

Infrastrukturne možnosti in pregled orodij Gen-UI

*Vili Podgorelec¹, Jana Janković², Lucija Brezočnik³,
Grega Vrbancić⁴*

Povzetek

Generativna umetna inteligenca (Gen-UI) hitro preoblikuje izobraževanje in pomeni pomemben korak v digitalizaciji. Učitelji jo lahko uporabljajo kot pomočnika pri pripravi učnega gradiva in oblikovanju vprašanj ali kot orodje za spodbujanje ustvarjalnosti pri učencih. Takšna orodja so tehnično kompleksne računalniške rešitve, ki zahtevajo zmogljivo infrastrukturo. Način tehnične izvedbe pomembno vpliva na dostopnost orodij, nadzor nad podatki, etično skladnost in prilagodljivost sistema. Prispevek predstavi štiri tipične načine izvedbe: spletne aplikacije v javnem oblaku, aplikacije v zasebnem oblaku, lokalno nameščene aplikacije in uporabo namenske nacionalne infrastrukture. Spletne aplikacije v javnem oblaku (npr. ChatGPT, Gemini) omogočajo izjemno dostopnost in nizke vstopne ovire, saj obdelava poteka na oddaljenih strežnikih. Vendar pa ta model odpira pomembna vprašanja o zasebnosti podatkov in transparentnosti, saj orodja delujejo kot »črna škatla«. Aplikacije v zasebnem oblaku izobraževalnim ustanovam zagotavljajo bistveno večji nadzor nad podatki in sistemsko prilagodljivost, a hkrati zahtevajo višje finančne vložke in več tehničnega znanja. Lokalna namestitev daje instituciji popoln nadzor nad podatki, saj ti nikoli ne zapustijo lokalnega okolja, vendar zahteva ogromna vlaganja v drago in zmogljivo opremo ter usposobljen IT kader. Namenska nacionalna infrastruktura (kot je Slovenska tovarna umetne inteligence – SLAIF) bi lahko institucijam omogočila izkoristiti prednosti zasebnega oblaka (varnost, nadzor) brez visokih stroškov ter z manj kadrovskih zahtev. Na tovrstni infrastrukturi bi lahko rešitve prilagodili dejanskim potrebam izobraževalnih institucij. Poleg infrastrukturnih možnosti prispevek ponuja pregled orodij Gen-UI, ki jih razvrščamo glede na vsebino, ki jo generirajo (besedilo, slike, zvok, video, 3D vizualizacije, koda in igre).

Ključne besede: generativna umetna inteligenca (Gen-UI), tehnična izvedba, javni oblak, zasebni oblak, lokalna namestitev, nacionalna infrastruktura, orodja Gen-UI

1 Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, vili.podgorelec@um.si

2 Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, jana.jankovic1@um.si

3 Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, lucija.brezocnik@um.si

4 Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, grega.vrbancic@um.si

Infrastructure Options and Overview of Gen-AI Tools

Abstract

Generative artificial intelligence (Gen-AI) is quickly transforming education and represents an important step in digitalization. Teachers can use Gen-AI as an assistant in preparing teaching materials, designing questions, or as a tool to stimulate creativity in students. Such tools are technically complex computer solutions that require powerful infrastructure. The method of technical implementation has a significant impact on the accessibility of tools, data control, ethical compliance, and flexibility of the system. The article presents four typical implementation methods: web applications in the public cloud, applications in the private cloud, locally installed applications, and the use of dedicated national infrastructure. Web applications in the public cloud (e.g., ChatGPT, Gemini) offer exceptional accessibility and low entry barriers, as processing is performed on remote servers. However, this model raises important questions about data privacy and transparency, as the tools operate as a „black box.“ Applications in the private cloud provide educational institutions with significantly greater control over data and system flexibility, but at the same time require higher financial investments and more technical knowledge. Local installation gives the institution complete control over data, as it never leaves the local environment, but requires huge investments in expensive and powerful equipment and skilled IT staff. A dedicated national infrastructure (such as the Slovenian Artificial Intelligence Factory – SLAIF) could enable institutions to reap the benefits of the private cloud (security, control) without high costs and with fewer staffing requirements. Such infrastructure could be used to develop or adapt solutions to the actual needs of educational institutions. In addition to infrastructure options, the article also provides an overview of Gen-AI tools, which are classified according to the content they generate (text, images, sound, video, 3D visualizations, code, and games).

Keywords: generative artificial intelligence (Gen-AI); technical implementation; public cloud; private cloud; local installation; national infrastructure; Gen-AI tools

Uvod

Generativna umetna inteligenca (Gen-AI) hitro spreminja različne vidike našega življenja in pomeni nov korak v digitalizaciji izobraževanja (OECD, 2023a; OECD, 2021). Omogoča ustvarjanje novih vsebin, kot so besedila, slike, zvok, videoposnetki, 3D modeli, računalniška koda in interaktivne igre (OpenAI, 2023; Bommasani idr., 2021). Učitelji jo lahko uporabljajo kot pomočnika pri pripravi učnega gradiva, oblikovanju vprašanj, simulaciji pogovorov in preverjanju znanja ali kot orodje za spodbujanje ustvarjalnosti pri učencih (Kasneci idr., 2023; Zawacki-Richter idr., 2019).

Orodja Gen-UI so tehnično zelo kompleksne računalniške rešitve, ki zahtevajo ogromne količine podatkov in zelo zmogljivo računalniško infrastrukturo. Kljub temu so danes pogosto dostopna prek uporabniku prijaznih spletnih vmesnikov, kar omogoča njihovo uporabo tudi brez poglobljenega tehničnega znanja. A takšna poenostavitev uporabe zapletenih rešitev prinaša določene izzive in tveganja, zato je treba pred uporabo posameznih orodij Gen-UI dobro premisliti o prednostih in slabostih ter morebitnih pasteh njihove uporabe (Bommasani idr., 2021; Floridi in Chiriatti, 2020; OECD, 2023a). Orodja Gen-UI se lahko uporabljajo na različne načine, ki se razlikujejo glede na tehnično izvedbo in s tem povezane prednosti ter slabosti za šole, učitelje in učeče se. Način tehnične izvedbe takšnih orodij pomembno vpliva na njihovo dostopnost, nadzor nad podatki, etično skladnost ter prilagodljivost sistema (Evropska komisija, 2023; UNESCO, 2021). V splošnem poznamo štiri tipične načine tehnične izvedbe:

- Spletne aplikacije v javnem oblaku (ang. *public cloud*).
- Aplikacije v zasebnem (plačljivem, najetem) oblaku (ang. *private cloud*).
- Lokalno nameščene aplikacije (ang. *on-premise*).
- Namenska nacionalna infrastruktura (ang. *dedicated national infrastructure*).

Spletne aplikacije v javnem oblaku

Spletne aplikacije v javnem oblaku se nanašajo na storitve, ki jih prek spleta zagotavljajo velika tehnološka podjetja. Gre za uporabo orodij prek spletnih brskalnikov, kjer obdelava podatkov in generiranje vsebine potekata na oddaljenih strežnikih ponudnika storitve. Takšne platforme praviloma delujejo po modelu programske opreme kot storitve (ang. *Software as a Service — SaaS*), kar uporabnikom omogoča dostop do UI prek spletnih aplikacij ali programskih vmesnikov (API-jev), brez potrebe po upravljanju osnovne računalniške infrastrukture (Armbrust idr., 2010; OECD, 2023a). V izobraževalnem kontekstu je ta model pridobil na priljubljenosti zaradi dostopnosti, hitre razširljivosti in nizkih vstopnih ovir, zlasti v ustanovah, ki razpolagajo z omejenimi IT viri (UNESCO, 2021). Storitve Gen-UI, kot so ChatGPT (OpenAI, 2023), Gemini (Google DeepMind, 2023) in Copilot (Microsoft, 2023b), so reprezentativni primeri tega pristopa. Ta orodja gostujejo v centraliziranih podatkovnih središčih svojih ponudnikov in so globalno dostopna prek spletnih brskalnikov. Takšen model distribucije omogoča enostavno uporabo Gen-UI v izobraževalnem okolju, saj lahko tako učitelji kot učeči se začnejo z uporabo skoraj brez predhodne tehnične priprave ali usposabljanja.

Kljub prednostim izvedba v javnem oblaku odpira pomembna vprašanja v zvezi z varstvom podatkov in transparentnostjo. Ker se uporabniški podatki pogosto

prenašajo na strežnike tretjih oseb in se tam tudi obdelujejo, se pojavljajo pomisleki o skladnosti z zakonodajo, kot sta v Evropski uniji Splošna uredba o varstvu podatkov (GDPR) in Uredba o umetni inteligenci (AI Act) (Evropski parlament in Svet, 2016; Evropska komisija, 2021). Poleg tega številne takšne storitve delujejo kot t. i. »črne škatle« (ang. *black-box systems*), kar pomeni omejeno transparentnost glede uporabljenih učnih podatkov in postopkov, ki vodijo do generiranih rezultatov (Burrell, 2016; Floridi in Chiriatti, 2020). Ta netransparentnost lahko učiteljem oteži presojanje o točnosti vsebin ter obravnavo morebitne pristranskosti ali etičnih dilem.

Kljub omenjenim omejitvam javne oblačne rešitve ostajajo privlačne zaradi izjemne dostopnosti in hitro razvijajočih se inovacij (OECD, 2023b). Ob nenehnem napredku zmogljivosti Gen-UI so te platforme pomembno izhodišče za učitelje, ki raziskujejo možnosti integracije UI v pedagoški proces (Armbrust idr., 2010; UNESCO, 2021).

Ključne **prednosti** za učitelje oz. šole:

- Enostavna dostopnost in uporaba. Dostop do orodij je možen s katerekoli naprave s spletno povezavo, brez potrebe po namestitvi programske opreme.
- Samodejne posodobitve. Ponudniki storitev skrbijo za posodobitve in vzdrževanje orodij.
- Nizki začetni stroški. Večina ponudnikov ponuja brezplačne ali cenovno ugodne osnovne pakete.
- Velika izbira orodij. Širok nabor specializiranih orodij za različne vrste generiranja vsebine.
- Ne zahteva tehnične podpore. Uporaba orodij ne zahteva lastne računalniške infrastrukture (razen osebnega računalnika s spletnim brskalnikom) ali podpore tehničnega osebja.

Slabosti:

- Odvisnost od spletne povezave. Za uporabo je potrebna stabilna spletna povezava.
- Omejitve brezplačnih različic. Brezplačne različice pogosto vključujejo omejitve pri dolžini generirane vsebine, manj napredne funkcije ali dodajanje vodnega žiga generirani vsebini.
- Vprašljiva zasebnost podatkov. Občutljivi podatki, vneseni v orodje, se prenašajo v oblak in se lahko shranjujejo na oddaljenih strežnikih.
- Omejena transparentnost. Nabor podatkov, nad katerimi je učen temeljni model, ni poznan, prav tako ni znan proces učenja modela, kar poveča možnost pristranskosti.
- Manjša prilagodljivost. Možnosti prilagajanja orodja so lahko omejene.

Potrebna **tehnična podpora**: osnovno razumevanje spletnih brskalnikov in spletne povezave.

Aplikacije v zasebnem oblaku

Pri aplikacijah v zasebnem oblaku gre za uporabo orodij, ki gostujejo na namen-skem strežniškem prostoru, ki ga izobraževalna ustanova najame od ponudnika oblaknih storitev.

Zasebne oblačne rešitve označujejo uporabo računalniških oblaknih okolij, ki so namenjena izključno določeni instituciji ali konzorciju institucij, npr. šoli, uni-verzi, konzorciju šol ali nacionalnemu izobraževalnemu organu (Mell in Grance, 2011; UNESCO, 2021). Za razliko od javnih oblaknih storitev, ki so razpršene med milijone uporabnikov in jih v celoti upravljajo komercialni ponudniki, so infra-strukture zasebnega oblaka izolirane in konfigurirane tako, da služijo potrebam točno določenega kroga uporabnikov (Armbrust idr., 2010). Ta izolacija izobraže-valnim ustanovam omogoča večjo stopnjo nadzora nad upravljanjem podatkov, prilagajanjem sistemov in politiko dostopa uporabnikov.

V izobraževalnem kontekstu se zasebne oblačne rešitve običajno uporabljajo takrat, ko institucije na eni strani potrebujejo razširljivost in prilagodljivost oblač-nega računalništva, po drugi pa večja zagotovila glede varstva podatkov, skla-dnosti z zakonodajo ter integracije z obstoječo digitalno infrastrukturo (Evropska komisija, 2023). Takšne implementacije lahko upravljajo interni IT oddelki zlasti v večjih izobraževalnih organizacijah (npr. univerze ali ministrstvo, pristojno za izobraževanje) ali potekajo v okviru pogodbenega partnerstva z zaupanja vredni-mi zunanji ponudniki, specializiranimi za izobraževalne tehnologije in oblačne storitve. Glede na dogovor lahko modeli umetne inteligence in povezane storitve gostujejo na virtualiziranih strežnikih v okviru podatkovnega centra, ki ga upra-vlja institucija, ali na posebej namenjeni oblačni infrastrukturi, ki jo najamejo pri ponudnikih, kot so AWS, Microsoft Azure ali Google Cloud (AWS, 2023; Micro-soft, 2023a; Google Cloud, 2023). Pri tem je infrastruktura konfigurirana tako, da omejuje dostop in pretok podatkov izključno na izobraževalno ustanovo. To skrbnikom omogoča, da izvajajo natančne varnostne politike, nadzirajo uporabo ter zagotovijo skladnost orodij UI z institucionalnimi vrednotami, učnimi načrti in pravnimi okviri.

Zasebne oblačne storitve zagotavljajo ravnotežje med nadzorom in skalabil-nostjo. Ustanovam omogočajo, da izkoristijo inovacije na področju umetne inte-ligence v izobraževanju, kot so avtomatizirano podajanje povratnih informacij, prilagodljivo ustvarjanje vsebin in večjezična podpora, hkrati pa ohranjajo za-upanje v varnost, celovitost in pedagoško usklajenost uporabljenih tehnologij (UNESCO, 2021). Ključni pomanjkljivosti tovrstnega načina izvedbe sta bistveno višji finančni vložek (vsaj začetni) in višje zahteve po tehnični podpori.

Prednosti za učitelje oz. šole:

- Večji nadzor nad podatki. Podatki ostanejo v okolju, ki ga nadzira šola, ali so znani mehanizmi varovanja podatkov in zagotavljanja zasebnosti.
- Večja zmogljivost in prilagodljivost. Možnost prilagoditve strojne in programske opreme glede na potrebe. Možno je tudi prilagajanje in fino uglaševanje modelov z izbranimi lastnimi vsebinami.
- Napredne funkcije. Plačljive rešitve pogosto ponujajo naprednejše funkcije in večjo prilagodljivost ter omogočajo generiranje vsebine večjega obsega.
- Možnost integracije z obstoječimi sistemi. Lažja integracija z drugimi šolskimi informacijskimi sistemi.

Slabosti:

- Višji stroški. Zahteva investicijo v najem strežniške infrastrukture in licenčnine za programsko opremo.
- Potrebno tehnično znanje. Za upravljanje, vzdrževanje in konfiguracijo okolja sta potrebna tehnično znanje in ustrezno usposobljen kader.
- Odvisnost od spletne povezave. Kljub najemu zasebnih storitev je za dostop do orodij potrebna spletna povezava.

Potrebna **tehnična podpora**: strokovnjaki za upravljanje oblačnih storitev in IT infrastrukturo.

Lokalno nameščene aplikacije

Namestitev in uporaba rešitev Gen-UI na lastni infrastrukturi šole pomeni, da institucija izvaja modele UI izključno na lastnih strežnikih in računalniških napravah. Ta pristop je posebej priljubljen v okoljih, kjer so nadzor, avtonomija in varnost podatkov ključnega pomena (Mell in Grance, 2011; OECD, 2023b). Z vzdrževanjem infrastrukture, na kateri se v celoti izvajajo modeli in rešitve UI, na lastni lokaciji lahko institucije zagotovijo, da občutljivi podatki ostanejo pod njihovim neposrednim nadzorom, kar povečuje zasebnost podatkov in skladnost z regulatornimi zahtevami (Evropska komisija, 2021; Evropski parlament in Svet, 2016). Taka konfiguracija instituciji omogoča popoln nadzor nad podatki, saj ti nikoli ne zapustijo lokalnega okolja (UNESCO, 2021). Vendar pa je treba poudariti, da tovrstne namestitve zahtevajo znatna vlaganja v infrastrukturo in strokovno znanje ter nenehno podporo in vzdrževanje (Armbrust idr., 2010). Institucije morajo biti pripravljene na upravljanje strojne opreme, kontinuirano posodabljanje strojne in programske računalniške opreme ter zaposlovanje usposobljenega kadra za nadzor nad delovanjem sistemov umetne inteligence.

Prednosti za učitelje oz. šole:

- Popoln nadzor nad podatki. Podatki ostanejo v lokalnem okolju in niso izpostavljeni zunanjim strežnikom ali zunanjim ponudnikom.
- Delovanje brez spletne povezave. Orodja se lahko uporabljajo tudi brez spletne povezave (po namestitvi na lokalno infrastrukturo).
- Potencialno nižji dolgoročni stroški. Po začetni nabavi strojne opreme in enkratnem strošku nakupa programske opreme (če ni odprtokodna) ni neposrednih stroškov z uporabo programskih rešitev ali omejevanja uporabe. Se je pa treba zavedati potrebe po kontinuiranem vzdrževanju in nadgrajevanju računalniške infrastrukture.
- Maksimalna prilagodljivost in transparentnost. Možnost popolne prilagoditve programske in strojne opreme. Prav tako je možno uporabljati povsem odprtokodne in transparentne modele.

Slabosti:

- Zahtevna namestitev in konfiguracija. Postopek namestitve in konfiguracije praviloma zahteva poglobljeno tehnično znanje in dobro usposobljene strokovnjake IT.
- Potrebna zmogljiva računalniška oprema. Orodja Gen-UI zahtevajo zelo zmogljivo in posledično drago računalniško opremo (zmogljiv procesor, namenske grafične kartice, velik in hiter primarni in sekundarni pomnilnik).
- Ročne posodobitve. Učitelji ali tehnično podporno osebje morajo skrbeti za redno vzdrževanje in nadgradnjo ter pogosto izvajati ročne posodobitve programske opreme.
- Omejena mobilnost. Dostop do orodij je omejen na naprave, na katerih so orodja nameščena.

Potrebna **tehnična podpora**: IT strokovnjaki za namestitev, konfiguracijo in vzdrževanje lokalne programske in strojne opreme.

Uporaba namenske nacionalne infrastrukture

Če se ne bi bilo treba ozirati na višje stroške (za najem in vzdrževanje) ter potrebo po tehničnem znanju (strokovnjaki za upravljanje oblčnih storitev in IT infrastrukturo), bi bila za večino učiteljev in šol verjetno najboljša izbira uporaba storitev v zasebnem oblaku, ki poleg enostavne uporabe zagotavlja varnost podatkov ter ponuja visoko stopnjo nadzora in možnost integracije z drugimi izobraževalnimi informacijskimi sistemi (Mell in Grance, 2011; UNESCO, 2021). Pristop, ki bi ohranil prednosti storitev v zasebnem oblaku ter hkrati izobraževalne ustanove razbremenil stroškov najema in zmanjšal zahteve po njihovih usposobljenih kadrih, je razvoj in uporaba namenske nacionalne infrastrukture (OECD, 2023b; Evropska

komisija, 2023). V tem primeru bi na državni ravni zagotovili potrebno računalniško infrastrukturo (tako strojno opremo kot ustrezne programske rešitve) ter strokovnjake za vzpostavitev in vzdrževanje programskih storitev. Še več, z vključitvijo raziskovalcev in strokovnjakov za razvoj umetne inteligence bi lahko rešitve prilagodili dejanskim potrebam in zahtevam izobraževalnih institucij v državi.

Primer tovrstne nacionalne infrastrukture je Slovenska tovarna umetne inteligence (ang. Slovenian AI Factory, SLAIF), ki se ravno v času pisanja prispevka vzpostavlja v Sloveniji (IRCAI, 2023; Arnes, 2023). Poleg gradnje lastnih temeljnih modelov UI (npr. velikega jezikovnega modela, naučenega ob največjem zbranem naboru slovenskih besedil) bo poskrbljeno za razvoj na uporabnika osredinjenih storitev UI, ki se bodo izvajale na zmogljivem superračunalniku. Tovarna UI bo ponujala rešitve za nekaj izbranih domen; z vključitvijo rešitev za področje izobraževanja bi lahko s tovrstno platformo odlično zadovoljili potrebe slovenskega šolstva.

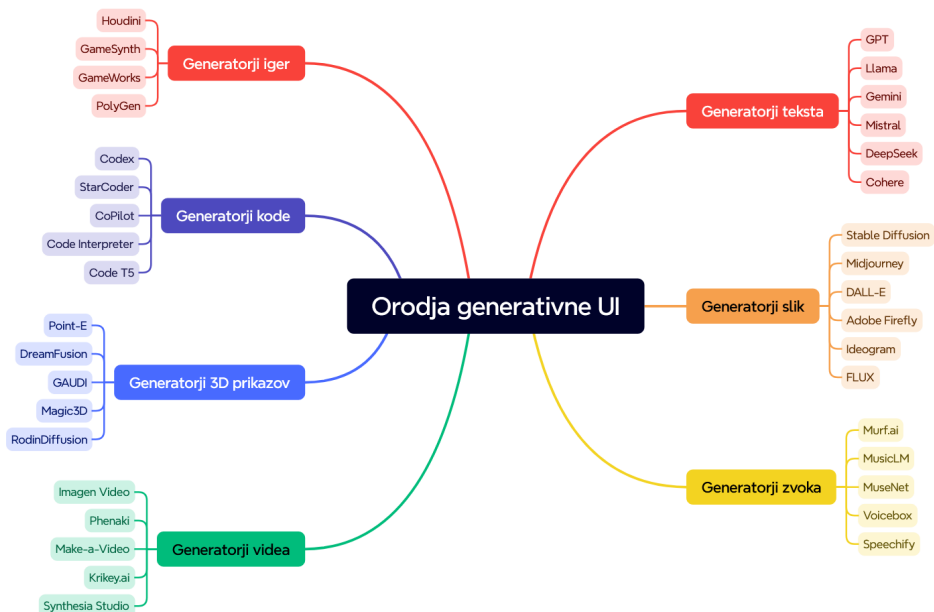
Povzetek ocen po posameznih vidikih za različne vrste tehnične izvedbe orodij generativne UI je podan v spodnji tabeli (tabela 1).

Tabela 1: Povzetek po posameznih vidikih glede na tehnično izvedbo orodij generativne UI

Vidik	Javni oblak	Zasebni oblak	Lokalna namestitev
Preprostost uporabe	☑ preprosto	⚠ srednje zahtevno	✗ zahtevno
Tehnično znanje	☑ minimalno	⚠ zmerno visoko	✗ visoko
Stroški	☑ nizki (višji pri naprednih funkcijah)	✗ visoki (najem, vzdrževanje)	✗ lahko visoki (predvsem za strojno opremo)
Varnost in zasebnost	✗ nizka (omejeno nadzorovana)	☑ večji nadzor	☑ popoln nadzor
Etičnost in transparentnost	✗ slaba (ni jasno, kako je model učen)	⚠ odvisno (od izbranega modela)	☑ dobra (možnost uporabe odprtokodnih rešitev)

Orodja generativne UI

Orodja generativne UI lahko razvrstimo v več kategorij glede na vrsto vsebine, ki jo generirajo – osnovna taksonomija orodij, skupaj z nekaj trenutno najbolj znanimi rešitvami, je prikazana na spodnji sliki (slika 1). Za vsako kategorijo orodij obstaja množica konkretnih rešitev in aplikacij, ki se med seboj razlikujejo glede na množico lastnosti, omejitev in tehničnih parametrov, ki vplivajo tako na način uporabe kot na ustvarjen rezultat.



Slika 1: Ključne kategorije orodij generativne UI glede na vrsto vsebine, ki jo generirajo

Generatorji besedila

Generatorji besedila so orodja, ki na podlagi besedilnih ukazov oz. pozivov (ang. prompt) ustvarjajo različne oblike pisne vsebine, kot so eseji, članki, povzetki, pesmi, scenariji, prevodi itd. So najpogostejše uporabljana vrsta orodij generativne UI, za delovanje katere so ključni veliki jezikovni modeli (ang. Large Language Models, LLM) (Brown idr., 2020; OpenAI, 2023), ki omogočajo generiranje besedil.

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve, ki pomembno vplivajo na delovanje:

- **Velikost modela** (število parametrov). Večji modeli pogosto generirajo bolj smiselno, vsebinsko povezano in kompleksno besedilo, vendar zahtevajo več računalniških virov.
- **Kontekstno okno**. Določa dolžino besedila, ki ga model upošteva pri generiranju nadaljnje vsebine. Daljše kontekstno okno omogoča generiranje daljših in vsebinsko ustrežnejših besedil.
- **Učna množica podatkov** (ang. training data). Kakovost in obseg podatkov, na katerih je bil model učen, vplivata na kakovost in relevantnost generiranega besedila.
- **Možnost prilagajanja** (ang. fine-tuning). Nekatera orodja omogočajo dodatno učenje oz. fino prilagajanje modela na specifičnih naborih

podatkov, kar izboljša njegovo učinkovitost za določene naloge. Tako lahko učitelj model prilagodi specifičnemu učnemu gradivu, orodje pa v nadaljevanju generira vsebino v skladu s to vsebino.

- **Jezikovna podpora.** Različna orodja podpirajo različne jezike. Modeli praviloma najbolje generirajo besedila v angleškem jeziku, medtem ko nekateri modeli bistveno slabše delujejo z besedili v slovenskem jeziku.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje besedil:

- GPT-2 (OpenAI, 2019). Starejši, a še vedno uporaben model za generiranje besedila. Na voljo so tudi odprtokodne implementacije.
- Hugging Face Transformers (Wolf idr., 2020). Knjižnica, ki ponuja dostop do številnih predhodno usposobljenih jezikovnih modelov (vključno z odprtokodnimi različicami modelov GPT, T5 itd.). Zahteva tehnično znanje za uporabo.
- Nekateri spletne platforme ponujajo brezplačne omejene preizkusne različice naprednejših modelov (npr. ChatGPT, Google Gemini).

Pred izbiro konkretnega orodja naj učitelji ocenijo jezikovno podporo (Bommasani idr., 2021; Bubeck idr., 2023), dolžino in kompleksnost besedila, ki ga potrebujejo, ter ali brezplačna različica ustreza njihovim potrebam. Za naprednejšo uporabo v šoli je smiselno razmisliti o prilagoditvi odprtokodnih modelov, kar pa zahteva tehnično znanje.

Generatorji slik

Generatorji slik so orodja, ki na podlagi besedilnih opisov in pozivov ustvarjajo digitalne slike (Rombach idr., 2022; Ramesh idr., 2021).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve, ki pomembno vplivajo na delovanje:

- **Število korakov generiranja** (ang. *diffusion steps*). Večje število korakov običajno vodi do bolj kakovostnih in detajlnih slik, vendar zahteva več časa in računalniških virov.
- **Ločljivost generirane slike.** Določa število pikslov v generirani sliki ter s tem njeno ostrino in raven detajlov. Slike z višjo ločljivostjo so praviloma bolj kakovostne, a za njihovo generiranje porabimo več računskih virov.
- **Uporabljeni model.** Obstaja več modelov za generiranje slik (npr. Stable Diffusion, DALL-E), na katerih temeljijo orodja. Različni modeli imajo različne prednosti in slabosti glede na slog generiranja, realističnost in razumevanje pozivov uporabnika.
- **Možnost naprednega urejanja.** Funkcije, ki omogočajo urejanje obstoječih slik z dodajanjem ali odstranjevanjem elementov.
- **Slog generiranja.** Nekatera orodja omogočajo izbiro želenega umetniškega sloga (npr. fotorealistično, impresionistično, anime) (Ramesh idr.,

2022); nekatera orodja omogočajo, da uporabnik obstoječo sliko naloži kot primer sloga, v katerem želi generiran rezultat.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje slik:

- **Stable Diffusion.** Zelo priljubljen odprtokodni model za generiranje slik (Rombach idr., 2022). Zahteva namestitve in konfiguracijo, vendar ponuja veliko prilagodljivosti. Na voljo so tudi spletne platforme, ki ga uporabljajo (nekaterne brezplačne z omejitvami).
- **InvokeAI.** Odprtokodna platforma, ki temelji na Stable Diffusion in ponuja uporabniku prijaznejši vmesnik.
- **Craiyon (prej DALL-E mini).** Brezplačna spletna aplikacija, ki generira manj kakovostne slike, a precej hitro.

Pred odločitvijo o posameznem orodju naj učitelji ocenijo želeno kakovost in ločljivost slik, enostavnost uporabe ter ali so pripravljeni na morebitno namestitev in konfiguracijo programske opreme. Za hitre ilustracije lahko zadostujejo brezplačne spletne aplikacije, za kakovostnejše slike pa je smiselno razmisliti o zahtevnejših modelih, kot je Stable Diffusion, ali podobnih rešitvah.

Generatorji zvoka

Generatorji zvoka ustvarjajo različne vrste zvoka, kot so človeški glas, glasba, zvočni učinki itd., na podlagi besedilnih opisov ali različnih zvočnih vhodov (Dharwal idr., 2020; Thorsten idr., 2021).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve, ki pomembno vplivajo na delovanje:

- **Kakovost zvoka** (bitna globina, vzorčna frekvenca). Višje vrednosti pomenijo boljšo kakovost zvoka, a zahtevajo več računalniških virov.
- **Raznolikost glasov in glasbenih slogov.** Različna orodja ponujajo različne možnosti izbire generiranja človeškega glasu (npr. moški, ženski, otroški) in glasbenih žanrov.
- **Možnost urejanja zvoka.** Nekatera orodja omogočajo osnovno urejanje generiranega zvoka.
- **Podpora za različne jezike** (za generiranje govora). Pomembno za ustvarjanje kakovostnih glasovnih vsebin v različnih jezikih.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje zvoka:

- **Mozilla TTS** (Thorsten idr., 2021). Odprtokodna knjižnica za sintezo govora (pretvorba besedila v govor). Zahteva tehnično znanje za uporabo.
- **Vosk** (Povey idr., 2011). Odprtokodna knjižnica za prepoznavanje govora, ki se lahko uporablja v kombinaciji z generatorji govora.
- Nekaterne spletne platforme ponujajo brezplačne omejene preizkusne različice orodij za generiranje govora (Huang idr., 2020; Povey idr., 2011) in glasbe.

Učitelji naj ocenijo želeno kakovost zvoka, raznolikost glasov oz. glasbenih slogov in enostavnost uporabe. Za enostavno generiranje govora lahko zadostujejo brezplačne spletne platforme, za naprednejše ustvarjanje zvoka pa je treba poseči po plačljivih rešitvah ali se osredotočiti na uporabo naprednejših knjižnic, ki pa zahtevajo tehnično znanje.

Generatorji videoposnetkov

Generatorji videa so zmogljiva orodja, ki na podlagi besedilnih opisov, podanih slik ali drugih videoposnetkov ustvarjajo videoposnetke (Ho idr., 2022; Singer idr., 2022).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve, ki pomembno vplivajo na delovanje:

- **Ločljivost videa** (npr. HD, Full HD, 4K). Določa kakovost in ostrino videoposnetka.
- **Število sličic na sekundo** (FPS). Vpliva na gladkost gibanja v videu.
- **Dolžina generiranega videa**. Brezplačne različice imajo pogosto omejitve glede dolžine videoposnetka, ki ga lahko ustvarimo. Daljši posnetek zahteva več računskih virov.

Možnost prilagajanja in urejanja (Wu idr., 2021)

- Nekatera orodja omogočajo dodajanje besedila, glasbe, prehodov in druge podobne funkcionalnosti.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje videoposnetkov:

- Trenutno je število kakovostnih brezplačnih ali odprtokodnih generatorjev videa zelo omejeno. Večina naprednih orodij je plačljivih.
- Nekatere spletne platforme ponujajo brezplačne omejene preizkusne različice.

Pri izbiri orodja za generiranje videoposnetkov naj učitelji ocenijo želeno kakovost in dolžino videa, enostavnost uporabe ter možnosti brezplačnih orodij. Za enostavne kratke videoposnetke lahko zadostujejo brezplačne preizkusne različice, za kompleksnejše projekte pa bo verjetno potrebna uporaba plačljivih orodij.

Generatorji 3D vizualizacij

Vse bolj zanimiva postajajo orodja generativne UI, ki znajo generirati nekatere bolj specifične oblike vsebin. Med njimi so generatorji 3D prikazov, ki ustvarjajo tridimenzionalne modele in scene na podlagi besedilnih opisov ali drugih vhodnih podatkov (Poole idr., 2022; Lin idr., 2023).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve, ki pomembno vplivajo na delovanje:

- **Kompleksnost generiranih 3D modelov** (število ploskev oz. poligonov). Večje število poligonov omogoča bolj detajlne 3D modele, vendar hkrati zahteva več računalniških virov.

- **Nabor tekstur in materialov.** Realističnost 3D modelov je odvisna od kakovosti tekstur in materialov, ki jih orodja uporabijo na ustvarjenih 3D modelih.
- **Možnost animacije.** Nekatera orodja omogočajo tudi animiranje 3D modelov.
- **Formati izvoza.** Različna orodja podpirajo različne formate za shranjevanje in izvoz 3D modelov (npr. OBJ, STL, FBX) (Jun in Nichol, 2023).

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje 3D modelov in prikazov:

- Blender (Blender Foundation, 2023). Zmoglljivo in brezplačno odprtokodno orodje za 3D modeliranje, animacijo in vizualizacijo, ki pa zahteva precej učenja.
- Nekatera spletna orodja ponujajo osnovno generiranje 3D modelov iz besedila v brezplačnih ali preizkusnih različicah, vendar so njihove zmoglosti pogosto omejene.

Pred izbiro orodja naj učitelji ocenijo kompleksnost potrebnih modelov in želeno stopnjo realističnosti. Prav tako naj dobro premislijo, koliko časa so pripravljeni vložiti v učenje kompleksnejšega orodja.

Generatorji kode

Generatorji kode so orodja, ki z uporabo generativne UI generirajo računalniško kodo v različnih programskih jezikih na podlagi pozivov v naravnem jeziku ali drugih vhodnih podatkov (Chen idr., 2021; Li idr., 2023).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve generatorjev programske kode:

- **Podprti programski jeziki.** Različna orodja podpirajo različne programske jezike (npr. Python, Java, JavaScript); prav tako so lahko rezultati v različnih programskih jezikih precej različne kakovosti.
- **Kakovost in učinkovitost generirane kode.** Generirana programska koda mora biti pravilna in mora, kolikor je mogoče, slediti dobrim praksam programiranja. Sestava kode je lahko bolj ali manj učinkovita.
- **Možnost prilagajanja kode.** Nekatera orodja omogočajo prilagajanje generirane kode glede na specifične potrebe. Pomembna funkcionalnost je tudi prilagajanje že obstoječi programski kodi, ki jo želimo dopolniti ali nadgraditi z novimi funkcionalnostmi.
- **Integracija z razvojnimi okolji (IDE)** (OpenAI, 2023). Posamezna orodja omogočajo integracijo generiranja programske kode neposredno v obstoječa razvojna okolja, kar omogoča bolj učinkovito delo.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje programske kode:

- GitHub Copilot (GitHub, 2023) (omejeno brezplačno za nekatere uporabnike). Čeprav orodje ni popolnoma brezplačno, ponuja brezplačne možnosti za študente in učitelje.
- Tabnine (Tabnine, 2023). Podobno kot Copilot ponuja brezplačne in plačljive različice.
- Nekateri veliki jezikovni modeli (npr. GPT-4) imajo zmožnost generiranja kode in so dostopni prek API-ja, kar omogoča integracijo v lokalne rešitve; možnost uporabe prek API-jev je sicer praviloma plačljiva.

Učitelji naj ocenijo, katere programske jezike in kakšno raven nadzora nad generirano kodo potrebujejo ter ali imajo dostop do razvojnih okolij, ki podpirajo integracijo z generatorji kode.

Generatorji iger

Generatorji iger so zmogljiva orodja, ki ustvarjajo računalniške igre ali njihove posamezne elemente (npr. like, scenarije, igralne stopnje) na podlagi uporabnikovih pozivov v naravnem jeziku ali drugih vhodnih podatkov (Summerville idr., 2018; Risi in Togelius, 2020).

Tehnični parametri, lastnosti in omejitve generatorjev iger:

- **Žanr iger.** Različna orodja so lahko bolj ali manj primerna za različne žanre iger (npr. pustolovske, strateške, arkadne).
- **Kompleksnost iger.** Orodja se razlikujejo po tem, kako kompleksne igre lahko ustvarijo.
- **Možnost prilagajanja** igralnega okolja in likov. Nekatera orodja omogočajo podrobno prilagajanje videza in obnašanja likov v igri ter samega okolja igre.
- **Izvoz in združljivost** (Sarkar idr., 2022). Pomembno je, v kakšnem formatu lahko igro izvozimo in na katerih platformah jo je mogoče igrati.

Nekatera brezplačna/odprtokodna orodja za generiranje računalniških iger:

- Godot Engine (Godot Engine, 2023). Odprtokodni pogon za razvoj 2D in 3D iger, ki se lahko uporablja za ustvarjanje iger z elementi, generiranimi z generativno UI.
- Unity (Unity Technologies, 2023) (z odprtokodnimi komponentami in dodatki). Čeprav Unity sam po sebi ni odprtokoden, obstajajo odprtokodne komponente in dodatki, ki se lahko uporabljajo za integracijo z orodji Gen-UI.

Pred izbiro posameznega generatorja računalniških iger naj učitelji ocenijo želeni žanr in kompleksnost iger, ki jih želijo ustvariti, kakšne možnosti prilagajanja potrebujejo in na katerih platformah naj bodo igre dostopne.

Literatura

- Amazon Web Services (2023). *AWS education cloud solutions*. <https://aws.amazon.com/education/>
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A. ... in Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
- Arnes (2023). *Slovenska tovarna umetne inteligence (SLAIF)*. Akademsko in raziskovalna mreža Slovenije. <https://www.arnes.si/slovenska-tovarna-umetne-inteligence-slaif>
- Blender Foundation (2023). *Blender – Free and open source 3D creation suite*. <https://www.blender.org>
- Bommasani, R., Hudson, D. A., Adeli, E., Altman, R. ... in Liang, P. (2021). *On the opportunities and risks of foundation models* (arXiv:2108.07258). <https://arxiv.org/abs/2108.07258>
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P. ... in Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901. <https://arxiv.org/abs/2005.14165>
- Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E. K., Kamar, E., Lee, P., Lee, Y. T., Li, Y.-F., Lundberg, S. M., Nori, H., Palangi, H., Ribeiro, M. T., & Zhang, Y. (2023). Sparks of Artificial General Intelligence: Early experiments with GPT-4. *arXiv.Org, abs/2303.12712*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.12712>
- Burrell, J. (2016). How the machine ‘thinks’: Understanding opacity in machine learning algorithms. *Big Data & Society*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1177/2053951715622512>
- Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Pinto, H. P. de O., Kaplan, J. ... in Zaremba, W. (2021). Evaluating large language models trained on code. *arXiv preprint arXiv:2107.03374*. <https://arxiv.org/abs/2107.03374>
- Dayma, B., Patil, S., Cuenca, P., Saifullah, K., Abraham, T., Le Khac, P. in Wolf, T. (2021). *DALL-E mini*. Hugging Face. <https://github.com/borisdayma/dalle-mini>
- Dhariwal, P., Jun, H., Payne, C., Kim, J. W., Radford, A. in Sutskever, I. (2020). Jukebox: A generative model for music. *arXiv preprint arXiv:2005.00341*. <https://arxiv.org/abs/2005.00341>
- Evropska komisija (2021). Proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206>
- Evropska komisija (2023). *Ethics guidelines for trustworthy AI in education*. Publications Office of the European Union. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>

- Evropski parlament in Svet (2016). *Regulation (EU) 2016/679 (General Data Protection Regulation – GDPR)*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- Floridi, L. in Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences. *Minds and Machines*, 30(4), 681–694. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09548-1>
- GitHub (2023). *GitHub Copilot documentation*. <https://docs.github.com/en/copilot>
- Godot Engine (2023). *Godot Engine: Free and open source game engine*. <https://godotengine.org>
- Google Cloud (2023). *Google Cloud for education*. <https://cloud.google.com/solutions/education>
- Google DeepMind (2023). *Introducing Gemini 1.5*. <https://deepmind.google/technologies/gemini/>
- Ho, J., Jain, A. in Abbeel, P. (2022). Imagen Video: High definition video generation with diffusion models. *arXiv preprint arXiv:2210.02303*. <https://arxiv.org/abs/2210.02303>
- Huang, C. A., Vaswani, A., Uszkoreit, J., Simon, I., Hawthorne, C., Shazeer, N. ... in Eck, D. (2020). Music Transformer: Generating music with long-term structure. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*. <https://arxiv.org/abs/1809.04281>
- IRCAI (2023). *Slovenian AI Factory (SLAIF)*. International Research Centre on Artificial Intelligence under the auspices of UNESCO. <https://ircai.org/slovenian-ai-factory-slaif>
- Jun, H. in Nichol, A. (2023). Shap-E: Generating conditional 3D implicit functions. *arXiv preprint arXiv:2305.02463*. <https://arxiv.org/abs/2305.02463>
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M. ... in Kasneci, G. (2023). Chat-GPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Li, R., Allal, L. B., Zi, Y., Muennighoff, N., Kocetkov, D., Ben Allal, L. ... in Wolf, T. (2023). StarCoder: May the source be with you! *arXiv preprint arXiv:2305.06161*. <https://arxiv.org/abs/2305.06161>
- Lin, C., Gao, J., Chen, Z., Wang, T., Wang, Z., Han, K. ... in Zhang, F. (2023). Magic3D: High-resolution text-to-3D content creation. *arXiv preprint arXiv:2211.10440*. <https://arxiv.org/abs/2211.10440>
- Mell, P. in Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing* (NIST Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
- Microsoft (2023a). *Azure education solutions*. <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/education/>

- Microsoft (2023b). *Microsoft Copilot*. <https://copilot.microsoft.com>
- OECD (2021). *OECD Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
- OECD (2023a). *Emerging governance of generative AI in education* (Chapter in *OECD Digital Education Outlook 2023*). OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en/full-report/emerging-governance-of-generative-ai-in-education_3cbd6269.html
- OECD (2023b). *Opportunities, guidelines and guardrails for effective and equitable use of AI in education* (Discussion paper). OECD Publishing. <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/smart-data-and-digital-technology-in-education/Opportunities%2C%20guidelines%20and%20guardrails%20for%20effective%20and%20equitable%20use%20of%20AI%20in%20education.pdf>
- OpenAI (Achiam, J. idr.) (2023). GPT-4 Technical Report. *arXiv:2303.08774*. <https://arxiv.org/abs/2303.08774>
- Poole, B., Jain, A., Barron, J. T. in Mildenhall, B. (2022). DreamFusion: Text-to-3D using 2D diffusion. *arXiv preprint arXiv:2209.14988*. <https://arxiv.org/abs/2209.14988>
- Povey, D., Ghoshal, A., Boulianne, G., Burget, L., Glembek, O., Goel, N. ... in Veselý, K. (2011). The Kaldi speech recognition toolkit. *IEEE 2011 Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU)*. <https://kaldi-asr.org>
- Ramesh, A., Dhariwal, P., Nichol, A., Chu, C. in Chen, M. (2022). Hierarchical text-conditional image generation with CLIP latents. *arXiv preprint arXiv:2204.06125*. <https://arxiv.org/abs/2204.06125>
- Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A. ... in Sutskever, I. (2021). Zero-shot text-to-image generation. *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*. <https://arxiv.org/abs/2102.12092>
- Risi, S. in Togelius, J. (2020). Increasing generality in machine learning through procedural content generation. *Nature Machine Intelligence*, 2(8), 428–436. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0210-7>
- Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P. in Ommer, B. (2022). High-resolution image synthesis with latent diffusion models. *arXiv preprint arXiv:2112.10752*. <https://arxiv.org/abs/2112.10752>
- Singer, U., Polyak, A., Hayes, T., Yin, X., An, J., Zhang, S., ... & Taigman, Y. (2022). Make-a-video: Text-to-video generation without text-video data. *arXiv preprint arXiv:2209.14792*.

- Sarkar, A., Cooper, S. in Liapis, A. (2022). Creativity in co-creativity: Human–AI collaboration in game design. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 18(1), 177–185. <https://ojs.aaai.org/index.php/AIIDE/article/view/21969>
- Summerville, A. J., Snodgrass, S., Mateas, M. in Ontañón, S. (2018). Procedural content generation via machine learning (PCGML). *IEEE Transactions on Games*, 10(3), 257–270. <https://doi.org/10.1109/TG.2018.2846639>
- Tabnine (2023). *AI code completions for your IDE*. Tabnine. <https://www.tabnine.com>
- Thorsten, M., Müller, J. idr. (2021). *Mozilla TTS: An open-source speech synthesis system*. Mozilla Foundation. <https://github.com/mozilla/TTS>
- UNESCO (2021). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>
- Unity Technologies. (2023). *Unity documentation*. <https://docs.unity.com>
- Wolf, T., Debut, L., Sanh, V., Chaumond, J., Delangue, C., Moi, A. ... in Rush, A. M. (2020). Transformers: State-of-the-art natural language processing. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations*, 38–45. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-demos.6>
- Wu, T., Ge, Y., Wang, X., Lei, Y., Wu, Y. in Shan, Y. (2021). Godiva: Generating open-domain videos from natural descriptions. *arXiv preprint arXiv:2104.14806*. <https://arxiv.org/abs/2104.14806>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M. in Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – Where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>