

AI w Edukacji: Uzupełnienie Rozdziału
Dokumentu "The 2025 AI Index Report"

Tarik Alaiwi

31 maja 2025

Spis treści

1	Streszczenie	3
1.1	Kluczowe Wnioski	3
1.2	Trendy w Szkolnictwie Wyższym	4
1.3	Perspektywa Ekspercka i Wyzwania	4
2	Uzupełnienie	6
	Wprowadzenie do Raportu	6
2.1	AI Afektywna: Personalizacja Uczenia i Wsparcie Dobrostanu Emocjonalnego Uczniów	6
2.1.1	Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje	7
2.1.2	Technologie i Metodologie	7
2.1.3	Potencjalne Korzyści	7
2.1.4	Wyzwania i Implikacje Etyczne	8
2.2	Synergia AI i Neuronauki: Ku Neuroedukacji Wspomaganej Sztuczną Inteligencją	9
2.2.1	Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje	9
2.2.2	Technologie i Metodologie	9
2.2.3	Potencjalne Korzyści	10
2.2.4	Wyzwania i Implikacje Etyczne	10
2.3	Wyjaśnialna Sztuczna Inteligencja (XAI) w Edukacji: Funda- ment Zaufania, Przejrzystości i Krytycznej Oceny	11
2.3.1	Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje	11
2.3.2	Znaczenie XAI w Kontekście Edukacyjnym	11
2.3.3	Metody i Techniki XAI (Przegląd Koncepcyjny)	12
2.3.4	Wyzwania Implementacyjne	13
2.4	AI jako Narzędzie Rozwoju i Formatywnej Oceny Kompeten- cji Kluczowych XXI Wieku	13
2.4.1	Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje	13
2.4.2	Rola AI w Rozwijaniu Kompetencji Kluczowych	14
2.4.3	Rola AI w Formatywnej Ocenie Kompetencji Kluczo- wych	14
2.4.4	Wyzwania i Implikacje Etyczne	15

2.5	AI w Kształceniu Ustawicznym: Personalizacja Ścieżek Rozwoju Zawodowego i Adaptacji do Zmian na Rynku Pracy . .	16
2.5.1	Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje	16
2.5.2	Rola AI w Personalizacji Kształcenia Ustawicznego . .	16
2.5.3	Korzyści dla Pracowników i Pracodawców	17
2.5.4	Wyzwania i Implikacje Etyczne	17
2.6	Podsumowanie i Rekomendacje	18

Rozdział 1

Streszczenie

Rozdział "Edukacja" raportu AI Index 2025 przedstawia analizę globalnego stanu edukacji w zakresie sztucznej inteligencji (AI) i informatyki (CS), identyfikując kluczowe trendy, dysproporcje w dostępie oraz implikacje polityczne. Podkreśla się fundamentalne rozróżnienie między "AI w edukacji" (użycie narzędzi AI), "kompetencjami AI" (rozumienie AI) a "edukacją w zakresie AI" (kompetencje plus umiejętności techniczne tworzenia AI), przy czym raport koncentruje się na tym ostatnim aspekcie.

1.1 Kluczowe Wnioski

W Stanach Zjednoczonych obserwuje się niewielki wzrost dostępu do kursów informatyki (CS) w szkołach średnich (60% szkół w latach 2023-24 oferowało CS) oraz minimalny wzrost udziału uczniów (do 6,4%). Utrzymują się jednak znaczące dysproporcje w dostępie i partycypacji, uwarunkowane stanem, rasą/pochodzeniem etnicznym, statusem społeczno-ekonomicznym, płcią oraz niepełnosprawnością. Przykładowo, uczniowie pochodzenia latynoskiego, rdzenni Hawajczycy/Wyspiarze Pacyfiku, uczniowie z indywidualnymi programami nauczania (IEP) oraz uczący się języka angielskiego są niedoreprezentowani.

Mimo iż 81% amerykańskich nauczycieli CS uważa, że AI powinno stanowić część fundamentalnej edukacji informatycznej, mniej niż połowa z nich (np. 46% nauczycieli szkół średnich) czuje się przygotowana do nauczania AI, wskazując na potrzebę dodatkowych zasobów i szkoleń. Istniejące standardy CS K-12 w USA zawierają minimalną ilość treści specyficznych dla AI, a federalne wytyczne skupiają się bardziej na "AI w edukacji" niż na "edukacji w zakresie AI".

Globalnie, dwie trzecie krajów oferuje lub planuje oferować edukację CS na poziomie K-12, co stanowi dwukrotny wzrost od 2019 roku, z największym

postępem w krajach afrykańskich i latynoamerykańskich. Niemniej jednak, Afryka nadal boryka się z najniższym dostępem, głównie z powodu barier infrastrukturalnych (np. tylko 34% szkół podstawowych w Afryce Subsaharyjskiej miało dostęp do elektryczności w 2023 r.). Nieliczne kraje włączyły formalnie edukację AI do swoich programów nauczania, choć międzynarodowe organizacje, takie jak UNESCO, rozwijają odpowiednie ramy kompetencyjne.

1.2 Trendy w Szkolnictwie Wyższym

W USA liczba absolwentów studiów magisterskich w dziedzinie AI niemal podwoiła się między 2022 a 2023 rokiem, co może sygnalizować przyszły trend wzrostowy na wszystkich poziomach studiów. Rośnie również liczba instytucji oferujących specjalistyczne programy AI. Stany Zjednoczone pozostają światowym liderem w liczbie absolwentów kierunków związanych z technologiami informacyjno-komunikacyjnymi (ICT) na wszystkich poziomach. Pomimo tego, utrzymuje się niedoreprezentowanie kobiet oraz niektórych grup rasowych i etnicznych. Charakterystyczna jest dominacja studentów międzynarodowych (głównie z Indii i Chin) na amerykańskich studiach magisterskich (67%) i doktoranckich (60%) z informatyki. Polityki uniwersyteckie (obecne w 39% instytucji w USA) koncentrują się głównie na dopuszczalnym użyciu AI przez studentów, a nie na formalnym kształceniu w zakresie AI.

Globalnie, za USA w produkcji absolwentów ICT plasują się m.in. Hiszpania, Brazylia i Wielka Brytania. Turcja wyróżnia się najlepszą równowagą płci wśród absolwentów ICT, podczas gdy globalnie kobiety pozostają niedoreprezentowane.

1.3 Perspektywa Ekspercka i Wyzwania

Raport jednoznacznie wskazuje na pilną potrzebę świadomego projektowania sprawiedliwego ekosystemu edukacyjnego AI. Jest to kluczowe dla odpowiedzialnego rozwoju i wdrażania przyszłych innowacji technologicznych, zwłaszcza w kontekście ryzyk takich jak dezinformacja, wzmacnianie uprzedzeń czy erozja krytycznego myślenia. Konieczne jest ponowne przemyślenie programów edukacyjnych, w których kompetencje AI – obejmujące zarówno aspekty techniczne tworzenia, jak i krytyczną analizę etyki AI – są postrzegane jako fundamentalne dla przygotowania uczniów do przyszłości. Instytucje akademickie na całym świecie muszą intensyfikować działania na rzecz tworzenia ścieżek edukacyjnych AI, rozszerzania dostępu do odpowiednich kursów oraz podnoszenia kwalifikacji kadry nauczycielskiej. Wykorzystanie istniejącej infrastruktury i strategii wdrażania edukacji CS może ułatwić inte-

grację edukacji w zakresie AI, co jest niezbędne do budowania kompetentnej i zróżnicowanej kadry przyszłych twórców technologii.

Rozdział 2

Uzupełnienie

Analityczny Raport Uzupełniający: Kluczowe Kierunki Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Edukacji – Perspektywy i Implikacje

Wprowadzenie do Raportu

Niniejszy raport uzupełniający ma na celu dogłębną analizę wybranych, kluczowych zagadnień związanych z zastosowaniem sztucznej inteligencji (AI) w sektorze edukacji, które nie zostały w pełni rozwinięte w istniejących przeglądach, takich jak "The 2025 AI Index Report". Celem dokumentu jest przedstawienie analitycznej perspektywy na strategiczne kierunki rozwoju i implementacji AI, które mają potencjał zrewolucjonizować procesy nauczania i uczenia się. Omawiane zagadnienia – AI afektywna, synergia AI i neuronauki, wyjaśnialna AI (XAI), AI w rozwoju kompetencji kluczowych oraz AI w kształceniu ustawicznym – są niezwykle istotne z perspektywy budowania przyszłości edukacji, która będzie bardziej spersonalizowana, efektywna, inkluzywna i dostosowana do dynamicznie zmieniających się potrzeb uczniów oraz rynku pracy. Raport, utrzymany w tonie profesjonalnym, ale przystępnym, skierowany jest do szerokiego grona profesjonalistów, decydentów i wszystkich zainteresowanych transformacyjnym potencjałem AI w edukacji.

2.1 AI Afektywna: Personalizacja Uczenia i Wsparcie Dobrostanu Emocjonalnego Uczniów

Sztuczna inteligencja afektywna, znana również jako "affective computing", to dziedzina AI koncentrująca się na rozwoju systemów zdolnych do rozpoznawania, interpretowania, przetwarzania i symulowania ludzkich emocji. W kontekście edukacyjnym, jej celem jest stworzenie bardziej empatycznych i

responsywnych środowisk uczenia się, które dynamicznie adaptują się do stanów emocjonalnych uczniów, a także proaktywnie wspierają ich dobrostan psychiczny i zaangażowanie.[1][2][3][4]

2.1.1 Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje

Fundamentalna wartość AI afektywnej leży w jej potencjale do transformacji personalizacji nauczania, wykraczając poza adaptację treści do poziomu wiedzy i umiejętności ucznia. Systemy te dążą do uwzględnienia kluczowego, często pomijanego wymiaru – emocji, które są nieodłącznie związane z procesem poznawczym. Zrozumienie, czy uczeń jest sfrustrowany, znudzony, zaintrygowany czy zestresowany, pozwala na dostosowanie strategii dydaktycznych w czasie rzeczywistym, co może znacząco poprawić efektywność nauki.[2][3] Przewidywane implikacje obejmują nie tylko lepsze wyniki w nauce, ale także zwiększoną motywację, głębsze zaangażowanie oraz, co niezwykle istotne, wsparcie zdrowia psychicznego uczniów poprzez wczesne wykrywanie negatywnych stanów emocjonalnych i oferowanie odpowiednich interwencji lub informowanie nauczycieli czy opiekunów.

2.1.2 Technologie i Metodologie

Systemy AI afektywnej wykorzystują różnorodne modalności do pozyskiwania danych o stanie emocjonalnym ucznia. Należą do nich:

- Analiza mimiki twarzy: Wykrywanie mikroekspresji związanych z różnymi emocjami.
- Analiza tonu głosu: Identyfikacja cech prozodycznych wskazujących na stan emocjonalny.
- Dane biometryczne: Wykorzystanie czujników do pomiaru tętna, przewodnictwa skóry czy aktywności mózgu (np. EEG).
- Analiza interakcji z systemem: Śledzenie wzorców kliknięć, czasu odpowiedzi, popełnianych błędów, a nawet analiza tekstu pisanego przez ucznia (np. na czacie z wirtualnym tutorem).

Zebrane dane są następnie przetwarzane przez algorytmy uczenia maszynowego w celu klasyfikacji stanu emocjonalnego ucznia.

2.1.3 Potencjalne Korzyści

- Głęboka personalizacja: Systemy mogą dostosowywać tempo, rodzaj prezentowanych treści (np. bardziej angażujące wizualnie materiały w przypadku znudzenia) czy formę wsparcia (np. dodatkowe wskazówki w przypadku frustracji).

- Wsparcie dobrostanu emocjonalnego: Wczesne wykrywanie oznak stresu, lęku egzaminacyjnego czy wypalenia, co umożliwia szybką reakcję.[2]
- Zwiększone zaangażowanie i motywacja: Interaktywne systemy reagujące na emocje mogą sprawić, że nauka stanie się bardziej angażująca i mniej zniechęcająca.[2][3]
- Lepsze wyniki w nauce: Optymalizacja procesu uczenia się poprzez uwzględnienie czynników afektywnych może prowadzić do trwalszego zapamiętywania i lepszego zrozumienia materiału.[1]

2.1.4 Wyzwania i Implikacje Etyczne

Pomimo ogromnego potencjału, AI afektywna rodzi istotne wyzwania:

- Prywatność danych emocjonalnych: Emocje są niezwykle osobistymi danymi, a ich gromadzenie i analiza wymagają rygorystycznych zabezpieczeń i transparentnych polityk.[1][5]
- Trafność interpretacji: Emocje są złożone i kontekstowe. Istnieje ryzyko błędnej interpretacji przez AI, co może prowadzić do nieadekwatnych interwencji lub stygmatyzacji.[5]
- Upředzenia algorytmiczne: Modele AI mogą odzwierciedlać upředzenia obecne w danych treningowych, co może prowadzić do nierównego traktowania uczniów z różnych grup kulturowych czy demograficznych.
- Nadmierna zależność i manipulacja: Istnieje obawa, że uczniowie mogą stać się nadmiernie zależni od technologicznego wsparcia emocjonalnego lub, co gorsza, systemy te mogłyby być wykorzystywane do subtelnej manipulacji emocjami.
- Zgoda i kontrola użytkownika: Konieczne jest zapewnienie uczniom (i ich rodzicom) pełnej informacji oraz kontroli nad tym, jakie dane emocjonalne są zbierane i jak są wykorzystywane.

AI afektywna to obiecujący kierunek rozwoju AI w edukacji, który może fundamentalnie zmienić interakcję człowiek-komputer w procesie uczenia. Jednak jej wdrażanie musi odbywać się z najwyższą ostrożnością, przy pełnym uwzględnieniu aspektów etycznych i zapewnieniu dobrostanu użytkowników jako najwyższego priorytetu. Raport UNESCO "AI and education: guidance for policy-makers" również sugeruje potrzebę holistycznego podejścia do ucznia, co wpisuje się w cele AI afektywnej.[6][7][8][9]

2.2 Synergia AI i Neuronauki: Ku Neuroedukacji Wspomaganej Sztuczną Inteligencją

Połączenie sztucznej inteligencji (AI) z odkryciami neuronauki poznawczej otwiera fascynujące perspektywy dla edukacji, prowadząc do powstania dziedziny określanej niekiedy jako neuroedukacja wspomagana AI.[10][11] Ten interdyscyplinarny kierunek badań dąży do tworzenia bardziej efektywnych, zindywidualizowanych i opartych na solidnych dowodach naukowych strategii oraz narzędzi edukacyjnych, czerpiąc bezpośrednio z naszego rozumienia procesów uczenia się zachodzących w mózgu.[10][12]

2.2.1 Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje

Fundamentalna wartość tej synergii leży w możliwości przełożenia coraz bardziej szczegółowej wiedzy o funkcjonowaniu mózgu na praktyczne interwencje edukacyjne, z wykorzystaniem AI jako narzędzia do analizy złożonych danych neurofizjologicznych oraz modelowania procesów poznawczych.[10][11][12][13] Implikacje takiego podejścia są dalekosiężne: od projektowania materiałów dydaktycznych optymalizujących obciążenie poznawcze, przez tworzenie systemów adaptacyjnych reagujących na indywidualne wzorce aktywności neuronalnej, po rozwój nowych metod wsparcia dla uczniów ze specjalnymi potrzebami edukacyjnymi.[10][11]

2.2.2 Technologie i Metodologie

AI odgrywa kluczową rolę w analizie i interpretacji danych pochodzących z różnych technik neuroobrazowania i pomiaru aktywności mózgu, takich jak:

- Elektroencefalografia (EEG): AI może analizować sygnały EEG w czasie rzeczywistym, aby monitorować stany uwagi, zmęczenia czy zaangażowania poznawczego ucznia.
- Funkcjonalna spektroskopia w bliskiej podczerwieni (fNIRS): Pozwala na badanie aktywności metabolicznej mózgu, a AI może pomóc w identyfikacji wzorców związanych z różnymi zadaniami edukacyjnymi.
- Interfejsy mózg-komputer (BCI): Systemy BCI, często wykorzystujące AI do dekodowania sygnałów neuronalnych, mogą oferować nowe kanały komunikacji i interakcji dla uczniów z ograniczeniami motorycznymi lub werbalnymi.[10]

Ponadto, AI jest wykorzystywana do tworzenia obliczeniowych modeli procesów uczenia się i pamięci, inspirowanych architekturą i funkcjonowaniem sieci neuronalnych w mózgu.[12][13][14] Takie modele mogą pomóc w symulowaniu, jak różne strategie nauczania wpływają na procesy poznawcze.

2.2.3 Potencjalne Korzyści

- Ultra-personalizacja nauczania: Dostosowanie nie tylko treści, ale także momentu ich prezentacji, przerw czy rodzaju zadań do indywidualnego profilu neurokognitywnego ucznia i jego aktualnego stanu neurofizjologicznego.[10][11]
- Optymalizacja obciążenia poznawczego: AI analizująca dane neurofizjologiczne może pomóc w identyfikacji momentów, gdy uczeń jest przeciążony informacjami lub gdy jego mózg jest w optymalnym stanie do przyswajania nowej wiedzy.[10][11]
- Wczesne wykrywanie trudności w uczeniu się: Subtelne wzorce aktywności mózgu, analizowane przez AI, mogą sygnalizować ryzyko dysleksji czy innych trudności, zanim staną się one w pełni widoczne w zachowaniu.
- Wsparcie dla uczniów ze specjalnymi potrzebami: Technologie BCI wspomagane AI mogą otworzyć nowe możliwości edukacyjne dla uczniów z poważnymi niepełnosprawnościami.[10]
- Projektowanie "brain-friendly" materiałów dydaktycznych: Lepsze zrozumienie, jak mózg przetwarza informacje, może prowadzić do tworzenia skuteczniejszych i bardziej angażujących zasobów edukacyjnych.

2.2.4 Wyzwania i Implikacje Etyczne

Integracja AI i neuronauki w edukacji wiąże się również ze znaczącymi wyzwaniami:

- Prywatność i bezpieczeństwo danych neuronalnych: Dane o aktywności mózgu są niezwykle wrażliwe i wymagają najwyższych standardów ochrony.[10][11]
- Dostępność i koszty: Zaawansowane technologie neuroobrazowania i analizy AI są obecnie drogie i trudno dostępne, co rodzi ryzyko pogłębiania nierówności edukacyjnych.[10]
- Interpretacja danych i ryzyko redukcjonizmu: Mózg jest niezwykle złożony, a nadmierne upraszczanie interpretacji danych neurofizjologicznych może prowadzić do błędnych wniosków i stygmatyzacji.
- Etyka interwencji: Kwestie związane z modyfikowaniem stanu mózgu w celach edukacyjnych (np. poprzez neurofeedback) wymagają głębokiej refleksji etycznej.
- Potrzeba dalszych badań: Wiele potencjalnych zastosowań jest wciąż na wczesnym etapie badawczym i wymaga rygorystycznej walidacji naukowej przed szerokim wdrożeniem.[10][11]

Synergia AI i neuronauki zapowiada rewolucję w sposobie, w jaki podchodzimy do uczenia się i nauczania. Choć droga do powszechnego zastosowania tych technologii w klasie jest jeszcze długa i pełna wyzwań, potencjalne korzyści dla personalizacji edukacji i wspierania każdego ucznia zgodnie z jego unikalnymi predyspozycjami neurokognitywnymi są ogromne.

2.3 Wyjaśnialna Sztuczna Inteligencja (XAI) w Edukacji: Fundament Zaufania, Przejrzystości i Krytycznej Oceny

W miarę jak systemy sztucznej inteligencji stają się coraz bardziej zintegrowane z procesami edukacyjnymi, podejmując decyzje lub dostarczając rekomendacje wpływające na uczniów i nauczycieli, rośnie potrzeba zrozumienia, jak te systemy działają. Wyjaśnialna Sztuczna Inteligencja (XAI) to dziedzina badań i praktyki, której celem jest tworzenie modeli AI, których procesy decyzyjne są transparentne, zrozumiałe i możliwe do zweryfikowania przez człowieka.[15][16][17][18][19][20][21][22] W kontekście edukacji, XAI jest fundamentem budowania zaufania, zapewnienia sprawiedliwości oraz umożliwienia krytycznej oceny narzędzi AI.[15][18][20][23]

2.3.1 Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje

Wiele zaawansowanych modeli AI, szczególnie te oparte na głębokim uczeniu, działają na zasadzie "czarnej skrzynki" – potrafią one osiągać wysoką skuteczność w predykcjach czy klasyfikacjach, ale wewnętrzna logika ich działania jest niezwykle trudna, a czasem niemożliwa do prześledzenia dla człowieka.[17][18] W edukacji, gdzie decyzje mogą mieć długofalowe konsekwencje dla ścieżki rozwoju ucznia (np. rekomendacje kursów, oceny, identyfikacja specjalnych potrzeb), brak przejrzystości jest nieakceptowalny. XAI dąży do "otwarcia" tych czarnych skrzynek, dostarczając uzasadnień dla podejmowanych przez AI decyzji.[18][19] Implikacje wprowadzenia XAI do edukacji obejmują zwiększoną akceptację technologii AI, wzmocnienie autonomii nauczycieli i uczniów, możliwość identyfikacji i korygowania uprzedzeń w algorytmach oraz promowanie odpowiedzialnego korzystania z AI.[15][23]

2.3.2 Znaczenie XAI w Kontekście Edukacyjnym

- Budowanie zaufania: Nauczyciele, uczniowie i rodzice są bardziej skłonni zaufać systemom AI, jeśli rozumieją, na jakiej podstawie te systemy formułują swoje wnioski.[15][17][18][20][21][23]
- Wsparcie dla nauczycieli: XAI może pomóc nauczycielom zrozumieć, dlaczego system AI zasygnalizował trudności u konkretnego ucznia lub dlaczego zarekomendował określoną interwencję pedagogiczną. Daje to

nauczycielowi możliwość krytycznej oceny tej sugestii i podjęcia ostatecznej, świadomej decyzji.

- Wzmocnienie pozycji ucznia: Uczniowie, otrzymując wyjaśnienia dotyczące np. oceny wygenerowanej przez AI lub rekomendacji dotyczących dalszej nauki, mogą lepiej zrozumieć swoje mocne i słabe strony oraz świadomiej kierować własnym procesem uczenia się.
- Wykrywanie i łagodzenie uprzedzeń (bias): Algorytmy AI mogą nieświadomie utrzymywać lub nawet wzmacniać istniejące uprzedzenia obecne w danych, na których były trenowane. XAI może pomóc zidentyfikować czynniki, które nieproporcjonalnie wpływają na decyzje AI, umożliwiając ich korektę i zapewniając bardziej sprawiedliwe traktowanie wszystkich uczniów.[20]
- Odpowiedzialność i możliwość odwołania: Przejrzystość procesów decyzyjnych jest kluczowa dla ustalenia odpowiedzialności w przypadku błędnych lub krzywdzących decyzji AI oraz dla umożliwienia skutecznego procesu odwoławczego.[23]

2.3.3 Metody i Techniki XAI (Przegląd Konceptyjny)

Techniki XAI można ogólnie podzielić na te, które są specyficzne dla danego modelu (model-specific) oraz te, które są agnostyczne względem modelu (model-agnostic) i mogą być stosowane do dowolnej "czarnej skrzynki". Przykładowe podejścia obejmują:

- Wizualizacje: Graficzne przedstawienie czynników wpływających na decyzję.
- Wyjaśnienia oparte na przykładach: Pokazanie podobnych przypadków, które doprowadziły do określonego wyniku.
- Lokalne interpretowalne wyjaśnienia niezależne od modelu (LIME): Wyjaśnianie predykcji złożonego modelu poprzez przybliżenie jego zachowania prostszym, interpretowalnym modelem w lokalnym otoczeniu danej instancji.[17][20]
- Wartości SHAP (SHapley Additive exPlanations): Metoda oparta na teorii gier, która przypisuje każdej cesze wkład w predykcję.[17]
- Generowanie reguł: Ekstrakcja zestawu zrozumiałych reguł (np. "JEŚLI warunek A i warunek B, TO decyzja X") z bardziej złożonego modelu.

2.3.4 Wyzwania Implementacyjne

- Złożoność techniczna: Opracowanie skutecznych metod XAI dla bardzo złożonych modeli AI jest nadal aktywnym obszarem badań.[21][23]
- Równowaga między dokładnością a zrozumiałością: Wyjaśnienia muszą być wystarczająco precyzyjne, aby wiernie odzwierciedlać działanie modelu, a jednocześnie na tyle proste, aby były zrozumiałe dla użytkowników niebędących ekspertami AI.[23]
- Kontekstualizacja wyjaśnień: Skuteczne wyjaśnienie często zależy od kontekstu i potrzeb konkretnego użytkownika (np. nauczyciel może potrzebować innego rodzaju wyjaśnienia niż uczeń).
- Ryzyko nadmiernego zaufania do wyjaśnień: Nawet jeśli system AI dostarcza wyjaśnienia, mogą one nie być pełne lub mogą maskować głębsze problemy, prowadząc do fałszywego poczucia bezpieczeństwa.

Wprowadzenie XAI jest nie tylko pożądane, ale wręcz konieczne dla etycznego i odpowiedzialnego wdrażania sztucznej inteligencji w edukacji.[18] Tylko poprzez zapewnienie przejrzystości i możliwości zrozumienia działania tych systemów można budować trwałe zaufanie i zagwarantować, że AI będzie służyć rzeczywistemu wsparciu procesu edukacyjnego, a nie stanie się niezrozumiałą siłą kształtującą przyszłość uczniów w sposób niekontrolowany.

2.4 AI jako Narzędzie Rozwoju i Formatywnej Oceny Kompetencji Kluczowych XXI Wieku

Współczesna edukacja stoi przed wyzwaniem przygotowania uczniów nie tylko do przyswajania wiedzy faktograficznej, ale przede wszystkim do rozwijania szerokiego wachlarza kompetencji kluczowych, niezbędnych do skutecznego funkcjonowania w dynamicznie zmieniającym się świecie XXI wieku.[24][25][26][27][28][29] Umiejętności takie jak krytyczne myślenie, kreatywność, współpraca, komunikacja, rozwiązywanie złożonych problemów i adaptacyjność są coraz częściej wskazywane jako priorytetowe.[30][31][32][33][34][35] Sztuczna inteligencja oferuje obiecujące narzędzia i środowiska, które mogą wspierać zarówno aktywne kształtowanie, jak i, co równie istotne, formatywną ocenę tych przekrojowych kompetencji.

2.4.1 Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje

Tradycyjne metody nauczania i oceniania często napotykały trudności w efektywnym rozwijaniu i miarodajnym mierzeniu kompetencji kluczowych, które z natury są złożone i wielowymiarowe. AI może wnieść tu istotną wartość, umożliwiając tworzenie angażujących, interaktywnych środowisk uczących się oraz dostarczając narzędzi do analizy procesów i zachowań wska-

zujących na rozwój tych umiejętności. Implikacje wykorzystania AI w tym obszarze obejmują potencjalne przesunięcie paradygmatu edukacyjnego – z koncentracji na odtwarzaniu wiedzy w kierunku kultywowania umiejętności wyższego rzędu, a także dostarczanie uczniom i nauczycielom bogatszej, bardziej zniuansowanej informacji zwrotnej na temat postępów w ich rozwoju.[32]

2.4.2 Rola AI w Rozwijaniu Kompetencji Kluczowych

- Złożone symulacje i gry edukacyjne: AI może napędzać realistyczne symulacje i scenariusze (np. zarządzanie kryzysowe, prowadzenie debaty, realizacja projektu w wirtualnym zespole), które wymagają od uczniów stosowania krytycznego myślenia, podejmowania decyzji w warunkach niepewności, efektywnej komunikacji i współpracy.
- Adaptacyjne platformy problemowe: Systemy AI mogą prezentować uczniom spersonalizowane problemy o rosnącym stopniu złożoności, dostosowane do ich aktualnego poziomu umiejętności rozwiązywania problemów i krytycznego myślenia.
- Narzędzia wspierające kreatywność: AI może pełnić rolę partnera w procesie twórczym, np. poprzez generowanie alternatywnych pomysłów, dostarczanie nietypowych bodźców, czy pomaganie w wizualizacji koncepcji. Niektóre systemy potrafią również analizować oryginalność i nowatorstwo proponowanych rozwiązań.
- Platformy do treningu komunikacji i współpracy: Chatboty i wirtualni agenci mogą służyć do ćwiczenia umiejętności negocjacyjnych, argumentacji czy prezentacji. Systemy AI mogą również analizować dynamikę interakcji w grupach pracujących online, identyfikując wzorce efektywnej (lub nieefektywnej) współpracy.[33]

2.4.3 Rola AI w Formatywnej Ocenie Kompetencji Kluczowych

Ocena formatywna, czyli bieżące monitorowanie postępów i dostarczanie informacji zwrotnej w celu wspierania dalszego uczenia się, jest kluczowa dla rozwoju kompetencji. AI może ją wspierać poprzez:

- Analizę procesu, a nie tylko wyniku końcowego: Zaawansowane algorytmy mogą analizować logi interakcji ucznia z systemem, ścieżki rozwiązywania problemu, wkład w dyskusję grupową, dostarczając wglądu w strategię myślenia i podejścia do zadań.
- Spersonalizowany i natychmiastowy feedback: AI może dostarczać uczniom szczegółowych informacji zwrotnych na temat ich działań niemal w cza-

się rzeczywistym, wskazując na mocne strony i obszary wymagające poprawy w kontekście konkretnych kompetencji.

- Ocena oparta na dowodach z różnorodnych źródeł: Systemy AI mogą agregować i analizować dane z wielu aktywności (np. pisemne wypowiedzi, udział w symulacjach, interakcje na forum), tworząc bardziej holistyczny obraz kompetencji ucznia.
- Wsparcie dla nauczycieli w obserwacji i ocenie: AI może pomóc nauczycielom w analizie dużych ilości danych dotyczących pracy uczniów, sygnalizując kluczowe momenty lub wzorce zachowań, co ułatwia bardziej obiektywną i wszechstronną ocenę.

2.4.4 Wyzwania i Implikacje Etyczne

- Definicja i operacjonalizacja kompetencji: Precyzyjne zdefiniowanie i przełożenie złożonych kompetencji na mierzalne wskaźniki, które AI mogłaby analizować, jest dużym wyzwaniem.
- Autentyczność zadań i oceny: Scenariusze i zadania muszą być starannie zaprojektowane, aby rzeczywiście angażowały i pozwalały oceniać docelowe kompetencje w sposób autentyczny.
- Wiarygodność i sprawiedliwość algorytmów oceniających: Istnieje ryzyko, że algorytmy AI będą obciążone uprzedzeniami lub będą premiować określone, łatwo mierzalne aspekty kompetencji, pomijając inne, trudniejsze do uchwycenia. Zapewnienie bezstronności i unikanie dyskryminacji jest kluczowe.
- Redukcjonizm i "nauczanie pod testy AI": Nadmierne skupienie na tym, co AI potrafi zmierzyć, może prowadzić do zawężenia rozumienia kompetencji i niepożądanych strategii uczenia się.
- Integracja z praktyką pedagogiczną: Narzędzia AI muszą być postrzegane jako wsparcie dla nauczycieli, a nie ich zastępstwo. Kluczowa jest rola nauczyciela w interpretacji danych z AI i prowadzeniu wartościowego dialogu z uczniem.

Wykorzystanie AI do wspierania rozwoju i formatywnej oceny kompetencji kluczowych XXI wieku ma potencjał, by znacząco wzbogacić proces edukacyjny i lepiej przygotować młodych ludzi do wyzwań przyszłości. Jest to kierunek zgodny z globalnymi trendami w edukacji, podkreślanymi przez organizacje takie jak OECD (np. w ramach projektu Edukacja 2030).^{[24][25][26][27][28][29]} Realizacja tego potencjału wymaga jednak starannego projektowania narzędzi, ciągłych badań nad ich skutecznością oraz głębokiej refleksji nad etycznymi aspektami ich stosowania.

2.5 AI w Kształceniu Ustawicznym: Personalizacja Ścieżek Rozwoju Zawodowego i Adaptacji do Zmian na Rynku Pracy

Kształcenie ustawiczne (lifelong learning) przestało być jedynie opcją, a stało się koniecznością w obliczu bezprecedensowej dynamiki zmian technologicznych, transformacji rynku pracy i ewolucji wymaganych kompetencji.[36][37][38][39][40][41][42][43][44] Sztuczna inteligencja odgrywa coraz istotniejszą rolę w redefiniowaniu i wspieraniu procesów ciągłego uczenia się, oferując potężne narzędzia do personalizacji ścieżek rozwoju zawodowego, efektywnego reskillingu (przekwalifikowania) i upskillingu (podnoszenia kwalifikacji) osób dorosłych.[37][38][39][42]

2.5.1 Kluczowa Wartość Analityczna i Implikacje

Fundamentalna wartość AI w kształceniu ustawicznym leży w jej zdolności do analizy ogromnych zbiorów danych o indywidualnych predyspozycjach, dotychczasowych doświadczeniach, lukach kompetencyjnych oraz aktualnych i prognozowanych trendach na rynku pracy.[38][39] Na tej podstawie systemy AI mogą projektować wysoce spersonalizowane, elastyczne i efektywne ścieżki edukacyjne, wspierając jednostki w adaptacji do nowych wymagań zawodowych i utrzymaniu konkurencyjności. Implikacje tego podejścia obejmują demokratyzację dostępu do rozwoju zawodowego, zwiększenie mobilności na rynku pracy, lepsze dopasowanie podaży kompetencji do popytu oraz wsparcie dla transformacji gospodarczych.[37][38]

2.5.2 Rola AI w Personalizacji Kształcenia Ustawicznego

- Identyfikacja luk kompetencyjnych: AI może analizować CV, profile zawodowe, opisy stanowisk pracy oraz dane rynkowe, aby zidentyfikować rozbieżności między posiadanymi przez daną osobę umiejętnościami a kompetencjami wymaganymi na obecnym lub przyszłym stanowisku pracy.[38]
- Tworzenie spersonalizowanych ścieżek rozwoju: Na podstawie zidentyfikowanych luk i celów zawodowych użytkownika, systemy AI mogą rekomendować konkretne kursy, moduły szkoleniowe, materiały edukacyjne, a nawet projekty praktyczne, tworząc zindywidualizowany plan nauki.[37][38][42][45]
- Adaptacyjne platformy szkoleniowe: Platformy e-learningowe napędzane AI dostosowują tempo, poziom trudności i rodzaj prezentowanych treści do postępów i preferencji uczącego się dorosłego, optymalizując proces przyswajania wiedzy i umiejętności.[37][38][39][45]

- Prognozowanie przyszłych potrzeb kompetencyjnych: Analizując trendy technologiczne, zmiany w branżach i prognozy dotyczące rynku pracy (jak np. w raportach World Economic Forum), AI może pomagać w identyfikacji kompetencji, które będą zyskiwać na znaczeniu, umożliwiając proaktywne planowanie rozwoju kariery.[36][40][41][43][44]
- Wirtualni mentorzy i tutorzy: Chatboty i systemy konwersacyjnej AI mogą pełnić rolę wirtualnych doradców zawodowych, odpowiadać na pytania, motywować do nauki i pomagać w rozwiązywaniu problemów napotykanym w trakcie kursów.[37][39]
- Mikropoświadczenia i certyfikacja umiejętności: AI może wspierać systemy modułowego kształcenia i automatycznego przyznawania mikropoświadczeń (micro-credentials) za zdobycie konkretnych, wąskich umiejętności, co ułatwia dokumentowanie i uznawanie kompetencji na rynku pracy.

2.5.3 Korzyści dla Pracowników i Pracodawców

- Dla pracowników: Większa elastyczność i dostępność uczenia się ("just-in-time learning"), możliwość szybkiego przekwalifikowania lub podniesienia kwalifikacji, lepsze dopasowanie do wymagań rynku pracy, wsparcie w rozwoju kariery i osiąganiu celów zawodowych.[38][39]
- Dla pracodawców: Skuteczniejsze programy szkoleniowe dla pracowników, możliwość szybkiego wypełniania luk kompetencyjnych w organizacji, zwiększenie produktywności i innowacyjności zespołów, lepsze zarządzanie talentami i planowanie sukcesji.

2.5.4 Wyzwania i Implikacje Etyczne

- Jakość i relewantność treści: Zapewnienie, że treści edukacyjne rekomendowane i dostarczane przez platformy AI są wysokiej jakości, aktualne i rzeczywiście odpowiadają potrzebom rynku pracy.
- Motywacja i zaangażowanie uczących się dorosłych: Utrzymanie motywacji w samodzielnym procesie uczenia się online bywa trudne; systemy AI muszą być projektowane tak, aby angażować i wspierać użytkowników.[37]
- Dostępność i umiejętności cyfrowe: Nierówny dostęp do technologii i zróżnicowany poziom kompetencji cyfrowych wśród dorosłych mogą prowadzić do pogłębiania podziałów na rynku pracy.[37]
- Prywatność danych: Systemy AI w kształceniu ustawicznym przetwarzają wiele danych osobowych i zawodowych, co wymaga solidnych zabezpieczeń i transparentnych polityk prywatności.

- Uprzedzenia algorytmiczne: Rekomendacje AI dotyczące ścieżek kariery czy szkoleń mogą być obarczone uprzedzeniami (np. płciowymi, wiekowymi), jeśli algorytmy były trenowane na danych historycznych odzwierciedlających takie nierówności.
- Uznawanie kwalifikacji: Kwestia formalnego uznawania kwalifikacji i mikropoświadczeń zdobytych za pośrednictwem platform AI wymaga systemowych rozwiązań.

Sztuczna inteligencja ma potencjał, by stać się kluczowym filarem ekosystemu kształcenia ustawicznego, wspierając jednostki i organizacje w nawigowaniu po złożonym i dynamicznym rynku pracy.[37][38][39][42] Realizacja tej wizji wymaga jednak nie tylko rozwoju zaawansowanych technologii, ale także dbałości o aspekty pedagogiczne, etyczne oraz zapewnienie równego dostępu i wsparcia dla wszystkich uczących się dorosłych.

2.6 Podsumowanie i Rekomendacje

Przeanalizowane zagadnienia – AI afektywna, synergia AI i neuronauki, wyjaśnialna AI, rozwój kompetencji kluczowych XXI wieku z pomocą AI oraz rola AI w kształceniu ustawicznym – unaoczniają transformacyjny potencjał sztucznej inteligencji w sektorze edukacji. Każdy z tych obszarów, choć na różnym etapie rozwoju i adopcji, wskazuje na przyszłość, w której procesy nauczania i uczenia się stają się głębiej spersonalizowane, bardziej responsywne na indywidualne potrzeby (w tym emocjonalne i neurokognitywne), transparentne, zorientowane na rozwój przekrojowych umiejętności oraz dostępne przez całe życie.

Aby w pełni i odpowiedzialnie wykorzystać te możliwości, konieczne jest skoncentrowanie uwagi na kilku kluczowych aspektach. Po pierwsze, niezbędne są dalsze, interdyscyplinarne badania nad skutecznością i implikacjami omawianych rozwiązań AI, ze szczególnym uwzględnieniem kontekstu pedagogicznego i długofalowego wpływu na rozwój uczniów i osób dorosłych. Po drugie, priorytetem musi być rozwój i wdrażanie AI w sposób etyczny, z poszanowaniem prywatności, zapewnieniem sprawiedliwości algorytmicznej oraz budowaniem zaufania poprzez mechanizmy wyjaśnialności. Po trzecie, kluczowe jest przygotowanie kadr pedagogicznych do efektywnego korzystania z narzędzi AI oraz rozwijanie u uczniów i wszystkich użytkowników krytycznego podejścia do tej technologii. Wreszcie, należy dążyć do zapewnienia równego dostępu do korzyści płynących z AI w edukacji, aby nie pogłębiać istniejących nierówności. Dalszy rozwój i implementacja AI w edukacji wymagają zatem strategicznego planowania, inwestycji w badania i rozwój, tworzenia odpowiednich ram regulacyjnych oraz szerokiej współpracy między naukowcami, technologami, edukatorami i decydentami.