniany projekt środowiskowy. Turecka szkoła realizuje projekty TÜBITAK i Teknofest oraz częściowo angażuje uczniów w zajęcia oparte na projektach, podczas gdy inicjatywy oparte na tworzeniu produktów są tam najbardziej popularne. W Polsce większość nauczycieli wskazuje na zaangażowanie uczniów, ale bez dalszych wyjaśnień.

Ocena tego pytania potwierdza wspomniane wcześniej założenie o braku spójności i wymiany między nauczycielami a komunikacją w zakresie realizowanych projektów, ponieważ odpowiedzi były bardzo sprzeczne we wszystkich szkołach.

Ogólnie rzecz biorąc, konsekwentne wdrażanie praktycznych i różnorodnych, a nawet interdyscyplinarnych projektów prowadzonych przez uczniów mogłoby przynieść duże korzyści szkołom, zapewniając aktywne przywództwo młodzieży w zakresie rozwiązań GOZ.

Praktyki ewaluacyjne

Ewaluacja działań związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym jest we wszystkich krajach prowadzona głównie poprzez projekty i prezentacje uczniowskie. Turcja (66,7%), Grecja (64,3%) i Polska (58,3%) deklarują największą zależność od tej metody. Niemcy (38,5%) również korzystają z tego metody, ale rzadziej i w większym stopniu polegają na informacjach zwrotnych od uczniów i pracowników w porównaniu z innymi krajami (30,8%). Grecja (14,3%), Polska (20,8%) i Turcja (6,7%) wykorzystują badanie w postaci ankiet w mniejszym stopniu. Gromadzenie danych (redukcja odpadów i oszczędność energii) jest stosowane przez szkoły w Grecji (21,4%), Polsce (12,5%) i Turcji (20%). Z drugiej strony Niemcy nie wykorzystują gromadzenia danych.

Polska (4,2%) i Turcja (6,7%) opracowują raporty i publikacje, choć na mniej zaawansowanym poziomie, podczas gdy Niemcy i Grecja w ogóle nie publikują formalnych raportów. W niemieckiej szkole duża liczba nauczycieli wskazuje na brak oceny inicjatyw GOZ, podczas gdy w pozostałych szkołach wszyscy uczestnicy zgłosili pewien rodzaj oceny, mimo że niewielki odsetek polskich nauczycieli nie ma wiedzy na ten temat.

Ogólnie rzecz biorąc, ewaluacja nie jest zbyt wyczerpująca we wszystkich krajach. Ustrukturyzowane ankiety, raporty i gromadzenie danych są nadal niedostatecznie wykorzystywane w większości krajów.

Udane projekty CE z udziałem uczniów

W czterech krajach wdrożono w szkołach różne projekty dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym i zrównoważonego rozwoju, z których każdy odzwierciedla różne poziomy zaangażowania uczniów, innowacyjności i wsparcia instytucjonalnego.

Niemcy

- + Skupiono się na upcyklingu (meble, projekty artystyczne) i segregacji odpadów, ale te ostatnie działania nie zawsze kończyły się sukcesem.
- + Firma studencka stworzyła własny model recyklingu na potrzeby zrównoważonego śniadania.
- + Warsztaty z ekspertami zewnętrznymi (projekt Spirit of Football) łączą zrównoważony rozwój ze sportem
- + Uczniowie uczyli młodsze dzieci o redukcji odpadów, wspierając edukację rówieśniczą.
- + Zastrzeżenia dotyczące braku zasad zrównoważonego rozwoju wdrożonych w samej szkole

Grecja

- + Istniejące projekty koncentrują się na recyklingu baterii, ponownym wykorzystaniu starych materiałów, sadzeniu drzew i wizytach środowiskowych, jeden projekt Erasmus+
- + Brak wzmianki o innowacjach inspirowanych przez uczniów, głównie uprzednio zorganizowane działania na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Polska

- + Współpraca zewnętrzna z Centrum Edukacji Ekologicznej Arka
- + Projekty recyklingowe: "Dzień Sprzątania Świata" i zbiórka odpadów elektronicznych.
- + Kampanie takie jak "Czyste Góry" promujące ochronę środowiska i bioróżnorodność
- + Projekty związane z modą i gospodarką o obiegu zamkniętym (Eco-Wave: świadomość Fast Fashion).
- + Projekty obejmują alternatywne modele energetyczne oraz zrównoważone ogrodnictwo i zbieranie próchnicy.
- + Projekty związane z gospodarką o obiegu zamkniętym w gastronomii, pokazujące integrację zrównoważonego rozwoju specyficzną dla branży.

Turcja

- ✦ Praktyczne projekty kreatywne z wykorzystaniem materiałów z recyklingu, w tym budowa rakiet i samochodów
- ✦ Projekty planowania miejskiego integrujące koncepcje zrównoważonego rozwoju.
- ✦ Wielokrotnie nagradzana aplikacja mobilna TÜBITAK do oszczędzania wody.
- ✦ Techniki uczenia się oparte na grywalizacji zwiększają zainteresowanie uczniów.

Projekty badawcze z udziałem uczniów

Polska szkoła prezentuje największą gamę projektów, podczas gdy szkoła turecka wyróżnia się kreatywnym i technologicznym podejściem. Grecka szkoła koncentruje się głównie na tradycyjnym recyklingu i działaniach środowiskowych, a niemiecka szkoła kładzie nacisk na partnerskie uczenie się, w którym uczniowie uczą innych o zrównoważonym rozwoju.

Porady dla nauczycieli dotyczące nauczania koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym

- ✦ Włącz tematy związane z gospodarką o obiegu zamkniętym do codziennych lekcji i korzystaj z przykładów z życia wziętych (Niemcy).
- ✦ Korzystaj z uczenia się opartego na projektach i zajęć pozalekcyjnych (Grecja, Turcja).
- ✦ Zachęcaj uczniów do podejmowania inicjatyw, takich jak wymiana odzieży lub projekty „zero odpadów” (Polska).

Zewnętrzne wsparcie i współpraca

- ✦ Zapraszanie ekspertów i współpraca z lokalnymi przedsiębiorstwami i organizacjami środowiskowymi (Niemcy, Grecja, Turcja).
- ✦ Tworzenie sieci partnerskiego kształcenia w celu dzielenia się najlepszymi praktykami (Grecja).
- ✦ Zachęcanie do partnerstwa z instytucjami ukierunkowanymi na zrównoważony rozwój (Polska, Turcja).

Wykorzystanie praktycznych i ćwiczeniowych metod uczenia się

- ✦ Organizowanie warsztatów, wycieczek i interaktywnych zajęć dla uczniów (Grecja, Turcja).
- ✦ Wdrażanie małych projektów zrównoważonego rozwoju, takich jak recykling baterii lub szkolne panele słoneczne (Turcja).
- ✦ Nauczanie poprzez grywalizację, w tym konkursy ekologiczne i gry dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym (Polska).

Propagowanie integracji programu nauczania i strategii politycznych

- ✦ Zachęcanie do aktualizacji programów nauczania w celu formalnego uwzględnienia koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym (Turcja).
- ✦ Dążenie do wsparcia instytucjonalnego i finansowania w celu wzmocnienia edukacji w zakresie zrównoważonego rozwoju (Grecja, Polska).
- ✦ Uruchomienie programów pilotażowych przed ich szerszym wdrożeniem (Grecja).

Dostęp do zasobów dydaktycznych i ich rozwój

- ✦ Wyszukiwanie odpowiednich materiałów edukacyjnych i analiz przypadków (Niemcy, Grecja).
- ✦ Tworzenie bibliotek zasobów z planami lekcji, filmami i analizami przypadków (Grecja).
- ✦ Promowanie kursów online i warsztatów dla nauczycieli na temat gospodarki o obiegu zamkniętym (Polska, Turcja).

Wnioski i rekomendacje

Wyniki badania ujawniają fragmentaryczny, ale zmieniający się model edukacji w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym. O ile Polska prezentuje najbardziej kompleksowe i ustrukturyzowane podejście, inne kraje wykazują odosobnione wysiłki ze znacznymi lukami w szkoleniach, materiałach i zaangażowaniu studentów.

Zalecenia obejmują:

1. Opracowanie krajowych programów szkoleniowych dla nauczycieli w zakresie koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym.
2. Tworzenie i dystrybucja standardowych materiałów dydaktycznych, dostępnych we wszystkich językach i dostosowanych do różnych poziomów edukacji.
3. Promowanie nauczania interdyscyplinarnego i opartego na projektach, poprzez zachęcanie do stosowania go w praktyce.
4. Wspieranie współpracy z przedsiębiorstwami, organizacjami pozarządowymi i społecznościami lokalnymi w celu zwiększenia zaangażowania praktycznego.
5. Wspieranie inicjatyw prowadzonych przez uczniów, aby młodzież nie była tylko biernymi uczniami, ale aktywnie przyczyniała się do działań na rzecz zrównoważonego rozwoju.
6. Wdrożenie jasnych ram ewaluacji, które pozwolą śledzić zarówno efekty uczenia się, jak i wpływ na środowisko.

W związku z tym wyniki badania podkreślają również znaczenie projektu CircEdu wprowadzającego europejski model uczenia się, w tym program rozwijania kompetencji oraz centrum wiedzy.

Wnioski

Badanie to podkreśla pilną potrzebę włączenia zasad gospodarki o obiegu zamkniętym do szkolnictwa średniego jako reakcję na kryzysy środowiskowe i społeczne napędzane przez liniowe modele ekonomiczne. Dzięki kompleksowemu przeglądowi dokumentacji i badaniom ankietowym w Niemczech, Grecji, Polsce i Turcji, projekt CircEdu ujawnił zarówno powszechne zrozumienie znaczenia gospodarki o obiegu zamkniętym, jak i znaczące luki w integracji programów nauczania, szkoleniu nauczycieli i dostępności zasobów.

Chociaż istnieje coraz więcej badań i innowacyjnych praktyk w szerszej sferze gospodarki o obiegu zamkniętym, jej włączenie do systemów edukacyjnych, szczególnie na poziomie szkoły średniej, pozostaje fragmentaryczne i słabo opracowane. Badanie podkreśla wartość edukacji nie tylko w podnoszeniu świadomości, ale także w wyposażaniu przyszłych pokoleń w umiejętności, wartości i myślenie systemowe niezbędne do prowadzenia zrównoważonej przemiany. Ponadto przedstawia potencjał interdyscyplinarnych, opartych na projektach i wspieranych cyfrowo modeli uczenia się, które sprzyjają znaczącemu zaangażowaniu w koncepcje GOZ.

Spostrzeżenia zebrane od nauczycieli i instytucji w krajach partnerskich stanowią solidną podstawę dla kolejnych faz projektu CircEdu. Aby kontynuować, potrzebne są trwałe wysiłki w celu budowania potencjału, tworzenia adaptowalnych zasobów dydaktycznych i podnoszenia świadomości na temat zmian ram politycznych, które wprowadzają myślenie cyrkularne do środowisk szkolnych i programów nauczania. Poprzez wzmocnienie pozycji zarówno nauczycieli, jak i uczniów, edukacja może stać się katalizatorem zrównoważonej i odnawialnej gospodarki o obiegu zamkniętym cyfrowej ery.