
Przemysław Jura
Uczelnia Korczaka

W stronę ekointeligencji – narzędzia AI w ochronie środowiska i edukacji ekologicznej

Wprowadzenie

Kryzys klimatyczny, postępująca degradacja środowiska, utrata bioróżnorodności oraz szybkie wyczerpywanie się nieodnawialnych zasobów naturalnych stanowią jedno z najpoważniejszych wyzwań, przed jakimi stanęła ludzkość w XXI wieku. Skutki działalności człowieka stają się coraz bardziej widoczne nie tylko w globalnym wzroście temperatury i ekstremalnych zjawiskach pogodowych, ale również w pogarszającej się jakości powietrza, wody i gleby oraz w destabilizacji systemów społecznych i gospodarczych. W obliczu tej złożoności coraz częściej mówi się o konieczności zmiany dotychczasowych modeli zarządzania środowiskiem – modeli, które opierały się głównie na reaktywnym działaniu, często spóźnionym wobec dynamicznych procesów zachodzących w przyrodzie.

Współczesna ochrona środowiska wymaga podejścia proaktywnego, systemowego i wspieranego przez najnowsze technologie. Jednym z najbardziej obiecujących kierunków rozwoju jest użycie sztucznej inteligencji (AI) w służbie ekosystemów i zrównoważonego rozwoju. AI oferuje narzędzia pozwalające na zaawansowaną analizę danych środowiskowych, predykcję zmian, optymalizację wykorzystania zasobów oraz dynamiczne dostosowywanie działań do aktualnych i prognozowanych warunków (Olszacka, 2023). Dodatkowo systemy AI mogą być wykorzystywane do usprawnienia procesów edukacyjnych, zwiększając świadomość ekologiczną społeczeństwa i wspierając kształtowanie postaw sprzyjających ochronie przyrody.

Pojęcie ekointeligencji, będące głównym tematem niniejszego opracowania, odnosi się do synergii pomiędzy kompetencjami cyfrowymi, inżynierskimi i analitycznymi a świadomością środowiskową i społeczną odpowiedzialnością. Ekointeligencja to nie tylko umiejętność wykorzystania narzędzi AI do rozwiązywania problemów środowiskowych, lecz także zdolność do krytycznego myślenia o skutkach technologicznych interwencji, uwzględniania kontekstu etycznego oraz działania na rzecz dobra wspólnego. W tym ujęciu AI przestaje być jedynie instrumentem technologicznym – staje się elementem kultury i odpowiedzialności ekologicznej.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wybranych zastosowań sztucznej inteligencji w ochronie środowiska oraz edukacji ekologicznej, a także wskazanie możliwości i ograniczeń związanych z ich wdrażaniem. Rozważania te osadzone są w szerszym kontekście budowania ekointeligencji – zarówno jako koncepcji teoretycznej, jak i praktycznej strategii działania w dobie kryzysu planetarnego (Kotowski, 2023).

Problem badawczy, który stanowi oś konstrukcyjną niniejszego opracowania, brzmi: w jaki sposób narzędzia sztucznej inteligencji mogą wspierać ochronę środowiska i edukację ekologiczną, przy jednoczesnym zachowaniu zasad etyki i zrównoważonego rozwoju?

W artykule zastosowano podejście przeglądowo-analityczne, oparte na analizie źródeł naukowych, raportów eksperckich oraz aktualnych studiów przypadków wdrożenia rozwiązań AI w kontekstach środowiskowych i edukacyjnych. Metoda ta pozwala uchwycić zarówno potencjał technologiczny, jak i złożoność wyzwań etyczno-społecznych.

Nowatorstwo publikacji polega na zaproponowaniu i rozwinięciu pojęcia ekointeligencji – połączenia kompetencji technologicznych z refleksją ekologiczną i społeczną. Artykuł wnosi wkład do dorobku naukowego poprzez konceptualizację AI nie tylko jako narzędzia technologicznego, lecz również jako elementu kultury odpowiedzialności środowiskowej i edukacyjnej.

Zastosowania AI w ochronie środowiska

Monitoring środowiskowy

Sztuczna inteligencja (AI) odgrywa coraz ważniejszą rolę w monitorowaniu środowiska naturalnego, oferując zaawansowane narzędzia wspomagające detekcję zagrożeń i zarządzanie zasobami ekologicznymi. W połączeniu z technologiami satelitarnymi oraz sieciami czujników środowiskowych opartymi na Internecie Rzeczy (IoT), AI daje możliwość prowadzenia ciągłego i zautomatyzowanego nadzoru nad stanem środowiska. Systemy te są wykorzystywane m.in. do śledzenia jakości powietrza, poziomu hałasu,

zanieczyszczeń wody, a także do analizy zmian pokrycia terenu, takich jak wylesianie czy urbanizacja.

Szczególnie istotnym przykładem wykorzystania AI w monitoringu środowiska jest analiza obrazów satelitarnych z użyciem algorytmów głębokiego uczenia (*deep learning*). Dzięki zastosowaniu sieci neuronowych możliwa jest automatyczna identyfikacja zmian w środowisku, takich jak nielegalna wycinka drzew w Amazonii. Modele uczące się rozpoznają charakterystyczne wzorce i porównują kolejne obrazy danej lokalizacji w czasie, co pozwala na wczesne wykrycie niepożądanych interwencji człowieka i przekazanie informacji odpowiednim służbom środowiskowym (Ganczar, 2023, s. 7–11).

AI znajduje także zastosowanie w systemach monitorowania jakości powietrza i wody. Współczesne miasta coraz częściej wykorzystują inteligentne sieci czujników, które w czasie rzeczywistym zbierają dane o stężeniu pyłów zawieszonych, tlenków azotu, ozonu oraz innych substancji niebezpiecznych dla zdrowia. Dane te są następnie analizowane przez algorytmy AI, które identyfikują źródła emisji, wykrywają przekroczenia norm oraz prognozują dalszy rozwój zanieczyszczeń. Podobnie, w przypadku monitorowania wód powierzchniowych i gruntowych, AI pomaga analizować wskaźniki jakości wody oraz wykrywać anomalie, mogące świadczyć o zanieczyszczeniach przemysłowych czy rolniczych (Kotowski, 2023).

Istotną funkcją AI w ochronie środowiska jest również przewidywanie zagrożeń naturalnych. Współczesne systemy ostrzegania przed katastrofami, takimi jak powódzie, pożary czy osuwiska, coraz częściej wykorzystują uczenie maszynowe do analizy danych meteorologicznych, hydrologicznych i geograficznych. Przykładowo Google, we współpracy z ONZ, rozwija modele predykcyjne wspomagane przez AI, które pozwalają przewidywać ryzyko powodzi z dużym wyprzedzeniem. Dane satelitarne, prognozy opadów i ukształtowanie terenu są przetwarzane w czasie rzeczywistym, co umożliwia podejmowanie działań prewencyjnych i zmniejszenie strat środowiskowych oraz ludzkich (Ravuri i in., 2021, s. 673–674).

Mimo rosnącego potencjału technologicznego wdrażanie AI w monitoringu środowiskowym wiąże się z wyzwaniami. Należy do nich m.in. konieczność zapewnienia wysokiej jakości i aktualności danych wejściowych, transparentność działania algorytmów oraz zapewnienie ich etycznego stosowania. Nie bez znaczenia są również kwestie prywatności oraz dostępności tych technologii – szczególnie w krajach rozwijających się. Z tego względu istotne jest, aby rozwój AI w służbie ochrony środowiska odbywał się w sposób odpowiedzialny i zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju (Olszacka, 2023).

Modelowanie zmian klimatycznych

Modelowanie klimatu jest jednym z najbardziej wymagających obszarów nauki środowiskowej ze względu na skalę złożoności procesów atmosferycznych, hydrologicznych, biologicznych i antropogenicznych, które na siebie oddziałują. Tradycyjne modele klimatyczne, choć coraz dokładniejsze, wymagają ogromnych zasobów obliczeniowych, wieloletnich zbiorów danych oraz specjalistycznych umiejętności analitycznych. W tym kontekście sztuczna inteligencja wnosi nową jakość, znacząco usprawniając procesy modelowania i symulacji klimatycznych.

AI daje możliwość tworzenia modeli predykcyjnych, które są w stanie nie tylko analizować złożone zależności między zmiennymi środowiskowymi, ale również generować bardziej dokładne i szybsze prognozy zmian klimatycznych. Zamiast tradycyjnych, deterministycznych metod symulacji AI korzysta z algorytmów uczenia maszynowego i głębokiego uczenia, które uczą się na podstawie danych historycznych, satelitarnych i meteorologicznych. Dzięki temu możliwe jest wykrywanie subtelnych wzorców, niedostrzegalnych dla klasycznych metod statystycznych.

Jednym z najważniejszych przykładów zastosowania AI w prognozowaniu zjawisk klimatycznych jest opracowany przez DeepMind i Met Office system Nowcasting. Umożliwia on prognozowanie lokalnych opadów z bardzo dużą dokładnością w perspektywie od 5 minut do 2 godzin. System ten, oparty na głębokich sieciach generatywnych, przewyższa dokładnością tradycyjne modele numeryczne, zwłaszcza w zakresie krótkoterminowych prognoz pogody, co jest szczególnie ważne dla reagowania na intensywne zjawiska atmosferyczne, takie jak ulewę i burze (Ravuri i in., 2021, s. 672).

Oprócz bezpośredniego prognozowania warunków pogodowych AI znajduje zastosowanie w analizie długoterminowych scenariuszy zmian klimatycznych i ich skutków dla środowiska, gospodarki i społeczeństw. Przykładowo może wspierać modelowanie wpływu polityk klimatycznych na poziomie lokalnym i globalnym, oceniając efektywność strategii redukcji emisji CO₂ lub adaptacyjnych działań inwestycyjnych. Dzięki zintegrowaniu danych społecznych, ekonomicznych i środowiskowych możliwe jest opracowywanie spersonalizowanych, kontekstowych analiz, które mogą wspierać proces decyzyjny w administracji publicznej oraz organizacjach międzynarodowych.

Co więcej, systemy AI mogą być wykorzystywane do dynamicznego zarządzania ryzykiem klimatycznym w czasie rzeczywistym – np. przez banki, ubezpieczycieli czy firmy z sektorów najbardziej wrażliwych na zmiany pogodowe (rolnictwo, energetyka, logistyka). Algorytmy analizują tysiące

zmiennych, w tym prognozy klimatyczne, wskaźniki ekonomiczne i modele emisji, umożliwiając bieżącą optymalizację strategii zrównoważonego rozwoju.

Należy jednak zauważyć, że wykorzystanie AI w modelowaniu klimatu wymaga zapewnienia wysokiej jakości danych wejściowych oraz transparentności algorytmów. Brak zrozumienia działania modeli tzw. czarnej skrzynki może budzić obawy decydentów i opinii publicznej, szczególnie gdy chodzi o strategiczne decyzje związane z polityką środowiskową. Dlatego rozwój tych technologii powinien iść w parze z pracami nad ich weryfikowalnością, dostępnością i otwartością danych (Rolnick i in., 2019, s. 37).

Zarządzanie zasobami naturalnymi

Zarządzanie zasobami naturalnymi to jeden z kluczowych obszarów zastosowania sztucznej inteligencji w kontekście zrównoważonego rozwoju. Postępujące zmiany klimatyczne, urbanizacja oraz rosnące zapotrzebowanie na energię i wodę sprawiają, że konieczne jest wdrażanie nowoczesnych technologii wspierających efektywność wykorzystania dostępnych zasobów. AI, dzięki zdolności do przetwarzania dużych zbiorów danych w czasie rzeczywistym i prognozowania złożonych zjawisk, wnosi istotną wartość w optymalizację zużycia zasobów zarówno w środowisku naturalnym, jak i w warunkach miejskich oraz przemysłowych.

W sektorze rolnictwa, który jest jednym z głównych konsumentów zasobów wodnych na świecie, AI stanowi fundament tzw. rolnictwa precyzyjnego. W rolnictwie precyzyjnym wspiera analizę wilgotności gleby, prognozowanie plonów i dobór momentu zbiorów (Kamilaris, Kartakoullis, Prenafeta-Boldú, 2018).

Systemy te integrują dane z czujników wilgotności gleby, satelitarnych zdjęć upraw, prognoz pogodowych i analiz chemicznych, co pozwala dokładnie określić, kiedy i w jakiej ilości należy zastosować nawadnianie, nawożenie lub środki ochrony roślin. Dzięki algorytmom uczenia maszynowego możliwe jest również prognozowanie plonów i optymalne planowanie momentu zbiorów, co zmniejsza straty i poprawia efektywność produkcji. Takie podejście nie tylko ogranicza zużycie wody i energii, ale także minimalizuje negatywny wpływ rolnictwa na środowisko, m.in. przez redukcję emisji gazów cieplarnianych i spływu substancji chemicznych do wód powierzchniowych (Bhat, Huang, 2021).

Z kolei w miastach i regionach zurbanizowanych sztuczna inteligencja wykorzystywana jest do zarządzania sieciami energetycznymi w ramach tzw. inteligentnych sieci (*smart grids*) (Zhou, Fu i Yang, 2016).

Te zaawansowane systemy opierają się na dwukierunkowej komunikacji między producentami, dystrybutorami i odbiorcami energii. AI analizuje

dane o zużyciu prądu, warunkach pogodowych, dostępności energii odnawialnej (np. z instalacji fotowoltaicznych) i cenach rynkowych, by w czasie rzeczywistym bilansować popyt i podaż oraz minimalizować straty w przesyśle. Inteligentne zarządzanie sieciami umożliwia także dynamiczne dostosowywanie taryf do poziomu obciążenia systemu oraz automatyczne przekierowywanie energii w przypadku awarii czy przeciążeń. Efektem jest nie tylko większa efektywność energetyczna, ale również niższe koszty eksploatacji i ograniczenie emisji dwutlenku węgla (Liao, Michalenko, Vengunta, 2023, s. 3–5).

AI wspiera także zarządzanie zasobami wodnymi na poziomie regionalnym i krajowym. Dzięki analizie danych hydrologicznych, meteorologicznych i geograficznych możliwe jest lepsze prognozowanie dostępności wody, zarządzanie rezerwuarami, optymalizacja pracy zapór wodnych oraz wczesne ostrzeganie przed suszami i powodzią. W wielu krajach stosowane są modele AI, które wspierają politykę wodną poprzez symulacje różnych scenariuszy zużycia wody przez przemysł, rolnictwo i gospodarstwa domowe.

Warto również wspomnieć o zastosowaniach AI w gospodarce odpadami, gdzie systemy te pomagają w sortowaniu surowców wtórnych, analizie efektywności recyklingu czy lokalizacji nielegalnych wysypisk. Sztuczna inteligencja może także wspierać modelowanie przepływów surowców w gospodarce cyrkularnej i oceniać cykl życia produktów, co ułatwia podejmowanie decyzji zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Zarządzanie zasobami naturalnymi przy użyciu technologii AI wpisuje się w szerszą transformację cyfrową środowiska, która zakłada integrację technologii, nauki i polityki publicznej. Aby jednak technologie te rzeczywiście wspierały cele zrównoważonego rozwoju, niezbędne jest zapewnienie przejrzystości algorytmów, odpowiedniego nadzoru nad wykorzystaniem danych oraz równego dostępu do tych rozwiązań dla różnych grup społecznych i regionów świata.

AI w edukacji ekologicznej

Współczesna edukacja ekologiczna wymaga nowoczesnych narzędzi dydaktycznych, które będą dostosowane do realiów cyfrowych i oczekiwań młodych odbiorców. Tradycyjne formy przekazu często okazują się niewystarczające w kontekście budowania trwałych postaw prośrodowiskowych. W tym obszarze sztuczna inteligencja może odegrać kluczową rolę jako narzędzie wspierające personalizację treści, interaktywność, a także motywację i zaangażowanie uczniów. Dzięki możliwości analizy dużych zbiorów danych, uczenia maszynowego oraz przetwarzania języka naturalnego AI wnosi nowe jakości do edukacji ekologicznej na każdym poziomie kształcenia.

Personalizacja edukacji

Systemy edukacyjne oparte na AI umożliwiają adaptację materiału do indywidualnych stylów uczenia się, co zwiększa efektywność przekazu edukacji ekologicznej. Algorytmy analizują zainteresowania uczniów i proponują treści ekologiczne w kontekście ich codziennych wyborów (Holmes, Bialik, Fadel, 2019).

Personalizacja treści edukacyjnych stanowi jeden z kluczowych obszarów zastosowania AI w edukacji ekologicznej. Systemy oparte na sztucznej inteligencji potrafią analizować styl uczenia się danego ucznia, jego tempo pracy, preferencje tematyczne, a nawet sposób rozwiązywania zadań. Na tej podstawie dobierają materiały edukacyjne dostosowane do indywidualnych potrzeb, co znacząco zwiększa efektywność nauczania i motywację do pogłębiania wiedzy.

W kontekście edukacji ekologicznej oznacza to możliwość tworzenia scenariuszy dydaktycznych uwzględniających lokalne problemy środowiskowe, indywidualne zainteresowania ucznia (np. odnawialne źródła energii, ochrona gatunków, zmiany klimatyczne) czy kontekst społeczno-kulturowy. Algorytmy uczące się mogą także podsuwać uczniowi propozycje działań proekologicznych zgodnych z jego stylem życia, np. zmiany nawyków konsumenckich, form transportu czy korzystania z energii (Holmes, Bialik, Fadel, 2019, s. 159–163).

Wirtualne środowiska i gry edukacyjne

Wykorzystanie AI w wirtualnej rzeczywistości (VR) oraz rozszerzonej rzeczywistości (AR) otwiera nowe możliwości w zakresie edukacji immersyjnej. Dzięki tym technologiom uczniowie mogą przenieść się do środowisk przyrodniczych, których na co dzień nie mają okazji doświadczyć – np. tropikalnych lasów deszczowych, arktycznych lodowców czy raf koralowych. AI wzmacnia te doświadczenia poprzez dynamiczne reagowanie na działania użytkownika, adaptację scenariuszy i udzielanie kontekstowych informacji edukacyjnych.

Gry edukacyjne wykorzystujące AI potrafią nie tylko uczyć, ale także angażować emocjonalnie, co zwiększa trwałość przekazu. Poprzez symulację skutków działań człowieka na środowisko – takich jak emisje gazów cieplarnianych, wylesianie czy zużycie zasobów naturalnych – użytkownicy lepiej rozumieją mechanizmy zmian klimatycznych i rolę jednostki w systemie ekologicznym. Takie doświadczenia rozwijają również empatię wobec przyrody i zachęcają do zmiany postaw (Thoma i in., 2023, s. 1–4).

Boty edukacyjne i asystenci głosowi

Chatboty i wirtualni asystenci edukacyjni, wykorzystujący przetwarzanie języka naturalnego (Natural Language Processing – NLP), stają się coraz bardziej popularnym narzędziem wspierającym naukę, również w obszarze edukacji środowiskowej. Dzięki AI tego typu rozwiązania potrafią prowadzić spersonalizowane rozmowy z użytkownikiem, odpowiadać na pytania, sugerować źródła wiedzy oraz proponować konkretne działania proekologiczne. Chatboty mogą być dostępne w aplikacjach edukacyjnych, platformach e-learningowych, a także jako komponenty stron internetowych organizacji ekologicznych i szkół. Ich zaletą jest dostępność 24/7, możliwość ciągłego doskonalenia na podstawie danych interakcyjnych oraz neutralny, nieoceniający sposób przekazu, który może być szczególnie ważny w edukacji dzieci i młodzieży. Dodatkowo, w kontekście popularyzacji wiedzy ekologicznej, chatboty mogą być zintegrowane z komunikatorami społecznościowymi, co znacząco zwiększa zasięg oddziaływania (Więckiewicz-Modrzewska, 2022, s. 129–132).

W stronę ekointeligencji – wyzwania etyczne i społeczne

Pomimo tego, że sztuczna inteligencja wnosi ogromny potencjał do walki ze zmianami klimatu oraz wspierania edukacji ekologicznej, jej wdrażanie nie jest wolne od wyzwań etycznych i społecznych. Technologie te, wykorzystywane w działaniach na rzecz zrównoważonego rozwoju, mogą prowadzić do efektów niezamierzonych lub wzmacniać istniejące nierówności. Konieczne jest zatem refleksyjne i odpowiedzialne podejście do ich projektowania, wdrażania i regulacji – takie, które wpisuje się w szerszy paradygmat tzw. ekointeligencji, rozumianej nie tylko jako połączenie nowoczesnych technologii i ekologii, ale również jako świadome i sprawiedliwe zarządzanie innowacjami.

Jednym z głównych wyzwań jest brak przejrzystości algorytmicznej. Wiele modeli opartych na uczeniu maszynowym działa jako tzw. czarne skrzynki, co oznacza, że ich wewnętrzne mechanizmy decyzyjne są trudne do zrozumienia, a tym bardziej do wyjaśnienia użytkownikom końcowym. W kontekście środowiskowym może to prowadzić do problemów z uzasadnieniem rekomendacji dotyczących np. gospodarowania zasobami naturalnymi, planowania przestrzennego czy prognozowania ryzyka ekologicznego. Brak transparentności może również ograniczać zaufanie społeczne do systemów AI, zwłaszcza w sytuacjach spornych lub dotyczących decyzji wysokiego ryzyka.

Kolejną istotną kwestią jest problem pogłębiania nierówności technologicznych i środowiskowych. Infrastruktura AI – wymagająca dostępu do zaawansowanych urządzeń, szybkiego internetu i wysokiej jakości danych – jest znacznie bardziej dostępna w krajach rozwiniętych. W efekcie technologie projektowane i trenowane w kontekście krajów bogatych mogą nie odzwierciedlać warunków środowiskowych, kulturowych i społecznych panujących w mniej rozwiniętych regionach. Może to skutkować marginalizacją lokalnych potrzeb, kultur i form wiedzy, a także pogłębianiem globalnych dysproporcji w dostępie do wiedzy i ochrony środowiska.

Niemniej istotne są kwestie związane z prywatnością i wykorzystywaniem danych środowiskowych. Dane o jakości powietrza, zużyciu energii czy stanie ekosystemów – pozyskiwane przez czujniki, urządzenia mobilne i satelity – mogą być wykorzystywane nie tylko w celach naukowych i edukacyjnych, ale również komercyjnych. Wciąż brakuje jasnych regulacji dotyczących własności danych środowiskowych i ich udostępniania, co stwarza pole do nadużyć, manipulacji oraz wykorzystania tych informacji w sposób niezgodny z interesem społecznym lub środowiskowym.

Wszystkie powyższe wyzwania wskazują, że rozwój ekointeligencji nie może ograniczać się wyłącznie do aspektu technologicznego. Potrzebne jest równoległe kształtowanie kultury etycznej innowacji, która zakłada partycypację społeczną, odpowiedzialność za skutki wdrożeń oraz poszanowanie różnorodności społecznej i ekologicznej. Promowanie otwartości danych, włączanie interesariuszy lokalnych w procesy decyzyjne oraz zapewnienie dostępności narzędzi AI także dla społeczności zmarginalizowanych to niezbędne warunki, by rozwój cyfrowy rzeczywiście wspierał zrównoważoną przyszłość. Tylko wówczas możliwe będzie zbudowanie prawdziwej ekointeligencji – inteligencji, która nie tylko rozumie naturę, ale również szanuje ludzi i środowisko, w którym żyją (Pawłowska-Kawa, 2024).

Wnioski

Sztuczna inteligencja (AI) posiada potencjał, by stać się kluczowym narzędziem wspierającym transformację ekologiczną i edukacyjną. Jej zastosowania w monitorowaniu środowiska, modelowaniu zmian klimatycznych, zarządzaniu zasobami naturalnymi oraz wspieraniu edukacji ekologicznej stanowią fundamenty nowoczesnych strategii na rzecz zrównoważonego rozwoju. AI umożliwia analizę wielowymiarowych danych, wczesne wykrywanie zagrożeń oraz prognozowanie skutków decyzji, co czyni ją nieocenionym wsparciem zarówno dla instytucji publicznych, jak i dla społeczności lokalnych oraz podmiotów gospodarczych.

Jednak potencjał AI nie może być realizowany bez uwzględnienia wyzwań etycznych i społecznych. Technologie te wymagają przejrzystości, odpowiedzialności oraz sprawiedliwego dostępu. Należy unikać sytuacji, w których rozwój oparty na danych i automatyzacji wzmacnia istniejące nierówności społeczne czy prowadzi do decyzji trudnych do zweryfikowania przez człowieka. Potrzebna jest etyczna infrastruktura dla rozwoju AI – regulacje, standardy i praktyki włączające różnorodne grupy użytkowników oraz interesariuszy.

Budowanie ekointeligencji wymaga czegoś więcej niż tylko wdrażania najnowszych narzędzi cyfrowych. Oznacza również kształtowanie kompetencji społecznych, takich jak odpowiedzialność za środowisko, empatia wobec przyrody i troska o przyszłość kolejnych pokoleń. To idea zakorzeniona w głębokim zrozumieniu relacji między człowiekiem a naturą, wspierana przez technologie, ale nie od nich uzależniona. Integracja sztucznej inteligencji z wartościami etycznymi, prawami człowieka i zasadami zrównoważonego rozwoju może stać się fundamentem nowego modelu cywilizacyjnego – takiego, który będzie bardziej sprawiedliwy, odporny i ekologicznie świadomy.

W tym kontekście ekointeligencja jawi się nie jako przyszłość odległa, ale jako proces, który już się rozpoczął i który wymaga od nas nie tylko innowacyjności, lecz także odwagi do refleksji, korekt i działania w imię wspólnego dobra planety.

W świetle przedstawionych analiz zasadne jest sformułowanie kilku rekomendacji dla dalszego rozwoju nauki i praktyki.

Dla nauki istotne jest pogłębianie badań nad transparentnością i zrozumiałością algorytmów AI wykorzystywanych w działaniach ekologicznych, a także rozwój interdyscyplinarnych programów badawczych i edukacyjnych, które łączą inżynierię, nauki społeczne i etykę środowiskową.

Dla praktyki rekomenduje się rozwój lokalnych i partycypacyjnych zastosowań AI w ochronie środowiska – szczególnie w obszarach monitoringu, predykcji i edukacji ekologicznej – przy jednoczesnym zapewnieniu równego dostępu do tych technologii. Szczególną rolę odgrywa tutaj personalizowana edukacja cyfrowa, oparta na AI, która może zwiększyć świadomość i zaangażowanie społeczne w działania prośrodowiskowe.

Bibliografia

- Bhat, S.A., Huang, N.-F. (2021). Big Data and AI Revolution in Precision Agriculture: Survey and Challenges. *IEEE Access*, 9, 110209–110222. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102227>
- Ganczar, M. (2023). Wykorzystanie sztucznej inteligencji w ochronie środowiska. *Gdańskie Studia Prawnicze*, 4(61), 294–307.

- Holmes, W., Bialik, M., Fadel, C. (2019). *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston: Center for Curriculum Redesign.
- Liao, H., Michalenko, E., Vegunta, S.C. (2023). Review of Big Data Analytics for Smart Electrical Energy Systems. *Energies*, 16, 3581.
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., Prenafeta Boldú, F.X. (2018). A Review on the Practice of Big Data Analysis in Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143(2), 23–37.
- Kotowski, A. (2023). Sztuczna inteligencja w służbie ekologii w inżynierii środowiskowej. <https://www.andrzejkotowski.pl/sztuczna-inteligencja-w-sluzbie-ekologii-w-inzynierii-srodowiskowej/>, dostęp: 15.07.2024.
- Markowitz, D.M., Laha, R., Perone, B.P., Pea, R.D., Bailenson, J.N. (2018). Immersive Virtual Reality Field Trips Facilitate Learning About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Olszacka, K. (2024). Czy sztuczna inteligencja jest szkodliwa dla środowiska? *INFOR*. <https://ai.infor.pl/sztuczna-inteligencja/6487062,czy-sztuczna-inteligencja-jest-szkodliwa-dla-srodowiska.html>, dostęp: 15.07.2024.
- Pawłowska-Kawa, A. (2024). Sztuczna inteligencja a zmiany klimatu – czy technologia, która ma służyć człowiekowi, może zaszkodzić planecie? *E-Magazyny*. <https://e-magazyny.pl/eksperckim-okiem/sztuczna-inteligencja-a-zmiany-klimatu-czy-technologie-ktora-ma-sluzyc-czlowiekowi-moze-zaszkodzic-planecie/>, dostęp: 24.04.2024.
- Ravuri, S., Lenc, K., Willson, M., Kangin, D., Lam, R., Mirowski, P., Fitzsimons, M., Athanassiadou, M., Kashem, S., Madge, S., Prudden, R., Mandhane, A., Clark, A., Brock, A., Simonyan, K., Hadsell, R., Robinson, N., Clancy, E., Arribas, A., Mohamed, S. (2021). Skillful Precipitation Nowcasting Using Deep Generative Models of Radar. *Nature*, 597, 672–677.
- Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Slavin Ross, A., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A., Maharaj, T., Sherwin, E.D., Mukkavilli, S.K., Kording, K.P., Gomes, C., Ng, A.Y., Hassabis, D., Platt, J.C., Creutzig, F., Chayes, J., Bengio, Y. (2019). Tackling Climate Change with Machine Learning. *ACM Computing Surveys*, 55(2), 1–96.
- Thoma, S.P., Hartmann, M., Christen, J., Mayer, B., Mast, F.W., Weibel, D. (2023). Increasing Awareness of Climate Change with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 4, 897034.
- Więckiewicz-Modrzewska, J. (2022). Sztuczna inteligencja w edukacji – szanse i zagrożenia. *Szkoła Specjalna*, 2, 128–136.
- Zhou, K., Fu, C., Yang, S. (2016). Big Data Driven Smart Energy Management: From Big Data to Big Insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 215–225.

Towards Eco-Intelligence: AI Tools in Environmental Protection and Ecological Education

Abstract

Artificial intelligence (AI) is increasingly becoming a vital component in addressing the global ecological crisis. This article explores the potential of AI tools in supporting

environmental protection and ecological education. It presents a cross-sectional analysis of AI applications in environmental monitoring, climate modelling, natural resource management and personalised educational systems. The paper introduces the concept of eco-intelligence, understood as a synergy between technological competence and environmental awareness, and emphasises not only the instrumental but also the ethical and social dimensions of AI implementation. The study adopts a review-based and analytical methodology, drawing on scientific literature, expert reports and real-world examples. It highlights the importance of integrating digital innovation with sustainability values and proposes a framework for the responsible development of AI in ecological contexts. The article contributes to the scientific discourse by offering a novel conceptual perspective and practical recommendations for both research and practice.

Keywords: artificial intelligence, eco-intelligence, sustainable development, environmental education, digital innovation, environmental monitoring

dr Przemysław Jura

Uczelnia Korczaka

e-mail: juraprzemyslaw@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7786-1592