

# Povijesni pregled i suvremena primjena umjetne inteligencije u obrazovanju

Mia Čarapina<sup>1</sup>, Jana Žiljak Gršić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb

**Sažetak:** Rad donosi sažeti pregled višedesetljetnog razvoja i primjene umjetne inteligencije u obrazovanju, od prvih računalnih sustava za podršku obrazovanju do suvremene generativne i multimodalne faze. U radu se zatim razmatra primjena generativne umjetne inteligencije u obrazovanju u tehničkom području, s posebnim fokusom na polja računarstvo i grafička tehnologija. Empirijski dio rada temelji se na istraživanju provedenom među studentima Tehničkog veleučilišta u Zagrebu i Sveučilišta u Zagrebu Grafičkog fakulteta o navikama i stavovima uporabe umjetne inteligencije u obrazovanju. Rezultati istraživanja upućuju na učestalu uporabu alata umjetne inteligencije, njihovu integraciju u akademsku praksu te potrebu za jasnijim pravilima uporabe, promišljenijim pedagoškim usmjeravanjem i prilagodbom vrednovanja.

**Cljučne riječi:** umjetna inteligencija u obrazovanju, generativna umjetna inteligencija, visoko obrazovanje

## 1. Uvod

Umjetna inteligencija obuhvaća širok skup pristupa i primjena u različitim kontekstima. Pritom se uz termin “umjetna inteligencija” (engl. *Artificial Intelligence*, AI) susreće i termin “proširena inteligencija” (engl. *Augmented Intelligence*), koji naglašava da svrha iste nije zamjena ljudske inteligencije, nego nadopuna i proširenje ljudskih mogućnosti [1]. Početak trećeg desetljeća 21. stoljeća obilježen je porastom interesa za mogućnosti primjene umjetne inteligencije, ponajviše zbog široke dostupnosti alata temeljenih na generativnoj umjetnoj inteligenciji (engl. *Generative Artificial Intelligence*, GenAI), odnosno velikim jezičnim modelima (engl. *Large Language Models*, LLM) [2–4].

U javnom i znanstvenom prostoru primjena umjetne inteligencije u obrazovanju često se prikazuje kroz polarizirane rasprave o očekivanim koristima i mogućim rizicima, pri čemu se istodobno otvaraju pitanja utjecaja na obrazovanje i tržište rada,

kao i potreba da se razvoj i primjena usmjere prema odgovornim i etički utemeljenim načelima [5–8]. Ipak, važno je naglasiti da primjena umjetne inteligencije za podršku obrazovanju nije tek suvremeni trend te da istraživačko područje primjene umjetne inteligencije u obrazovanju (engl. *Artificial Intelligence in Education*, AIED) postoji desetljećima te obuhvaća razvoj i analizu niza pristupa i implementacija u obrazovnom kontekstu, od jednostavnih “imitacijskih strojeva” do adaptivnih pristupa učenju i poučavanju, ekspertnih sustava, inteligentnih tutorskih sustava (engl. *Intelligent Tutoring System*, ITS) i podatkovno vođenih rješenja. Aktualni porast interesa za primjenu umjetne inteligencije u obrazovanju posljednjih godina povezan je, između ostalog, i s razvojem tehnologija koje su postupno proširivale mogućnosti računalne potpore učenju. Primjerice, Zhai i sur. [9], ali i drugi autori [10–12], ističu da je aktualni zamah umjetne inteligencije u obrazovanju usko povezan s napretkom obrade velikih količina podataka (engl. *big data*), dostupnosti računarstva u oblaku (engl. *cloud computing*), napretkom istraživanja iz područja neuronskih mreža (engl. *neural networks*) i metoda strojnog učenja (engl. *machine learning*), čime su postali mogući, ali i pristupačni, skalabilniji, prilagodljiviji i interaktivniji sustavi. Tome pridonosi i razvoj velikih jezičnih modela. Rasprostranjena uporaba alata baziranih na generativnoj umjetnoj inteligenciji može se djelomično povezati i s njihovom jezičnom pristupačnošću, odnosno činjenicom da omogućuju interakciju putem prirodnoga jezika koji je korisnicima blizak i ne zahtijeva poznavanje specijaliziranih naredbi ili formalnih jezika [13].

Ipak, dostupnost i razvijenost tehnologije same po sebi ne jamče obrazovnu vrijednost alata koji se na njima temelje. Iako se generativna umjetna inteligencija u posljednje vrijeme često prikazuje kao tehnološka prekretnica koja preoblikuje dosadašnje poučavanje i učenje, Holmes i Tuomi [4] ističu da su očekivanja o učincima primjene umjetne inteligencije u obrazovanju često utemeljena na pogrešnim pretpostavkama o tome što takvi sustavi doista mogu, kao i na to da je njihova integracija u sustavu obrazovanja nerijetko bez jasnog odgovora na pitanje što se njima želi postići. Selwyn [14] stoga zagovara da bi fokus rasprava o primjeni umjetne inteligencije u obrazovanju trebao biti na “stvarno postojećim” oblicima umjetne inteligencije (engl. *actually existing AI*) [15], odnosno na sustavima koji se doista uvode i koriste u obrazovnoj praksi, sa svim svojim ograničenjima, pogreškama i infrastrukturnim preduvjetima. Time se naglasak nastoji prebaciti s apstraktnih obećanja o transformaciji obrazovanja na empirijski utemeljeno sagledavanje toga što konkretni alati bazirani na umjetnoj inteligenciji (ne)mogu u složenim društvenim kontekstima učinja te kakve su pritom društvene i etičke implikacije. Dodatnu složenost aktualnom trenutku daje i činjenica da generativna umjetna inteligencija u obrazovne ustanove često ne ulazi isključivo kroz planirane procese, nego i spontano, kroz svakodnevnu uporabu učenika i nastavnika, često i izvan formalnog konteksta. Reich i Dukes [16] ovaj fenomen opisuju pojmom “tehnologija koje dolaze” (engl. *arrival technologies*), naglašavajući kako alati poput ChatGPT-a mogu zaobići (i zaobilaze!) uobičajene institucionalne procese nabave, stručne pripreme edukatora i uvođenja u obrazovni

proces, čime istodobno otvaraju nove mogućnosti, ali i stvaraju pedagoške, organizacijske i istraživačke izazove.

Polazeći od navedenoga, cilj ovoga rada je pružiti sažeti uvid u višedesetljetni razvoj i primjenu umjetne inteligencije u obrazovanju, s osvrtom na neke od tehnoloških promjena koje su utjecale na mogućnosti njezine primjene. Rad je strukturiran tako da najprije donosi kratki povijesni pregled razvoja i primjene umjetne inteligencije u obrazovanju, a potom se usmjerava na aktualnu analizu primjene u tehničkom području i prikaz rezultata istraživanja o navikama i stavovima studenata o umjetnoj inteligenciji provedenog među studentima Tehničkog veleučilišta u Zagrebu i Sveučilišta u Zagrebu Grafičkog fakulteta. Naposljetku, raspravlja se o implikacijama dobivenih rezultata na učenje, poučavanje i vrednovanje, kao i smjernicama za integraciju umjetne inteligencije u obrazovanje u tehničkom području.

## 2. Povijesni razvoj primjene umjetne inteligencije u obrazovanju

Ideja stvaranja “strojeva koji mogu misliti” pojavila se znatno prije razvoja suvremenoga računarstva. Još su u ranim filozofskim i logičkim promišljanjima postojala nastojanja da se ljudsko mišljenje opiše, strukturira i sustavno prikaže pomoću pravila i formalnih načela [17]. Primjerice, MacLennan [18] ukazuje na to da su ideje na kojima se temelji umjetna inteligencija, a osobito one na kojima se temelji simbolička umjetna inteligencija (engl. *symbolic AI*) prisutne još u doba antičke Grčke [19]. Pritom govorimo o umjetnoj inteligenciji baziranoj na hipotezi fizičkog simboličkog sustava (engl. *Physical Symbol System Hypothesis*, PSSH), odnosno teoriji o umjetnoj inteligenciji i kognitivnoj znanosti koju su formulirali Newell i Simon [20] 70-ih godina 20. stoljeća. Ova teorija podrazumijeva da se znanje može reprezentirati simboličkim strukturama, a mišljenje modelirati kao računalna manipulacija tim strukturama prema formalnim pravilima. Formalna pravila pritom označavaju precizno definirane postupke i logičke operacije prema kojima se simboli mogu stvarati, povezivati, preoblikovati i koristiti u procesu zaključivanja. Drugim riječima, pretpostavlja se da računalo koje obrađuje simbole prema unaprijed određenim pravilima može pokazati inteligentno ponašanje nalik ljudskom.

U povijesnim prikazima kao rane prekretnice u području istraživanja i primjene umjetne inteligencije često se izdvaja Turingov znanstveni rad “Computing Machinery and Intelligence” [21] iz 1950. godine u kojem autor predlaže “Igru oponašanja” (engl. *Imitation game*), kasnije poznatu kao Turingov test, kojom se ispituje ljudska percepcija ponašanja stroja, odnosno može li čovjek prepoznati vodi li razgovor s računalom, odnosno strojem, ili s drugim čovjekom. Kao sljedeća ključna prekretnica često se navodi dokument “A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence” [22] iz 1955. godine, u kojem se termin “umjetna inteligenci-

ja” pojavljuje već u samom naslovu, a predlaže se održavanje ljetnoga istraživačkog projekta 1956. godine na Dartmouth Collegeu u Sjedinjenim Američkim Državama. Upravo se ovaj projekt uobičajeno opisuje kao simboličko “rođenje” istraživačkog područja, odnosno kao događaj koji je okupio prve istraživače i usmjerio istraživanja u području umjetne inteligencije kao zasebno područje [23].

Razvoj umjetne inteligencije obilježen je izmjenom i paralelizmom različitih paradigmi, od spomenutih simboličkih pristupa utemeljenih na pravilima i reprezentacijama znanja do podatkovno vođenih metoda strojnog učenja, neuronskih mreža i generativne umjetne inteligencije u novijem razdoblju [24]. Dok simbolički pristupi polaze od eksplicitno zadanih pravila, logičkih struktura i unaprijed definiranih modela znanja [25], podatkovno vođene metode temelje se na prepoznavanju obrazaca u skupovima podataka te na učenju zakonitosti, bez potrebe da sva pravila budu unaprijed definirana [26]. Generativna umjetna inteligencija na temelju učenja iz velikih količina podataka ne služi samo za klasifikaciju, predviđanje ili prepoznavanje obrazaca, nego i za stvaranje novog sadržaja, poput teksta, slika, zvuka, videozapisa ili programskog koda [27, 28]. Do danas, istraživačko se područje umjetne inteligencije postupno širilo izvan temeljnih teorijskih pitanja o prirodi inteligencije prema brojnim primjenama u različitim domenama, uključujući obrazovanje, kao i prema razvoju sustava sposobnih za predviđanje, klasifikaciju, prilagodbu i generiranje sadržaja u složenim i dinamičnim okruženjima.

Ovakav sažeti povijesni okvir pruža nužan uvod u kontekst primjene umjetne inteligencije u obrazovanju, jer se obrazovne primjene u pravilu oslanjaju na tehničke mogućnosti određenoga vremena, ali ih istodobno usmjeravaju specifični pedagoški ciljevi i institucionalni kontekst [24]. Razvoj istraživačkog područja umjetne inteligencije u obrazovanju odvijao se kroz isprepletanje različitih istraživačkih tradicija, tehnoloških dostignuća i obrazovnih očekivanja. Holmes i Tuomi [29] tako razlikuju tri međusobno povezana pristupa razvoju “inteligentnih” sustava. Prvi je umjetna inteligencija temeljena na znanju (engl. *knowledge-based/symbolic AI*), koja se u literaturi ponekad naziva i umjetnom inteligencijom temeljenom na pravilima (engl. *rule-based AI*) jer se oslanja na eksplicitno definirana pravila i inferencijske mehanizme. Drugi je podatkovno vođena umjetna inteligencija (engl. *data-driven AI*), koja se temelji na strojnom učenju i statističkom modeliranju na velikim skupovima podataka. Treći je hibridni, neuro-simbolički pristup (engl. *neuro-symbolic*), koji nastoji kombinirati prednosti podatkovno vođenih i simboličkih metoda. Prema njihovoj analizi, pristup utemeljen na pravilima dugo je prevladavao u obrazovnim primjenama, dok podatkovno vođene metode osobito jačaju u novijem razdoblju. Povijesni prikaz u nastavku strukturiran je u četiri razdoblja koja odražavaju značajnije tehnološke promjene i njihov utjecaj na učenje i podučavanje, s naglaskom na primjenu umjetne inteligencije za podršku obrazovanju.

## 2.1 Rani temelji

Rani primjeri primjene umjetne inteligencije u obrazovanju sredinom 20. stoljeća bili su povezani s pokušajima mehanizacije poučavanja i provjere znanja te najčešće utemeljeni na jasno strukturiranim zadacima, postupnom napredovanju i pružanju povratne informacije učeniku [30]. To znači da se tehnološki korijeni pristupa dizajnu i razvoju sustava usmjerenih učeniku (engl. *learner-centered design*) mogu pratiti već u ovom ranom periodu, od prvih mehaniziranih uređaja za vježbu do nešto kasnijih adaptivnih strojeva za poučavanje [4]. Primjerice, početkom 50-ih godina 20. stoljeća Skinner [30] razvija stroj za poučavanje (engl. *teaching machine*) te ističe učinak usporediv s individualnim podučavanjem, čime se anticipiraju kasniji inteligentni tutorski sustavi. Jedan od poznatijih i često etiketiran kao jedan od prvih ITS sustava bio je Carbonellov SCHOLAR [31] iz 70-ih, koji je generirao odgovore na temelju semantičke mreže pojmova. U istom se razdoblju, 50-ih godina 20. stoljeća, pojavljuju i prvi adaptivni sustavi. Primjerice, Paskov SAKI (engl. *Self-Adaptive Keyboard Instructor*, SAKI) [32] prilagođavao je zadatke prema prethodnom uspjehu. Nešto kasnije, 60-ih i 70-ih godina, prevladavaju ponešto drukčiji adaptivni sustavi temeljeni na pristupu poučavanja uz pomoć računala (engl. *Computer-Aided Instruction*, CAI). Prvi značajniji primjer takvog sustava bio je PLATO (engl. *Programmed Logic for Automatic Teaching Operations*, PLATO) koji je studentima omogućavao pristup nastavnim materijalima, od kojih su neki bili interaktivni, na središnjem računalu putem udaljenih terminala, pri čemu je sustav istodobno moglo koristiti i do tisuću studenata. Ipak, CAI sustavi nisu bili široko prihvaćeni, ponajprije zbog visoke cijene i ograničene dostupnosti glavnih računala potrebnih za njihovo izvođenje [1].

U obrazovnom smislu, navedene tehnološke promjene i prvi prototipi obrazovnih sustava baziranih na umjetnoj inteligenciji pridonijeli su jačanju ideje da se proces poučavanja može strukturirati, sekvencirati i individualizirati uz pomoć računala. Skinnerov koncept stroja za poučavanje [30] označio je početak tehnološki posredovane podrške učenju, utemeljene na postupnom usvajanju sadržaja kroz manje cjeline i na pružanju neposredne povratne informacije učeniku, čime je otvoren prostor za sustavnije promišljanje individualiziranog učenja u tehnološki posredovanom okruženju [30, 33]. Premda su takvi sustavi bili tehnički ograničeni i usmjereni ponajprije na dobro strukturirane zadatke, oni su oblikovali važno načelo koje će ostati prisutno i u kasnijim fazama razvoja i primjene umjetne inteligencije u obrazovanju. Riječ je o shvaćanju da se tehnologija ne mora upotrebljavati samo kao medij za distribuciju i digitalizaciju sadržaja, nego i za prilagodbu nastavnog sadržaja i procesa individualnim obrascima učenja. Drugim riječima, već se u ovom ranom razdoblju pojavljuje začetak personalizacije učenja i adaptivnosti te promišljanje o tome kako računalni sustavi mogu preuzeti dio funkcija koje su se dotad smatrale isključivo domenom nastavnika, poput odabira zadatka, prepoznavanja pogreške i davanja ciljane povratne informacije [30, 32, 34].

## 2.2 Formiranje umjetne inteligencije u obrazovanju kao istraživačkog područja

Tijekom 80-ih i 90-ih godina 20. stoljeća područje istraživanja i primjene umjetne inteligencije u obrazovanju postupno se profilira kao prepoznatljivo istraživačko područje, kroz početak održavanja specijaliziranih znanstvenih događaja i formiranje publikacijskih kanala. Tako je 1983. godine u Exeteru u Ujedinjenom Kraljevstvu održana prva međunarodna konferencija “International Conference on Artificial Intelligence and Education” [33]. Zanimljivo je da se krajem 80-ih postepeno mijenja priroda odnosa između umjetne inteligencije i obrazovanja u formalnom nazivu područja te se prvotni veznik “i” (engl. *and*) zamjenjuje s “u” (engl. *in*), odnosno uz naziv “Artificial Intelligence *and* Education” pojavljuje se i naziv “Artificial Intelligence *in* Education”. Iako naizgled minorna, ova promjena simbolično definira daljnji smjer istraživanja s većim naglaskom na primjenu umjetne inteligencije u obrazovanju [33]. Nadalje, formalni status područja dodatno potvrđuje pokretanje specijaliziranog znanstvenog časopisa “International Journal of Artificial Intelligence in Education” (ijAIED) [35] 1989. godine.

Ovaj period karakterizira jedna od nekoliko značajnih tehnoloških promjena koje su se dogodile do kraja 20. stoljeća. Pojava i financijska pristupačnost osobnih računala (engl. *Personal Computer*, PC) početkom 80-ih pridonijele su većoj dostupnosti tadašnjih CAI sustava, čime su stvoreni preduvjeti za njihovu širu primjenu. Ipak, glavni nedostatak gotovo svih tadašnjih CAI sustava bio je izostanak “stvarne” prilagodljivosti individualnom korisniku, jer su redosljed sadržaja, ponuđene informacije i odgovori sustava bili unaprijed zadani i jednaki za sve studente [36]. Međutim, dostupnost osobnih računala značajno je odredila daljnji smjer primjene računala u obrazovanju te razvoja metoda za prilagodbu individualnom korisniku.

U ovom razdoblju intenzivno se razvijaju inteligentni tutorski sustavi koji, povijesno gledano, predstavljaju najčešći oblik primjene umjetne inteligencije za podršku učenju i podučavanju. Prema jednoj od definicija [37] inteligentni tutorski sustavi su računalni sustavi i programi koji primjenjuju tehnike umjetne inteligencije za interakciju s učenicima i pružanje iskustava prilagođenih njihovim trenutačnim potrebama. Izvorno je taj pojam obuhvaćao samo sustave koji modeliraju učenikovo znanje u razvoju, no kasnije definicije često uključuju i sustave koji se prilagođavaju obrascima učenikove aktivnosti te procjenama onoga što učenik zna. Osnovna značajka ovih sustava je integracija nekoliko različitih modela, odnosno pojednostavljenih računalnih prikaza specifičnih znanja o stvarnome svijetu. Tako primjerice mogu sadržavati model domene (engl. *domain model*), model učenika (engl. *learner model*), pedagoški model (engl. *pedagogical model*) te druge modele ovisno o kontekstu primjene. Holmes i Tuomi [4] pritom ističu da su tutorski sustavi temeljeni na znanju relativno uspješniji u formalnim i strukturiranim područjima poput matematike i fizike, gdje je lakše izgraditi stabilne modele domene.

U širem smislu, ovo razdoblje učvršćuje ključnu premisu primjene umjetne inteligencije u obrazovanju da računalo nije samo medij prijenosa sadržaja, nego može preuzeti određene funkcije poučavanja, odnosno dijagnostiku pogrešaka, adaptivno vođenje i ciljanu povratnu informaciju, u mjeri u kojoj je moguće modelirati domenu i učenikove postupke [4]. Time se obrazovna tehnologija pomiče prema dijagnostičko-podržavajućoj ulozi, odnosno nastojanju da sustav “pokušava razumjeti” gdje učenik griješi te usmjeravanju prema ispravnom rješenju [33, 38]. Posljedično, istraživanja u području primjene umjetne inteligencije u obrazovanju tijekom 80-ih i 90-ih godina bila su ponajviše usmjerena na razvoj podrške strukturiranom i individualiziranom učenju, čime je obrazovanje dobilo snažnije alate za personalizaciju učenja [4, 38].

## 2.3 Digitalno širenje i podatkovni zaokret

Krajem 90-ih godina 20. stoljeća dolazi do dvije tehnološke promjene koje značajno utječu na daljnji razvoj sustava za podršku obrazovanju te mogućnosti primjene umjetne inteligencije. Sve šira javna dostupnost i raširena uporaba interneta nakon prve polovice 90-ih godina, zajedno sa širenjem World Wide Weba, stvorile su preduvjete za razvoj mrežno utemeljenih obrazovnih sustava te omogućile pristup udaljenim obrazovnim sadržajima. Posljedično se od 2000-ih nadalje intenzivno razvijaju te postaju široko rasprostranjeni razni sustavi za e-učenje (engl. *e-learning*) i platforme za upravljanje učenjem (engl. *Learning Management System*, LMS) [39], a s njima i novi oblici primjene umjetne inteligencije u obrazovanju, uključujući adaptivne i inteligentne web-bazirane obrazovne sustave (engl. *Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*, AIWES) koji, oslanjajući se na model učenika, prilagođuju sadržaj i navigaciju različitim skupinama i pojedincima [40]. Početkom 2000-ih Brusilovsky i suradnici [40] izdvajaju pet tehnologija koje se mogu primjenjivati u takvim sustavima: adaptivnu hipermediju (engl. *adaptive hypermedia*), adaptivno filtriranje informacija (engl. *adaptive information filtering*), inteligentno praćenje (engl. *intelligent monitoring*), inteligentno suradničko učenje (engl. *intelligent collaborative learning*) i inteligentno poučavanje (engl. *intelligent tutoring*). Svakako, ovisno o izvoru, postoje i druge klasifikacije adaptivnih i inteligentnih tehnologija i sustava.

Ono što se u ovom razdoblju također počinje intenzivnije razvijati su sustavi za podršku računalom podržanom suradničkom učenju (engl. *Computer-supported Collaborative Learning*, CSCL) kojima se naglasak stavlja na podršku grupnom, odnosno suradničkom, radu. U takvim se sustavima nastoje pratiti i poduprijeti obrasci suradnje, sudjelovanje članova grupe, grupna dinamika, razmjena ideja i regulacija zajedničkoga rada, pa se razvijaju rješenja poput alata za svijest o radu grupe i njenih članova (engl. *group awareness*), sustava za praćenje interakcije te inteligentnog usmjeravanja (engl. *scaffolding*) i pružanja povratne informacije grupama i edukatorima [41, 42].

Kasnije, sredinom prvog desetljeća 21. stoljeća, pojavljuju se i prvi masovni otvoreni mrežni kolegiji (engl. *Massive Open Online Course*, MOOC) [43, 44], koji dodatno proširuju mogućnosti mrežno utemeljenog obrazovanja prema otvorenijim, dostupnijim i skalabilnijim oblicima učenja. Takvi su kolegiji, osobito zbog velikog broja polaznika i digitalnog praćenja njihovih aktivnosti, otvorili dodatni prostor za primjenu umjetne inteligencije u personalizaciji učenja, preporučivanju sadržaja, automatiziranim vrednovanju i analizi obrazovnih podataka [45, 46].

Treća bitna tehnološka promjena koja je znatno pridonijela digitalnom širenju i podatkovnom zaokretu bila je razvoj pametnih telefona (engl. *smartphone*) i drugih mobilnih uređaja, uključujući tablet računala (engl. *tablet computer*), kao i njihova šira dostupnost krajem prvog desetljeća 21. stoljeća. Time se primjena tehnologije u obrazovanju širi na mobilno učenje (engl. *mobile learning*, *m-learning*), obilježeno učenjem u pokretu, odnosno većom prostornom i vremenskom fleksibilnošću te mogućnošću uključivanja konteksta uporabe uređaja, poput lokacije i vremena [47].

Sve navedene tehnološke promjene dovele su do sustavnog bilježenja i pohrane većeg broja digitalnih zapisa o aktivnostima učenja. Holmes i Tuomi [29] tako povezuju razvoj istraživačkog područja primjene umjetne inteligencije u obrazovanju s ubrzanim rastom područja rudarenja obrazovnih podataka (engl. *Educational Data Mining*, EDM) [48] i analitike učenja (engl. *learning analytics*) [49], čiji doprinosi sve češće postaju relevantni ne samo za istraživanje, nego i za obrazovnu politiku i praksu. Također, razvoj računarstva u oblaku dodatno je učvrstio infrastrukturnu osnovu za pohranu, obradu i analizu obrazovnih podataka [50].

Ovakav podatkovni zaokret utjecao je na obrazovanje na najmanje tri razine [51–53]. Prvo, omogućio je preciznije praćenje učenja i pravodobniju povratnu informaciju učenicima. Drugo, nastavnicima i institucijama pružio je nove uvide za donošenje odluka o podršci, prilagodbi sadržaja i prepoznavanju rizičnih obrazaca ponašanja. Treće, pridonio je razvoju ideje skalabilne personalizacije, odnosno mogućnosti da se individualizirana podrška pruža većem broju učenika nego što je to izvedivo isključivo ljudskim resursima.

## 2.4 Generativna i multimodalna faza

Početak 2020-ih obilježen je naglim porastom vidljivosti i dostupnosti alata umjetne inteligencije u obrazovanju, ponajprije zbog tehnološkog napretka u obradi prirodnog jezika i računalnog vida te razvoja velikih jezičnih modela i multimodalnih sustava [3, 54]. Veliki jezični modeli omogućili su naprednu obradu i generiranje prirodnoga jezika, generativna umjetna inteligencija proširila je te mogućnosti na stvaranje novoga sadržaja, a multimodalni sustavi dodatno su omogućili povezivanje i obradu različitog sadržaja, poput teksta, slike, zvuka i videa, što je otvorilo nove

mogućnosti njihove primjene u obrazovanju [55–57]. Time se umjetna inteligencija, iz do tada često pozadinske analitičke infrastrukture, premješta u samo središte svakodnevnih obrazovnih aktivnosti, uključujući pisanje, sažimanje, objašnjavanje, generiranje ideja, programiranje, pripremu nastavnih materijala i ostalo. Pritom je značajno da takvi sustavi omogućuju interakciju putem prirodnog jezika, što povećava vjerojatnost “spontanog” ulaska tehnologije u svakodnevnu obrazovnu praksu. Tako, za razliku od obrazovnih tehnologija koje se uvode planski, kroz postupke odabira i nabave, alati bazirani na generativnoj umjetnoj inteligenciji u obrazovne institucije često “ulaze” mimo tih procesa, kroz neplaniranu uporabu učenika i nastavnika te kroz brzu integraciju značajki baziranih na umjetnoj inteligenciji u već postojeće digitalne alate.

Istodobno, recentne analize i kritički osvrti na upotrebu generativne umjetne inteligencije u obrazovanju upozoravaju na potrebu razboritog razlikovanja tehničkih mogućnosti i obrazovne vrijednosti korištenih alata. Primjerice, Selwyn [14] naglašava da se rasprave o umjetnoj inteligenciji u obrazovanju trebaju usmjeriti na matematičke i statističke granice umjetne inteligencije u modeliranju složenih društvenih konteksta, odnosno pokušaja da se društveni odnosi, interakcije i okolnosti u kojima se odvija učenje prikažu u obliku podataka i računalnih modela, te rizike pretjeranih obećanja i problematike “AI kazališta” (engl. *AI theatre*), odnosno prikazivanja umjetne inteligencije kao naprednije, autonomnije ili korisnije nego što stvarno jest. U tom smislu, generativna i multimodalna faza donosi pomak u dostupnosti i interakciji [58], ali istodobno otvara i nova pitanja o odgovornom uvođenju, pouzdanosti, pristranosti, privatnosti [59] i dugoročnim posljedicama reorganizacije obrazovanja prema onome što je strojno čitljivo i podatkovno upravljivo [60].

### 3. Generativna umjetna inteligencija u obrazovanju u tehničkom području

U obrazovanju unutar tehničkog područja, u aktualnoj generativnoj i multimodalnoj fazi razvoja umjetne inteligencije, očituje se njezina dvostruka uloga. S jedne se strane sve jasnije prepoznaje potreba da se umjetnoj inteligenciji posveti više prostora kao sadržaju učenja, dok se s druge strane naglašava potreba za sustavnijim korištenjem njezina potencijala kao alata za učenje i poučavanje.

Primjerice, u dosadašnjem pristupu poučavanju programiranja naglasak je bio na postupnom usvajanju sintakse, struktura podataka i algoritamskog razmišljanja kroz samostalno rješavanje zadataka, uz podršku nastavnika i postupno uvođenje složenijih obrazaca. Studenti računarstva danas ne uče samo o programskim paradigmatama, nego istodobno koriste alate umjetne inteligencije za modeliranje, generiranje koda, pronalaženje i ispravljanje pogrešaka, pronalaženje objašnjenja i primjera, analizu i

izradu dokumentacije i drugo [61–64]. Štoviše, istraživanja o korištenju Copilota kod programera početnika ukazuju na dinamiku rada sličnu tehnici programiranja u paru (engl. *pair programming*) u kojoj studenti često iteriraju kroz prijedloge alata i razvijaju nove obrasce samoregulacije (npr. provjera, uspoređivanje rješenja, testiranje) [65, 66]. Pritom se ističu i rizici prevelikog oslanjanja na alat kada se odgovor čini uvjerljivim. U širem smislu, ovakvi alati postaju dio svakodnevne infrastrukture rada u računarstvu, pa se poučavanje sve više mora baviti ne samo time kako napisati kod, nego i time kako procijeniti generirani kod, odnosno je li takav kod funkcionalan, učinkovit, čitljiv i usklađen sa zadatkom kojeg treba riješiti [8, 67].

Slično tomu, studenti u polju grafičke tehnologije ne usvajaju samo znanja o grafičkoj pripremi i produkcijskim procesima, vizualnoj komunikaciji i digitalnoj obradi slike, nego se istodobno služe alatima umjetne inteligencije za automatizaciju pojedinih faza u procesu grafičke produkcije te izradu i prilagodbu grafičke dokumentacije [68]. Istodobno se naglašava da takvi alati ne zamjenjuju potrebu za stručnom prosudbom, nego je dodatno ističu [68, 69]. Odnosno, studenti moraju moći procijeniti primjerenost generiranog sadržaja, njegovu tehničku izvedivost, usklađenost s projektnim zadatkom te pitanja autorstva, izvornosti i etičke prihvatljivosti [70].

U tom se kontekstu pojavljuju i kompetencije koje ranije nisu bile eksplicitno adresirane. Neke od njih su oblikovanje upita (engl. *prompt engineering*) kao specifičan način artikulacije problema i zahtjeva [3, 71, 72], interpretacija i evaluacija izlaza generiranog alatom baziranog na umjetnoj inteligenciji [73, 74] te metodično provjeravanje rješenja (npr. izrada testova, analiza rubnih slučajeva, provjera složenosti i sigurnosnih implikacija) [65, 75]. Sve navedeno odražava potrebu da se uporaba generativne umjetne inteligencije usmjeri prema odgovornom i kritičkom djelovanju, a ne prema nekritičkom preuzimanju sadržaja i rješenja [3, 8]. U računarstvu se to dodatno pojačava činjenicom da nedovoljno optimiziran ili neispravan kod može izgledati ispravno, pa se sustavno testiranje i kritička procjena nameću kao ključna vještina [14]. Digitalna pismenost u tehničkim, ali i drugim disciplinama, tako zahtjeva i razumijevanje osnovnih načela rada velikih jezičnih modela te razumijevanje ograničenja, primjerice da generativni sustavi proizvode vjerojatne izlaze, a ne jamčeno točne odgovore.

### **3.1 Istraživanje o navikama i stavovima studenata o umjetnoj inteligenciji**

Kako bi se dublje istražile navike i stavovi studenata o primjeni alata umjetne inteligencije u visokom obrazovanju u Hrvatskoj, u svibnju 2025. godine provedeno je anketno istraživanje među studentima nekoliko visokih učilišta u Zagrebu. Provedeno istraživanje odobrilo je Etičko povjerenstvo Tehničkog veleučilišta u Zagrebu pod ur. br. 251-375-01-25-2 te su svi ispitanici bili upoznati s ciljevima istraživanja

te načinima prikupljanja, pohrane i obrade podataka. Sudjelovanje u istraživanju bilo je dobrovoljno i anonimno te su ispitanici mogli odustati u bilo kojem trenu tijekom provedbe istraživanja. Podaci su prikupljeni pomoću alata LimeSurvey, a studenti su upitnik uglavnom ispunjavali na fizičkim lokacijama unutar matične obrazovne ustanove, neposredno prije početka ili kraja redovne nastave. U nastavku su prikazani kontekst i rezultati dijela spomenutog istraživanja provedenoga na dvjema visokoo-brazovnim institucijama iz tehničkog područja, Tehničkom veleučilištu u Zagrebu (TVZ) i Sveučilištu u Zagrebu Grafičkom fakultetu (GRF). Detaljni rezultati cjelokupnog istraživanja i predložak anketnog upitnika dostupni su na zahtjev.

### 3.1.1 Demografska statistika ispitanika

U istraživanju provedenom na TVZ-u i GRF-u sudjelovalo je ukupno 520 studenata, od čega 391 student TVZ-a i 129 studenata GRF-a. U uzorku TVZ-a dominantno su bili zastupljeni studenti muškog spola (76,47 %), uz 19,44 % studentica i 4,09 % ispitanika koji se nisu izjasnili o spolu. S druge strane, uzorak GRF-a karakterizira dominantna zastupljenost studentica (82,17 %), dok su studenti činili 17,83 % ispitanika.

U oba su uzorka bili zastupljeni studenti različitih godina studija, pri čemu su u većem udjelu bili zastupljeni studenti prijediplomskih studija. Na TVZ-u je najveći udio ispitanika dolazio sa stručnog prijediplomskog studija Računarstvo, smjer Programsko inženjerstvo (28,13 %). Slijede studenti stručnog prijediplomskog studija Informatika, smjer Informatički dizajn (11,76 %), stručnog prijediplomskog studija Informatika, smjer Organizacija i informatizacija ureda (11,25 %) te stručnog prijediplomskog studija Informatika, smjer Elektroničko poslovanje (8,18 %). Među zastupljenijim skupinama bili su i studenti stručnog prijediplomskog studija Graditeljstvo, smjer Visokogradnja (7,16 %) i smjer Građevinsko poduzetništvo (5,63 %), kao i studenti stručnog prijediplomskog studija Računarstvo, smjer Inženjerstvo računalnih sustava i mreža (4,35 %). Ostali studijski smjerovi bili su zastupljeni u manjim udjelima, uključujući elektrotehniku, mehatroniku, strojarstvo i pojedine diplomske studije. Na GRF-u najzastupljeniji su bili studenti prijediplomskog sveučilišnog studija Dizajn grafičkih proizvoda (55,04 %), zatim studenti prijediplomskog sveučilišnog studija Tehničko-tehnološki smjer (26,36 %), studenti diplomskog sveučilišnog studija Dizajn grafičkih proizvoda (13,18 %) te studenti diplomskog sveučilišnog studija Tehničko-tehnološki smjer (5,43 %).

### 3.1.2 Rezultati

Rezultati pokazuju da studenti obje ustanove vlastitu informatičku pismenost procjenjuju pretežito visokom. Na TVZ-u 85,17 % ispitanika smatra da posjeduje visoku razinu informatičke pismenosti, 12,53 % srednju, a 2,30 % nisku, dok je na

GRF-u 79,07 % studenata procijenilo svoju informatičku pismenost visokom, 19,38 % srednjom, a 1,55 % niskom. Uočena je razlika u rezultatima o samoprocjeni formalnoj izloženosti temama umjetne inteligencije između studenata TVZ-a i GRF-a. Na TVZ-u je tek 27,37 % studenata navelo da je slušalo teme ili kolegije iz područja umjetne inteligencije, dok je na GRF-u taj udio gotovo upola veći i iznosi 50,39 %. Nadalje, 69,76 % studenata GRF-a djelomično se ili u potpunosti slaže s tvrdnjom da može razumjeti alate i resurse povezane s umjetnom inteligencijom, dok je na TVZ-u taj udio nešto niži i iznosi 58,06 %.

Kada je riječ o učestalosti korištenja alata umjetne inteligencije, na obje ustanove prevladava učestala upotreba. Na TVZ-u 31,71 % studenata koristi alate umjetne inteligencije više puta tjedno, 21,99 % svakodnevno, a 7,42 % nekoliko puta dnevno, dok ih 16,88 % koristi više puta mjesečno i 16,37 % povremeno. Na GRF-u najviše studenata također navodi korištenje više puta tjedno (26,36 %), zatim više puta mjesečno (21,71 %) i povremeno (20,93 %), dok 15,50 % studenata alate umjetne inteligencije koristi svakodnevno, a 4,65 % nekoliko puta dnevno. Usporedno promatrano, studenti TVZ-a iskazuju nešto intenzivniji obrazac uporabe alata umjetne inteligencije nego studenti GRF-a.

Odgovori na pitanje o svrsi korištenja alata umjetne inteligencije upućuju na to da je pretraživanje informacija njihova najčešća namjena, što navodi 78,26 % ispitanih studenata TVZ-a i 83,72 % studenata GRF-a. Na TVZ-u se uz to posebno ističe i upotreba u svrhu kodiranja, odnosno programiranja (63,94 %), zatim obrade i izrade teksta (37,34 %) te statističke obrade podataka (24,30 %), dok su upotreba u svrhu obrade i izrade slika zastupljene u 19,69 % odgovora. Na GRF-u, nakon pretraživanja informacija (83,72 %), najčešće se navodi upotreba u svrhu obrade i izrade teksta (41,86 %), kodiranja i programiranja (24,81 %), obrade i izrade slika (21,71 %) te upotreba u svrhu statističke obrade podataka (17,83 %). Preciznije, na obje ustanove ChatGPT je najčešće korišten alat umjetne inteligencije. Njegovu uporabu navodi 92,84 % studenata TVZ-a i 95,35 % studenata GRF-a. Na TVZ-u se, uz ChatGPT, spominju i DeepSeek (24,04 %), Microsoft Copilot (15,09 %) i Google Gemini (12,53 %), dok su na GRF-u, nakon ChatGPT-a, najzastupljeniji Google Gemini (15,50 %), DeepSeek (10,08 %) i Microsoft Copilot (6,20 %). Budući da su u navedenom pitanju mogući odgovori bili unaprijed ponuđeni, važno je napomenuti da su ispitanici imali mogućnost upisati i vlastiti odgovor te su studenti TVZ-a dodatno istaknuli da koriste Perplexity, Claude, GitHub Copilot, Cursor i NotebookLM, dok studenti GRF-a navode Perplexity, Midjourney, Grammarly i Mistral AI.

Kada se uporaba alata umjetne inteligencije promatra specifično u odnosu na studiranje, na obje ustanove studenti najviše ističu primjenu za pomoć pri učenju i za pretraživanje informacija. Na TVZ-u 75,45 % ispitanih studenata koristi alate umjetne inteligencije za pomoć pri učenju i pripremi za provjere znanja, a 75,70 % za pretraživanje informacija vezanih uz vježbe, seminare, laboratorijske zadatke i pripreme.

Uz to, 28,39 % studenata navodi uporabu alata umjetne inteligencije za kreativne projekte vezane uz studij. Na GRF-u 69,77 % ispitanih studenata koristi te alate za pretraživanje informacija, 57,36 % za pomoć pri učenju, a 36,43 % za kreativne projekte povezane sa studijem. Pritom je udio studenata koji navode da ne koriste alate umjetne inteligencije u studijskom kontekstu relativno nizak i iznosi 7,16 % na TVZ-u te 6,20 % na GRF-u.

U odgovorima na pitanje na koji bi način nastavnici trebali spriječiti zlouporabu ChatGPT-a i sličnih alata umjetne inteligencije ispitani studenti najviše podupiru pristup koji ne počiva na zabrani, nego na jasnijem pedagoškom i etičkom usmjeravanju. Na TVZ-u 70,33 % studenata smatra da bi trebalo dopustiti korištenje umjetne inteligencije uz okvire i smjernice u skladu s akademskom čestitošću, a na GRF-u njih 72,09 %. Nasuprot tomu, zabranu korištenja umjetne inteligencije podržava tek manji dio studenata, odnosno 4,09 % ispitanika s TVZ-a i 8,53 % ispitanika s GRF-a. Osim potrebe za jasnijim pravilima, studenti u velikoj mjeri ističu i važnost drukčijeg oblikovanja nastavnih aktivnosti. 46,04 % ispitanika s TVZ-a i 51,94 % ispitanika s GRF-a smatra da bi nastavnici trebali kreirati aktivnosti i zadatke koji zahtijevaju aktivan angažman, aktivno razmišljanje i pristup utemeljen na rješavanju problema. Uz navedene unaprijed definirane odgovore koji su bili ponuđeni na spomenuto pitanje, pojedini odgovori iz slobodnog unosa dodatno potvrđuju da studenti pitanje zlouporabe ne promatraju isključivo kao pitanje discipliniranja, nego ga povezuju i s potrebom prilagodbe nastave suvremenim uvjetima. U tim se odgovorima, osobito na TVZ-u, pojavljuju stavovi da je zlouporabu teško ili nemoguće u potpunosti spriječiti, da bi zadatke trebalo prilagoditi tako da umjetna inteligencija može pomoći, ali ne i riješiti cijeli zadatak te da bi studente trebalo poučavati kako se tim alatima koristiti na koristan i odgovoran način. Na GRF-u među otvorenim se odgovorima također pojavljuje stav da uporabu umjetne inteligencije treba dopustiti jer će ona biti važna i u budućem profesionalnom radu, ali uz naglasak na razumijevanju njezine uloge kao alata pomoći, a ne zamjene za vlastiti rad.

Nadalje, studenti nastavničko poticanje na upotrebu alata umjetne inteligencije uglavnom ne doživljavaju kao izrazito učestalo. Na TVZ-u 22,76 % studenata navodi da ih nastavnici nikada ne potiču na korištenje alata, 40,15 % da se to događa rijetko, 32,99 % ponekad, a tek 4,09 % vrlo često. Na GRF-u raspodjela je slična. 13,95 % studenata navodi da ih nastavnici nikada ne potiču, 47,29 % da se to događa rijetko, 34,11 % ponekad, a 4,65 % vrlo često. Slično tomu, studenti većinski ne percipiraju stav svojih nastavnika prema korištenju alata baziranih na umjetnoj inteligenciji u nastavne svrhe kao izrazito pozitivan ili izrazito negativan, nego ponajprije kao neutralan. Na TVZ-u neutralan stav većine nastavnika prepoznaje 38,87 % studenata, pozitivan 18,67 %, negativan 21,48 %, dok 20,97 % ne može procijeniti stav svojih nastavnika. Na GRF-u neutralan stav navodi 34,88 % ispitanika, pozitivan i negativan po 19,38 %, a 26,36 % studenata ne može procijeniti kakav stav većina njihovih nastavnika zauzima.

Posebno valja istaknuti da među ispitanim studentima prevladava namjera daljnjeg korištenja alata baziranih na umjetnoj inteligenciji. Na TVZ-u 57,54 % ispitanika u potpunosti se slaže s tvrdnjom da će u budućnosti nastaviti koristiti takve alate, dok se dodatnih 21,74 % s tom tvrdnjom djelomično slaže. Sličan obrazac vidljiv je i na GRF-u, gdje se 62,79 % ispitanika u potpunosti slaže s tvrdnjom da će u budućnosti nastaviti koristiti alate utemeljene na umjetnoj inteligenciji, dok se dodatnih 20,93 % s tom tvrdnjom djelomično slaže.

### 3.2 Diskusija

Ukupno gledano, rezultati istraživanja o navikama i stavovima studenata TVZ-a i GRF-a upućuju na to da studenti umjetnu inteligenciju već integriraju u svoju svakodnevnu akademsku praksu, ali na načine koji odražavaju specifičnosti njihovih studijskih područja. Takav obrazac u skladu je s recentnim istraživanjima koja pokazuju da se u tehničkom području u polju računarstva umjetna inteligencija češće koristi za programiranje, analizu i rješavanje problema [64], dok se u grafičkoj tehnologiji snažnije povezuje s razradom koncepta, generiranjem i obradom vizualnog sadržaja te podrškom kreativnom radu [68].

Rezultati sugeriraju da studenti ne zagovaraju restriktivan pristup umjetnoj inteligenciji, nego očekuju promišljenije pedagoško usmjeravanje njezine uporabe što se podudara s ostalim istraživanjima koja pokazuju da studenti u visokom obrazovanju uglavnom ne podržavaju zabranu generativne umjetne inteligencije, nego traže jasnije politike, transparente okvire dopuštene uporabe i veću uključenost nastavnika u oblikovanje tih pravila. Primjerice, Johnston i sur. [76] u svom istraživanju ističu da studenti traže jasne institucionalne smjernice i smatraju da takve tehnologije ne bi trebalo zabranjivati, nego pedagoški regulirati, dok sustavni pregled Wu i sur. [77] pokazuje da se u literaturi dosljedno ističu potreba za etičkim smjernicama, institucionalnim pravilima i odgovornom integracijom generativne umjetne inteligencije u nastavu.

U tom se svjetlu i rezultati ovoga istraživanja mogu tumačiti kao pokazatelj da studenti umjetnu inteligenciju doživljavaju kao postojeći i budući dio akademskog okruženja, ali istodobno očekuju da se njezina uporaba jasnije didaktički usmjeri. Posebno je važno istaknuti da studenti, umjesto isključivo represivnih mjera, podupiru oblikovanje zadataka koji zahtijevaju aktivno promišljanje, razumijevanje i rješavanje problema. Takva očekivanja odgovaraju i rezultatima već spomenutih istraživanja [76, 77] prema kojima studenti generativnu umjetnu inteligenciju vide kao alat podrške učenju a ne kao zamjenu za vlastiti rad, pri čemu se upravo kvaliteta dizajna nastave i zadataka pokazuje ključnom za smanjivanje površne ili neetične uporabe.

Istodobno, rezultati prema kojima je poticanje uporabe alata baziranih na umjetnoj inteligenciji od strane nastavnika još uvijek pretežito povremeno i ograničeno, a stu-

dentska percepcija nastavnčkog stava često neutralna ili neodređena, upućuju na to da je institucionalna i pedagoška integracija umjetne inteligencije još uvijek u prijelaznoj fazi. To je u skladu i sa sustavnim pregledom Nikolic i sur. [78], koji pokazuje da su stavovi nastavnika prema umjetnoj inteligenciji u visokom obrazovanju često obilježeni istodobnim prepoznavanjem koristi ali i izraženom nesigurnošću u pogledu pouzdane, etične i pedagoški opravdane primjene. Slične tvrdnje vidljive su i ostalim istraživanjima o iskustvima nastavnika, koja pokazuju da generativna umjetna inteligencija povlači znatnu dozu neizvjesnosti i netransparentnosti, osobito kada je riječ o vrednovanju, akademskoj čestitosti i redefiniranju uloge nastavnika [79, 80].

Naposljetku, izražena namjera studenata da će i ubuduće koristiti alate bazirane na umjetnoj inteligenciji dodatno potvrđuje da je riječ o tehnologiji koja je već uključena u njihove obrasce učenja i rada. To je također u skladu s recentnim istraživanjima koja pokazuju pretežito pozitivne ili pragmatično pozitivne studentske stavove prema generativnoj umjetnoj inteligenciji, osobito kada je ona povezana s učinkovitošću, dostupnošću i budućom profesionalnom relevantnošću [81]. U tom smislu, rezultati ovoga istraživanja sugeriraju da glavni izazov za obrazovanje više nije pitanje treba li umjetnu inteligenciju dopustiti, nego kako osmisliti jasne, etički utemeljene i pedagoški smislene modele njezine uporabe.

U uvjetima u kojima generativni alati mogu u vrlo kratkom vremenu proizvesti cjelovito rješenje, veću pozornost potrebno je usmjeriti na oblikovanje ishoda učenja koji izravno obuhvaćaju razumijevanje i dokumentiranje procesa izrade rješenja, a ne samo njegov konačni oblik. To uključuje sposobnost obrazlaganja donesenih odluka, argumentiranja izbora (npr. algoritma), tumačenja pogrešaka te kritičkog razmatranja kompromisa između točnosti, učinkovitosti, čitljivosti i sigurnosti, kako bi se u vrednovanju pouzdano razlikovalo stvarno razumijevanje od mehaničkog preuzimanja generiranog rezultata. Kada je završni proizvod (npr. programski kod, izvještaj ili esej) moguće brzo generirati uz pomoć alata, postaje znatno teže pouzdano utvrditi koliki je stvarni individualni doprinos studenta i na kojoj je razini njegovo razumijevanje [82, 83]. Stoga UNESCO naglašava potrebu da se metode provjere i politike vrednovanja prilagode tako da smanjuju poticaje za neprimjerenu uporabu, ali istodobno omogućuju pedagoški smislenu i odgovorno korištenje generativne umjetne inteligencije [3].

Kao odgovor na navedene izazove, preporuka je kombinirati više metoda vrednovanja. To uključuje strukturiranje zadatka koji traže objašnjavanje i obranu rješenja, zadatke s varijantama i parametrima koje je teško mehanički "prepisati" bez stvarnog razumijevanja, vrednovanje procesnih tragova rada, kao što su verzioniranje koda ili refleksije o postupku rješavanja te naglasak na refaktoriranju, ispravljanju pogrešaka i kritičkoj evaluaciji već postojećih rješenja. Možemo reći da pojava generativne umjetne inteligencije donosi i potencijalno izrazito pozitivnu transformaciju obrazovanja jer usmjerava pozornost na potrebu stavljanja većeg naglaska na proces učenja i poučavanja, uz odmak od isključivog vrednovanja konačnih rezultata.

## 4. Zaključak

Zaključno, ovaj rad pokazuje da primjena alata umjetne inteligencije u obrazovanju nije tek suvremeni trend, nego istraživačko područje koje se razvija od druge polovice 20. stoljeća. U tehničkom području umjetna inteligencija danas je istodobno i sadržaj učenja i alat za učenje i poučavanje. Rezultati istraživanja provedenog među studentima Tehničkog veleučilišta u Zagrebu i Sveučilišta u Zagrebu Grafičkog fakulteta potvrđuju njezinu integraciju u akademsku praksu te sugeriraju potrebu za transparentnim i strukturiranim pravilima uporabe, promišljenijim pedagoškim usmjeravanjem i prilagodbom vrednovanja, kako bi se potencijal umjetne inteligencije koristio odgovorno, etički i obrazovno smisleno.

## 5. Literatura

- [1] Holmes, W.; Bialik, M., Fadel, C.: *Artificial Intelligence in Education. Promise and Implications for Teaching and Learning.*, 978-1794293700, (2019)
- [2] Maslej, N.; Fattorini, L., Perrault, R., Parli, V., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J.C., Shoham, Y., Wald, R., Clark, J.: *Artificial Intelligence Index Report 2024*, (2024)
- [3] Miao, F.; Holmes, W.: UNESCO: *Guidance for generative AI in education and research*, UNESCO, 978-92-3-100612-8, (2023)
- [4] Holmes, W.; Tuomi, I.: State of the art and practice in AI in education, *European Journal of Education*, **57** (2022) 4, 542-570, <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- [5] UNESCO: *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*, UNESCO, (2021)
- [6] World Economic Forum: *The Future of Jobs Report 2023*, 978-2-940631-96-4, (2023)
- [7] OECD: *OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market*, Paris, (2023)
- [8] Selwyn, N.: The future of AI and education: Some cautionary notes, *European Journal of Education*, **57** (2022) 4, 620-631, <https://doi.org/10.1111/ejed.12532>
- [9] Zhai, X.; Chu, X., Chai, C.S., Jong, M.S.Y., Istenic, A., Spector, M., Liu, J.-B., Yuan, J., Li, Y.: A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020, *Complexity*, **2021** (2021) 1, 8812542, <https://doi.org/10.1155/2021/8812542>
- [10] Tatnall, A. ed.: *Artificial Intelligence in Education*, U *Encyclopedia of Education and Information Technologies*, Springer International Publishing, 978-3-319-60013-0, Cham, (2019), 1-16
- [11] Hariyanto; Kristianingsih, F.X.D., Maharani, R.: Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning, *Discover Education*, **4** (2025) 1, 458, <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00908-6>
- [12] Wang, S.; Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., Du, Z.: Artificial intelligence in education: A systematic literature review, *Expert Systems with Applications*, **252** (2024) 124167, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>

- [13] Menon, D.; Shilpa, K.: “Chatting with ChatGPT”: Analyzing the factors influencing users’ intention to Use the Open AI’s ChatGPT using the UTAUT model, *Heliyon*, **9** (2023) 11, e20962, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20962>
- [14] Selwyn, N.: On the Limits of Artificial Intelligence (AI) in Education, *Nordisk tidsskrift for pedagogikk og kritikk*, **10** (2024) <https://doi.org/10.23865/ntpk.v10.6062>
- [15] Siddarth, D.; Acemoglu, D., Allen, D., Crawford, K., Evans, J., Jordan, M., Weyl, E.G.: *How AI Fails Us*, (2022)
- [16] Reich, J.; Dukes, J.: The future of education technology after the arrival of ChatGPT, *Phi Delta Kappan*, **107** (2025) 3-4, 19-23, <https://doi.org/10.1177/00317217251405516>
- [17] Zalta, E.N.; Nodelman, U. eds.: Aristotle’s Logic, U *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University, (2022)
- [18] Khosrow-Pour Mehdi, D.B.A. ed.: History of Artificial Intelligence Before Computers, U *Encyclopedia of Information Science and Technology, Second Edition*, IGI Global Scientific Publishing, 9781605660264, Hershey, PA, USA, (2009), 1763-1768
- [19] McCorduck, P.: *Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence*, (1979)
- [20] Newell, A.; Simon, H.A.: Computer science as empirical inquiry: symbols and search, *Commun. ACM*, **19** (1976) 3, 113-126, <https://doi.org/10.1145/360018.360022>
- [21] Turing, A.: Computing machinery and intelligence, *Mind*, **59** (1950) 236, 433-460, <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- [22] McCarthy, J.; Minsky, M.L., Rochester, N., Shannon, C.E.: A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955, *AI Magazine*, **27** (2006) 4, 12, <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- [23] Collins, C.; Dennehy, D., Conboy, K., Mikalef, P.: Artificial intelligence in information systems research: A systematic literature review and research agenda, *International Journal of Information Management*, **60** (2021) 102383, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102383>
- [24] Zalta, E.N.; Nodelman, U. eds.: Artificial Intelligence, U *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Metaphysics Research Lab, Stanford University, (2026)
- [25] Brachman, R.J.: The basics of knowledge representation and reasoning, *AT&T Technical Journal*, **67** (1988) 1, 7-24, <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1988.tb00230.x>
- [26] Jordan, M.I.; Mitchell, T.M.: Machine learning: Trends, perspectives, and prospects, *Science*, **349** (2015) 6245, 255-260, <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- [27] Sengar, S.S.; Hasan, A. B., Kumar, S., Carroll, F.: Generative artificial intelligence: a systematic review and applications, *Multimedia Tools and Applications*, **84** (2025) 21, 23661–23700, <https://doi.org/10.1007/s11042-024-20016-1>
- [28] Cao, Y.; Li, S., Liu, Y., Yan, Z., Dai, Y., Yu, P., Sun, L.: A Survey of AI-Generated Content (AIGC), *ACM Comput. Surv.*, **57** (2025) 5, <https://doi.org/10.1145/3704262>
- [29] Holmes, W.; Tuomi, I.: State of the art and practice in AI in education, *European Journal of Education*, **57** (2022) 4, 542-570, <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>

- [30] Skinner, B.F.: Teaching Machines, *The Review of Economics and Statistics*, **42** (1960) 3, 189-191, <https://doi.org/10.2307/1926170>
- [31] Carbonell, J.R.: AI in CAI: An Artificial-Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction, *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, **11** (1970) 4, 190-202, <https://doi.org/10.1109/TMMS.1970.299942>
- [32] Pask, G.: SAKI: Twenty-five years of adaptive training into the microprocessor era, *International Journal of Man-Machine Studies*, **17** (1982) 1, 69-74, [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(82\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(82)80009-6)
- [33] Doroudi, S.: The Intertwined Histories of Artificial Intelligence and Education, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, **33** (2023) 4, 885-928, <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00313-2>
- [34] Carbonell, J.R.: AI in CAI: An Artificial-Intelligence Approach to Computer-Assisted Instruction, *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, **11** (1970) 4, 190-202, 1 <https://doi.org/10.1109/TMMS.1970.299942>
- [35] Self, J.: The Birth of IJAIED, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, **26** (2016) 1, 4-12, <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0040-5>
- [36] Dede, C.: *Intelligent Computer-Assisted Instruction: A Review and Assessment of ICAI Research and Its Potential for Education*, (1985)
- [37] Lesgold, A.: Intelligent Tutoring Systems, U *Encyclopedia of Cognitive Science*, 9780470018866, (2006)
- [38] Kulik, J.A.; Fletcher, J.D.: Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems: A Meta-Analytic Review, *Review of Educational Research*, **86** (2016) 1, 42-78, <https://doi.org/10.3102/0034654315581420>
- [39] Kruse Otto and Rapp, C. and A.C.M. and B.K. and C.E. and D.A. and S.A. ed.: Learning Management Systems (LMSs), U *Digital Writing Technologies in Higher Education : Theory, Research, and Practice*, Springer International Publishing, 978-3-031-36033-6, Cham, (2023), 173-182
- [40] Brusilovsky, P.; Peylo, C.: Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, **13** (2003) 2-4, 159-172
- [41] Casamayor, A.; Amandi, A., Campo, M.: Intelligent assistance for teachers in collaborative e-learning environments, *Computers & Education*, **53** (2009) 4, 1147-1154, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.05.025>
- [42] Kumar, R.; Kim, J.: Special Issue on Intelligent Support for Learning in Groups, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, **24** (2014) 1, 1-7, <https://doi.org/10.1007/s40593-013-0013-5>
- [43] Mahajan, R.; Gupta, P., Singh, T.: Massive Open Online Courses: Concept and Implications, *Indian Pediatrics*, **56** (2019) 6, 489-495, <https://doi.org/10.1007/s13312-019-1575-6>
- [44] Baturay, M.H.: An Overview of the World of MOOCs, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **174** (2015) 427-433, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.685>

- [45] Fauvel, S.; Yu, H., Miao, C., Cui, L., Song, H., Zhang, L., Li, X., Leung, C.: Artificial Intelligence Powered MOOCs: A Brief Survey, *2018 IEEE International Conference on Agents (ICA)*, 56-61, IEEE, (2018)
- [46] Papadimitriou, A.: Adaptive and Intelligent MOOCs: How they Contribute to the Improvement of the MOOCs' Effectiveness, *International Journal of Research in E-learning*, **9** (2023) 1-21, <https://doi.org/10.31261/IJREL.2023.9.1.01>
- [47] Vallejo-Correa, P.; Monsalve-Pulido, J., Tabares-Betancur, M.: A systematic mapping review of context-aware analysis and its approach to mobile learning and ubiquitous learning processes, *Computer Science Review*, **39** (2021) 100335, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100335>
- [48] Romero, C.; Ventura, S.: Educational Data Mining: A Review of the State of the Art, *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, **40** (2010) 601–618, <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532>
- [49] Mougiakou Sofia and Vinatsella, D. and S.D. and P.Z. and G.M. and I.D.: Learning Analytics, *U Educational Data Analytics for Teachers and School Leaders*, Springer International Publishing, 978-3-031-15266-5, Cham, (2023), 131-188
- [50] González-Martínez, J.A.; Bote-Lorenzo, M.L., Gómez-Sánchez, E., Cano-Parra, R.: Cloud computing and education: A state-of-the-art survey, *Computers & Education*, **80** (2015) 132–151, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.017>
- [51] Romero, C.; Ventura, S.: Educational data mining and learning analytics: An updated survey, *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, **10** (2020) 3, e1355, <https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- [52] Cerezo, R.; Lara, J.-A., Azevedo, R., Romero, C.: Reviewing the differences between learning analytics and educational data mining: Towards educational data science, *Computers in Human Behavior*, **154** (2024) 108155, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108155>
- [53] Chen, M.-S.; Hsu, T.-C., Tu, Y.-F.: The use of learning analytics and educational data mining to analyze teachers' teaching in online environments: a systematic literature review, *Interactive Learning Environments*, **33** (2025) 5, 3317-3332, <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2443070>
- [54] OpenAI; Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., Ahmad, L., Akkaya, I., Aleman, F., Almeida, D., Altenschmidt, J., Altman, S., Anadkat, S., Avila, R., Babuschkin, I., Balaji, S., Balcom, V., Baltescu, P., Bao, H., Bavarian, M., Belgum, J., Zoph, B.: *GPT-4 Technical Report*, (2023)
- [55] Shi, Y.; Yu, K., Dong, Y., Chen, F.: Large language models in education: a systematic review of empirical applications, benefits, and challenges, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **10** (2026) 100529, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100529>
- [56] Law, L.: Application of generative artificial intelligence (GenAI) in language teaching and learning: A scoping literature review, *Computers and Education Open*, **6** (2024) 100174, <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100174>
- [57] Mohammadi, M.; Tajik, E., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., Tomaszewski, W., Khosravi, H.: Artificial intelligence in multimodal learning analytics: A systematic literature review, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **8** (2025) 100426, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100426>

- [58] Küchemann, S.; Avila, K.E., Dinc, Y., Hortmann, C., Revenga, N., Ruf, V., Stausberg, N., Steinert, S., Fischer, F., Fischer, M., Kasneci, E., Kasneci, G., Kuhr, T., Kutyniok, G., Malone, S., Sailer, M., Schmidt, A., Stadler, M., Weller, J., Kuhn, J.: On opportunities and challenges of large multimodal foundation models in education, *npj Science of Learning*, **10** (2025) 1, 11, <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00301-w>
- [59] Fu, Y.; Weng, Z.: Navigating the ethical terrain of AI in education: A systematic review on framing responsible human-centered AI practices, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **7** (2024) 100306, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100306>
- [60] Hepp Andreas Jarke, J.; K.L. ed.: Reconfiguring Education Through Data: How Data Practices Reconfigure Teacher Professionalism and Curriculum, U *New Perspectives in Critical Data Studies: The Ambivalences of Data Power*, Springer International Publishing, 978-3-030-96180-0, Cham, (2022), 217-241
- [61] Groothuijsen, S.; van den Beemt, A., Remmers, J.C., van Meeuwen, L.W.: AI chatbots in programming education: Students' use in a scientific computing course and consequences for learning, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **7** (2024) 100290, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100290>
- [62] Sun, D.; Boudouaia, A., Yang, J., Xu, J.: Investigating students' programming behaviors, interaction qualities and perceptions through prompt-based learning in ChatGPT, *Humanities and Social Sciences Communications*, **11** (2024) 1, 1447, <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03991-6>
- [63] Barke, S.; James, M.B., Polikarpova, N.: Grounded Copilot: How Programmers Interact with Code-Generating Models, *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, **7** (2023) OOPSLA1, <https://doi.org/10.1145/3586030>
- [64] Agbo, F.J.; Olivia, C., Oguibe, G., Sanusi, I.T., Sani, G.: Computing education using generative artificial intelligence tools: A systematic literature review, *Computers and Education Open*, **9** (2025) 100266, <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100266>
- [65] Prather, J.; Reeves, B.N., Denny, P., Becker, B.A., Leinonen, J., Luxton-Reilly, A., Powell, G., Finnie-Ansley, J., Santos, E.A.: "It's Weird That it Knows What I Want": Usability and Interactions with Copilot for Novice Programmers, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, **31** (2023) 1, <https://doi.org/10.1145/3617367>
- [66] Rahe, C.; Maalej, W.: How Do Programming Students Use Generative AI?, *Proceedings of the ACM on Software Engineering*, **2** (2025) FSE, <https://doi.org/10.1145/3715762>
- [67] Moradi Dakhel, A.; Majdinasab, V., Nikanjam, A., Khomh, F., Desmarais, M.C., Jiang, Z.M. (Jack): GitHub Copilot AI pair programmer: Asset or Liability?, *Journal of Systems and Software*, **203** (2023) 111734, <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111734>
- [68] Alsswey, A.: Examining students' perspectives on the use of artificial intelligence tools in higher education: A case study on AI tools of graphic design, *Acta Psychologica*, **258** (2025) 105190, <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105190>
- [69] Lee, C.-W.: Application of Generative Artificial Intelligence in Design Education: An Exploration and Analysis to Enhance Student Creativity, *Engineering Proceedings*, **98** (2025) 1, <https://doi.org/10.3390/engproc2025098029>

- [70] Hwang, Y.; Wu, Y.: Graphic Design Education in the Era of Text-to-Image Generation: Transitioning to Contents Creator, *International Journal of Art & Design Education*, **44** (2025) 1, 239-253, <https://doi.org/10.1111/jade.12558>
- [71] Knoth, N.; Tolzin, A., Janson, A., Leimeister, J.M.: AI literacy and its implications for prompt engineering strategies, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **6** (2024), 100225, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100225>
- [72] Federiakin, D.; Molerov, D., Zlatkin-Troitschanskaia, O., Maur, A.: Prompt engineering as a new 21st century skill, *Frontiers in Education*, **9** (2024) <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1366434>
- [73] Pallant, J.L.; Blijlevens, J., Campbell, A., Jopp, R.: Mastering knowledge: the impact of generative AI on student learning outcomes, *Studies in Higher Education*, **0** (2025) 0, 1-22, [10.1080/03075079.2025.2487570](https://doi.org/10.1080/03075079.2025.2487570)
- [74] Park, J.: A systematic literature review of generative artificial intelligence (GenAI) literacy in schools, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **9** (2025) 100487, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100487>
- [75] Maatta, S.: How Do Programmers Evaluate AI-Generated Code?, *ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*, 522-527, 979-8-3315-9147-2, IEEE Computer Society, (2025)
- [76] Johnston, H.; Wells, R.F., Shanks, E.M., Boey, T., Parsons, B.N.: Student perspectives on the use of generative artificial intelligence technologies in higher education, *International Journal for Educational Integrity*, **20** (2024) 1, 2, <https://doi.org/10.1007/s40979-024-00149-4>
- [77] Wu, F.; Dang, Y., Li, M.: A Systematic Review of Responses, Attitudes, and Utilization Behaviors on Generative AI for Teaching and Learning in Higher Education, *Behavioral Sciences*, **15** (2025) 4, <https://doi.org/10.3390/bs15040467>
- [78] Nikolic, S.; Wentworth, I., Sheridan, L., Moss, S., Duursma, E., Jones, R.A., Ros, M., Middleton, R.: A systematic literature review of attitudes, intentions and behaviours of teaching academics pertaining to AI and generative AI (GenAI) in higher education: An analysis of GenAI adoption using the UTAUT framework, *Australasian Journal of Educational Technology*, **40** (2024) 6, 56-75, <https://doi.org/10.14742/ajet.9643>
- [79] Farazouli, A.; Pargman, T.C., Laksov, K.B., McGrath, C.: Navigating uncertainty: university teachers' experiences and perceptions of generative artificial intelligence in teaching and learning, *Studies in Higher Education*, **0** (2025) 0, 1–16, <https://doi.org/10.1080/03075079.2025.2550766>
- [80] Lyu, W.; Zhang, S., Chung, T., Sun, Y., Zhang, Y.: Understanding the practices, perceptions, and (dis)trust of generative AI among instructors: A mixed-methods study in the U.S. higher education, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **8** (2025) 100383, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100383>
- [81] Park, J.: A systematic literature review of generative artificial intelligence (GenAI) literacy in schools, *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **9** (2025) 100487, <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100487>

- [82] Cotton, D.R.E.; Cotton, P.A., Shipway, J.R.: Chatting and cheating: Ensuring academic integrity in the era of ChatGPT, *Innovations in Education and Teaching International*, **61** (2024) 2, 228-239, <https://doi.org/10.1080/14703297.2023.2190148>
- [83] Bikanga Ada, M.: Programming Challenges and Perceptions: A Study of Separate Groups before and after the Release of ChatGPT, *ACM Transactions on Computing Education*, **26** (2026) 2, 1,29, <https://doi.org/10.1145/3777904>