

VLOGA UMETNE INTELIGENCE V IZOBRAŽEVANJU IN ZA IZOBRAŽEVANJE

IGOR PESEK,¹ MARJAN KRAŠNA²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor, Slovenija
igor.pesek@um.si

² Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Maribor, Slovenija
marjan.krasna@um.si

Sinopsis V zadnjem desetletju se je povečala vsestranskost prenosnih naprav, njihova povečana procesorska moč pa jih je spremenila iz modnega dodatka v podaljšek človeškega telesa. Umetna inteligenca (UI) je vznemirljiva tehnologija za prilagoditev izobraževalnih izkušenj različnih učnih skupin. Kakorkoli, UI v izobraževanju ni novost, poskusov implementacije je bilo veliko, vendar so se zaradi nezrele tehnologije ali napačnih pristopov do neke mere vsi izkazali za neuspešne. Zdaj lahko opazimo nov zagon in njegov vpliv bo kmalu viden. V izobraževanju lahko UI: personalizira učenje, ustvari pametne učne vsebine, izvaja tutorstvo v inteligentnih tutorskih sistemih, se uporablja kot pomoč učencem s posebnimi potrebami, pomaga učiteljem pri ocenjevanju, omogoča študentom dostop do učnih vsebin itd. UI je vse bolj vključena v naše vsakdanje življenje in velikokrat se niti ne zavedamo, da za nečim stoji prav ona. To pomeni, da moramo uporabnike naučiti osnov UI, saj bodo le tako lahko sprejemali premišljene odločitve o njeni vključenosti v njihova življenja. Zato moramo UI pismenost vključiti že osnovno izobraževanje, ker bodo le tako mlajše generacije znale UI učinkovito in smiselno uporabljati. Članek bo raziskal različne možnosti uporabe UI v izobraževanju in za njega.

Ključne besede:
izobraževanje,
umetna inteligenca,
IKT,
prednosti umetne
inteligence,
kompetence

THE ROLE OR ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION AND FOR EDUCATION

IGOR PESEK,¹ MARJAN KRAŠNA²

¹ University of Maribor, Faculty of Natural Science and Mathematics, Maribor, Slovenia
igor.pesek@um.si

² University of Maribor, Faculty of Arts, Maribor, Slovenia
marjan.krasna@um.si

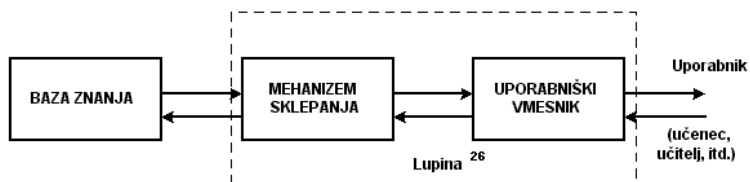
Abstract Recently, the versatility of portable devices and their increased processing power transformed them from a fashionable accessory into an extension of the human body. Artificial intelligence (AI) could be an exciting technology for adapting educational experiences of various learning groups. However, AI in education is not a novelty. There have been many attempts of its implementation, yet none of them was really successful. Now, a new progression is on the way. In education, AI can: personalize learning, create smart educational content, perform tutoring in intelligent tutoring systems, be used as assistance for students with special needs, help teachers with grading, enable students access to educational content etc. AI is becoming increasingly integrated into our everyday lives and we are often not even aware that AI is behind something we do. This is reason enough to teach users about the basics of AI to give them a chance to make prudent decisions about how it will be incorporated into their lives. Therefore, AI literacy must be taught already in primary schools, so that younger generations will know how to use it effectively and reasonably. The paper will explore various possibilities of AI usage in education and for education.

Keywords:
education,
artificial
intelligence,
ICT, benefits of
artificial
intelligence,
competences

1 Uvod

Od pričetka uporabe računalnikov v izobraževanju so nekateri razmišljali, kako bi lahko 'zamenjali' učitelja pri nekaterih opravilih. Računalniki imajo pred ljudmi nekaj prednosti in tudi pomanjkljivosti. Vsaj dve prednosti sta samoumevni: (1) lahko ga izključimo in (2) ne potrebuje dodatnega časa za učenje, samo naloži program, podatke in je pripravljen za delo. To, da ni potrebno večletno (desetletno) učenje, je sveti gral človeštva. Če bi bili sposobni naložiti znanje prejšnjih generacij v nove možgane, bi bil naš razvoj veliko hitrejši, kot je danes. Vprašanje pa je, če bi bil obvladljiv na naših bioloških procesnih enotah (možganih)(Gerlič 2000).

Prvi poskusi z vpeljavo umetne inteligence v izobraževanje so bili izvedeni že v prejšnjem tisočletju. Naši študenti so se s temi poskusi srečali pri predmetu Multimedija, ki so ga obiskovali vsi študenti pedagoških študijskih smeri na Pedagoški fakulteti v Mariboru. Osnovne koncepte so pri predavanjih sicer spoznali, a pri preverjanju znanja se je videlo, da so ti koncepti utopični in bolj skriti nad oblaki, kot bi si želeli. Če smo takrat izhajali iz ekspertnih sistemov za druga področja (v glavnem medicino) in ga želeli pretvoriti v izobraževanje, smo ugotovili, da čas ni dozorel (Krašna 2010).

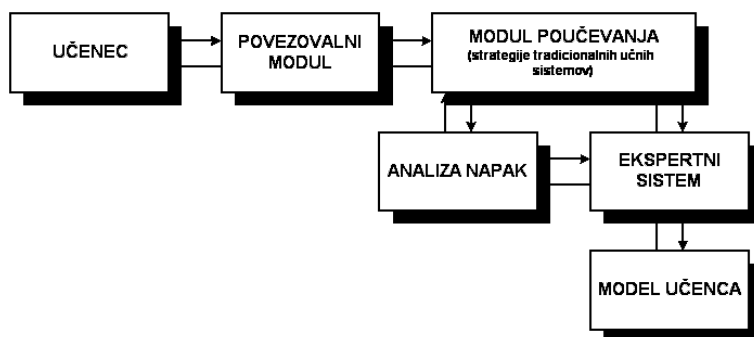


Slika 1: Ekspertni sistemi v izobraževanju

(Gerlič 2000)

Že osnove – baze znanja (Slika 1) – nismo bili sposobni sestaviti niti za prikaz delovanja. Mehanizem sklepanja je bil še bolj abstrakten in uporabniški vmesnik na nivoju tekstualnega dela. Konceptualno pa je sistem vseeno zanimiv še danes (Slika 2). Pogled na shemo pokaže, da želimo imeti torej model učenca, ki je dovolj primeren za ugotavljanje lastnosti učenca in pomoč pri izobraževanju – tj. izbiranju učnih vsebin, ki jih učenec ne obvlada za razumevanje nekega novega znanja. Seveda model ni dajal nobenih napotkov, kako naj bi bilo to izvedeno v praksi. Analogijo pa lahko vidimo z učiteljem, ki pozna učenca in skozi čas, ter interakcijo z njim,

točno ve, kaj učenec zna in kje še mora utrditi znanje, da bo lahko uspešno nadaljeval šolanje.

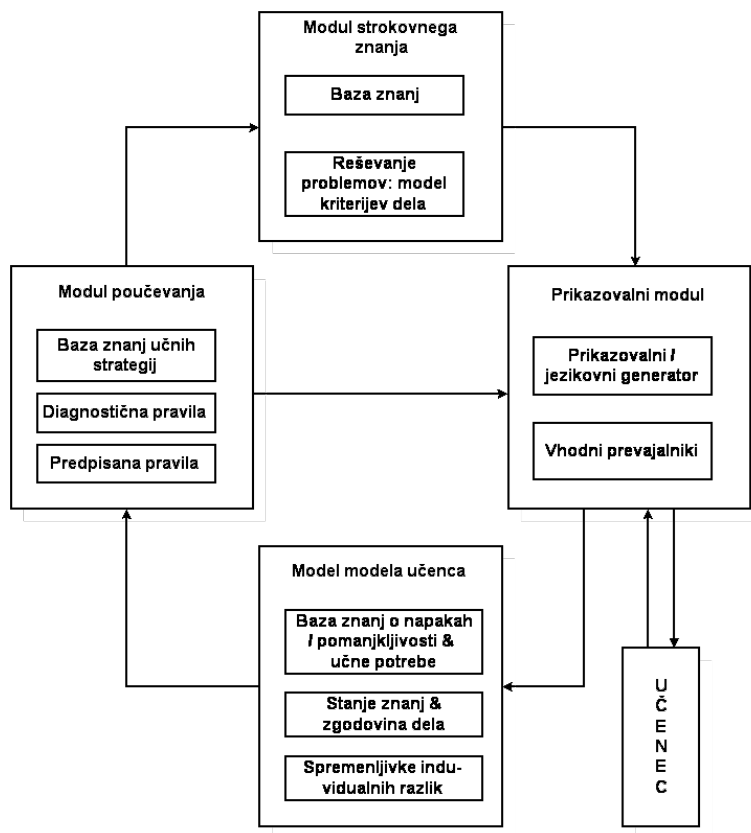


Slika 2: Inteligentni učni sistemi

(Gerlič 2000)

Prvi poskusi inteligentnega delovanja so bili izvedeni s pomočjo teorije končnih avtomatov. Ti poskusi so bili izvedeni že v času pred računalniško tehnologijo. Zelo kompleksni, človeku podobni avtomati, ki so delovali po v naprej predvidenih stanjih in prehodih med njimi, so bili zanimivi za bogataše v času renesanse. Imeli so dolgoročni vpliv na avtomatizacijo dela in kasneje tudi razvoj učenja, kot ga poznamo danes (Robson 2010).

Po drugi svetovni vojni so se pričela izobraževanja na daljavo in s tem tudi koncept programiranega pouka. Vodenje po točno določenih korakih, z dodatno razlago ali ne, kjer se je učeči lahko premikal skozi učno gradivo in v posameznih točkah preveril svoje znanje. Koncept je pridobil na veljavi šele s pojavom računalnikov, povezanih v internet in z množico spletnih uslug. Ta koncept priprave učnih gradiv še danes uporabljamo za kombinirano učenje in moramo priznati, da do epidemije COVID-19 večina učiteljev ni pomislila, da ga bo kadarkoli uporabila. Sprememba je bila v tem primeru zelo dobrodošla in pokazala, kje vse se najdejo luknje v znanju in napačna predvidevanja o bodočem razvoju učenja in poučevanja.



Slika 3: Integrirano računalniško podprto poučevanje
(Gerlič 2000)

Pri pedagoških študijskih programih je mogoče uporabiti UI tudi kot učenca. V takšnem primeru študent poučuje UI in na podlagi testiranja znanja ugotovi, kako uspešno je njegovo poučevanje (Woolf 1990).

Prvič smo se s takšnim problemom srečali pri robotiki, kjer so tradicionalno programe pisali za vsak aktuator posebej in tako časovno in prostorsko usklajevali robotske gibe. To je bilo zelo časovno potratno opravilo, ki je zahtevalo veliko procesorskega časa zaradi nenehnih transformacij med različnimi koordinatnimi sistemi (danes to ni več takšen problem, ker to rešijo grafične kartice). Takrat se je porodila ideja, da bi lahko v resnici postavili robota v stanje učenja, namesto da bi programirali aktuatorje, bi s senzorjev na aktuatorjih preprosto odčitali podatke, medtem ko bi premikali robotsko roko. Robot bi kasneje samo ponovil zabeležene

podatke in preko teh dosegel ponovljivost akcije (industrijska robotika¹). Umetna inteligenca pa bi lahko optimizirala zaporedje akcij in tako minimizirala premike in čas. Danes je to standardna tehnika za poučevanje robotov (Haage et al. 2017).

2 Umetna inteligenca v izobraževanju

Računalnik v izobraževanju je najprej prišel na nivoju strojev, ki so zamenjali klasične medije. Torej namesto papirja smo tipkali v oblikovalnike besedil, namesto kasetofona ali videokaset smo predvajali zvok in video s pomočjo računalnika. Ta napredek je bil izjemno pomemben, saj smo namesto različnih naprav potrebovali le eno, ki je znala vse to, za kar smo nekoč potrebovali celo plejado drugih naprav. Računalnik pa ne predvaja oziroma prikazuje le podatke, ampak omogoča, da jih spreminjamo – obdelujemo. Tako ni bilo več treba prikazati vsega videoposnetka od začetka in iskati tisti del, ki ga želimo prikazati v razredu, izrežemo lahko le točno tiste dele in jih brez časovnih zamikov pokažemo na zahtevo.

To se je pokazalo kot časovno zahtevno opravilo, če smo ga naredili le enkrat. Smo pa hitro ugotovili, da je mogoče te gradnike večkrat uporabiti in s tem kasneje pridobiti čas za pripravo drugačnih, a vseeno podobnih gradiva (re-uporaba gradnikov)(Krašna 2010).

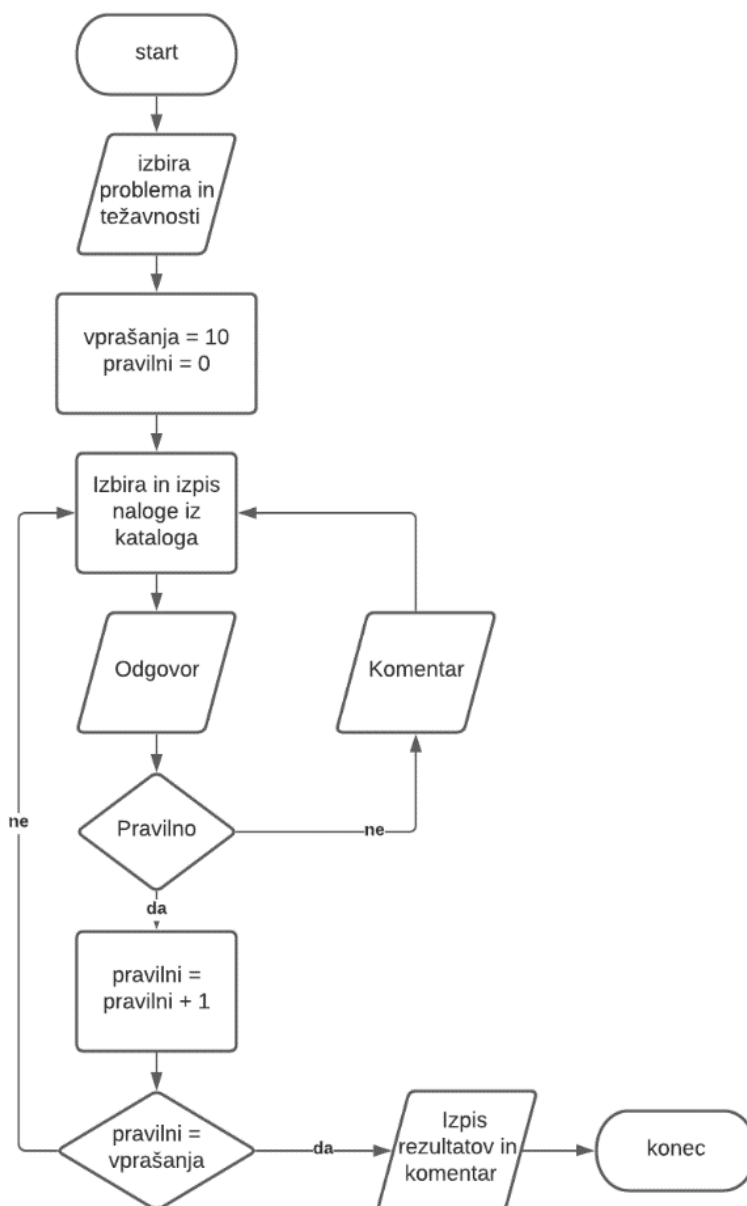
Ko so računalniki postali dostopni slehernemu učečemu, smo lahko vsebine objavili na spletnih straneh tudi specializiranih – spletnih učilnicah in tako prihranili čas z razmnoževanjem, in če smo se zares potrudili, nas je računalnik razbremenil ponavljajočih se opravil, ki velikokrat za učitelja niso motivirajoča, a jih učeči potrebujejo za napredek in razlago (Krašna 2010).

2.1 Vaja in utrjevanje

Prva razbremenitev učitelja se je pokazala pri vaji in utrjevanju (t. i. drilih). To je duhamorno opravilo, ki ga lahko opravi sleherni končni avtomat. Treba si je le izmisliti testirano vrednost (eno izmed možnih izbire računalnik s pomočjo omejene *random* funkcije), pridobiti odgovor učečega in preverjati odgovor s pravilnim

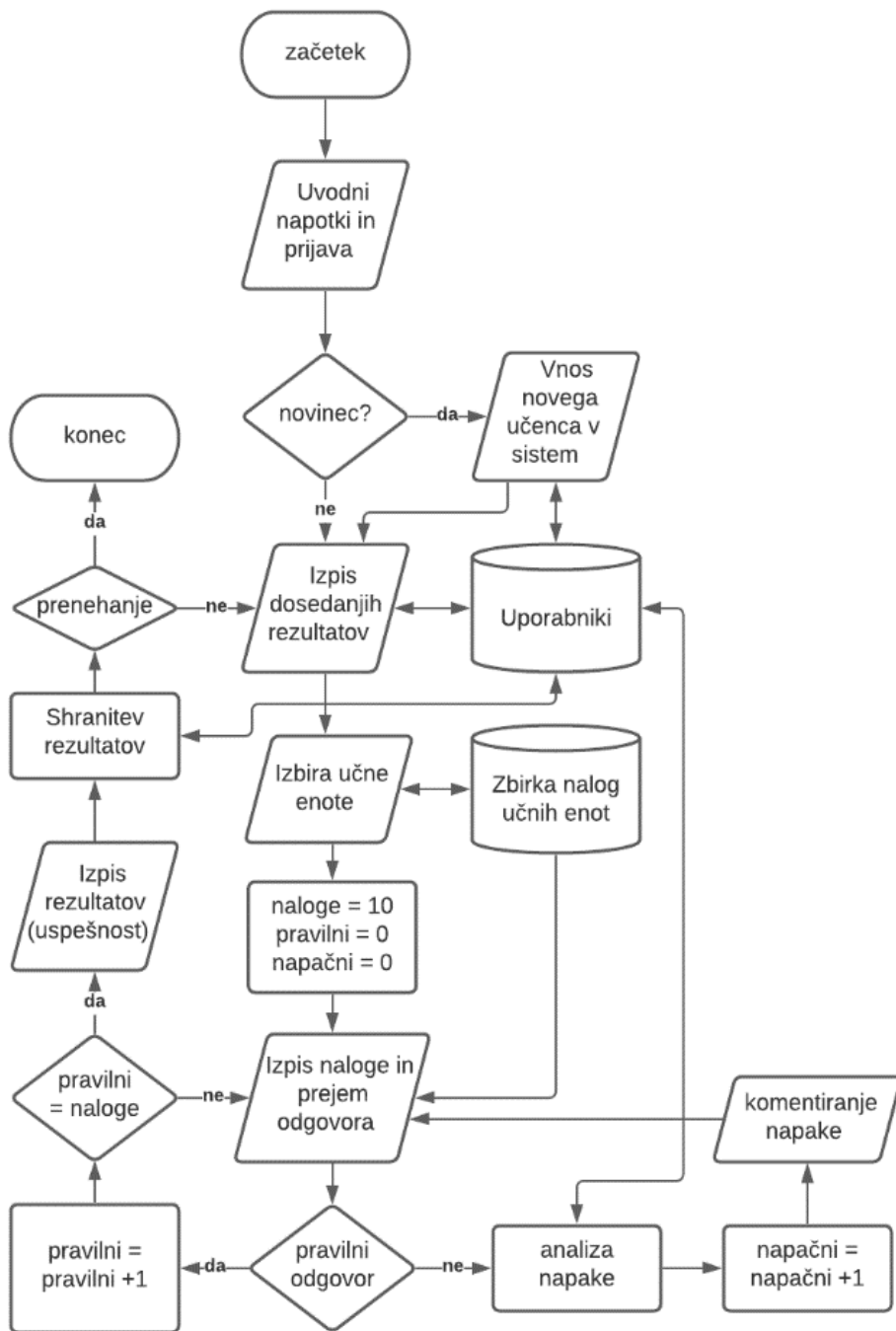
¹ Industrijska robotika (Karel Jezernik), Predmet na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, študijsko leto 1988/1989

odgovorom na izbrano možnost. Drile je mogoče tudi razširiti in jih narediti še 'inteligentnejše'. Na sliki (Slika 4) vidimo, kako takšen dril deluje.



Slika 4: Fazni diagram enostavne strategije vaje in utrjevanja – konča se po 10 pravih odgovorih

Vir: lasten.



Slika 5: fazni diagram zahtevnejšega drila s shranitvijo rezultatov

Vir: lasten.

2.2 Personalizirano učenje

Personalizirano učenje z umetno inteligenco je učni pristop, ki se osredotoča na oblikovanje učenja z upoštevanjem posebnih potreb posameznega učenca. Bolj natančno to pomeni, da komponente učenja, kot so tempo učenja, osebne želje, oblika pouka in učni stili, prilagodimo tako, da ustrezajo potrebam učenca in na ta način povečamo učinkovitost učenja. Raziskave so pokazale, da je personalizirano poučevanje veliko učinkovitejše kot poučevanje celotnega razreda (Bloom 1984). Problem je, da učitelj ne more prilagoditi svojega poučevanja na celoten razred, po drugi strani pa je individualno poučevanje vsakega učenca posebej neizvedljivo. Uporaba tehnologije za te namene se raziskuje že dlje časa in pri tem zaradi vedno več digitalnih sledi, ki jih učenci puščajo, izredno napreduje (Xie, Hwang in Wang 2019). UI in strojno učenje blestita pri prepoznavanju vzorcev, ki jih človek ne prepozna, pogosto zaradi velike količine podatkov. Zato lahko UI z analizo izobraževalnih podatkov učenca pomaga učitelju pri prepoznavanju načinov, kako posamezni učenci razumejo snov.

Tukaj lahko pomaga umetna inteligenca, in sicer na dva načina. Pri prvem načinu pomaga učitelju s koristnimi podatki o učencu. Učitelj lahko ustrezno reagira in prilagodi poučevanje učenca z dodatnimi razlagami in nalogami. V drugem načinu pa lahko UI v celoti prevzame poučevanje učenca in mu ponuja prilagojene učne vsebine.

Za oba načina potrebujemo zajemanje, združevanje in analiziranje podatkov, pridobljenih iz več različnih virov, vključno z aplikacijami za učenje, spletnimi viri, založniki in drugimi sistemi za namene učenja, da se ustvari celovit učni model posameznih učencev (Kurilovas 2019).

Katere prednosti personaliziranega učenja ponuja UI? V nadaljevanju predstavljamo nekatere:

a. Povečanje motivacije, angažiranosti in rezultatov učenja

Algoritmi strojnega učenja lahko s pomočjo digitalnih sledi učenca napovejo rezultate, kar omogoča prilagoditev učnih vsebin, ki jih temeljimo na preteklih rezultatih in individualnih ciljih. To vključuje scenarije, v katerih bi sistem prepoznal, da bi učenec lahko dejansko preskočil nekaj modulov,

da bi se podal na bolj celovito in manj linearno učno pot kot nekdo, ki bi mu morda manjkale osnovne veščine, povezane s to temo.

b. Preusmerimo na učinkovite učne vire in naloge

Učenci prejmejo natančno tiste učne (npr. spletne) vire, ki jih potrebujejo za zapolnitev vrzeli v znanju in razumevanju ter doseganju učnih ciljev, kar pomeni manj časa za učenje.

c. Avtomatiziramo dostop do učnih virov

Umetna inteligenca lahko učence vodi po personaliziranih učnih poteh, ki se samodejno prilagajajo znanju učenca, ki se določi glede na aktivnosti v digitalnem učnem okolju. Z ustreznimi kriteriji se lahko ponudijo učne vsebine, ki poskušajo ciljno zapolniti zaznane vrzeli v znanju.

d. Dinamično prilagodljive učne platforme

Učne platforme se sistemsko nadgradijo z zmožnostmi dinamičnega samoučenja iz vedenja, ki jih prikažejo učitelji in učenci v digitalnem svetu. Posledično ustvarijo ustrezno pedagogiko in samodejno prilagodijo okolja e-učenja tako, da ustrezajo pedagogiki (Almohammadi, Hagraš, Alghazzawi in Aldabbagh 2017).

Umetna inteligenca lahko učiteljem že vnaprej pripravi profile učencev, tako da so učitelji v boljšem položaju, da izkoristijo svoje usposabljanje in spretnosti za reševanje individualnih potreb teh učencev že od samega začetka, namesto da bi porabili tedne ali mesece za ugotavljanje učnih težav posameznih učencev.

2.3 Povezovanje učnih vsebin

Del personaliziranega učenja, prilagojenega individualnim potrebam, željam in interesom, so učne poti, ki jih je s pomočjo računalniške tehnologije mogoče prilagoditi številni in raznoliki populaciji učencev. Eden ključnih problemov je določitev učne poti, ki ji učenec sledi, da zaključi učni program. Obstoječe metode se na splošno opirajo na predhodno poznavanje vsebine ustvarjalca učne poti, ki tudi nastavi pogoje in omejitve za določanje zaporedja učnih gradiv.

Učinkovita uporaba umetne inteligence, podatkov in analitike ter strojnega učenja lahko učiteljem omogoči, da pripravijo ustrezno učno izkušnjo in ustvarijo prilagojene učne poti za vsakega učenca posebej. V tem primeru UI deluje kot povezovalac različnih učnih vsebin, kot so spletna učna gradiva, izobraževalni videoposnetki, naloge za preverjanje in druge oblike učnih vsebin. Z zbiranjem

podatkov o učnem procesu učenca UI določi, katero vsebino bo učenec v naslednjem koraku obravnaval.

Učenec tako deluje kot prejemnik, ki reagira na vnaprej določena zaporedja znanja, sledi učnim postopkom in potem izvaja učne dejavnosti, ki jih je UI določila za doseganje vnaprej določenih ciljev. Tipična implementacija takšnih učnih poti so zgodnja raziskovanja v inteligentnih tutorskih sistemih, ki so sedaj nadgrajena z UI (Fan in Pengcheng 2021). V prihodnje si lahko obetamo nadgradnjo personaliziranih učnih poti znotraj namenskih okolij, ki bodo skrbela za na učenca prilagojene vsebine in ki se bodo odzivala na učenca in njegov učni proces.

2.4 Učenci s posebnimi potrebami

Uporaba UI je še posebej pomembna za otroke, ki potrebujejo posebno obravnavo v izobraževanju. Ti otroci imajo večinoma eno od učnih težav, nekateri imajo okvare v socialnih veščinah, kot sta jezik in komunikacija, ali pa imajo težave pri branju, pisanju in računanju. Ob upoštevanju vsega tega je očitno, da tradicionalni pristop za otroke, ki se izobražujejo, ne velja. Zaradi svoje edinstvenosti se mora izobraževanje prilagoditi, da bo bolj učinkovito (Drigas in Ioannidou 2013). V nadaljevanju predstavljamo tri področja, kjer je smiselna uporaba UI.

- a) Personalizirano izobraževanje za vsakega učenca
Izobraževalne aplikacije z vključeno UI so običajno prilagojene in zabavnejše za otroke. Ker v aplikacijah običajno tudi ni sošolcev, s katerimi bi se primerjali, so zato učenci bolj samozavestni. Poleg tega se lahko učijo kjerkoli in kadarkoli.
- b) Povečanje dolžine pozornosti
Učenčeva pozornost je pri otrocih s posebnimi potrebami krajša, zato je uporaba aplikacij z vgrajeno UI smiselna. Te aplikacije namreč zaznajo, da učenčeva pozornost upada, zato lahko z različnimi ukrepi ponovno pridobijo učenčevo pozornost.
- c) Diferenciacija in individualizirane vsebine
UI pomaga otrokom s posebnimi potrebami z individualiziranim pristopom, ki temelji na izdelanem učnem profilu učenca. Na ta način lahko UI pripravi različne vsebine, ki krepijo področja, ki jih mora učenec izboljšati.

Ena od posledic uporabe UI v izobraževanju je lahko tudi inkluzivna pedagogika, ki vključuje vse otroke, ne glede na njihovo morebitno kategorizacijo glede posebnih potreb (Garg in Sharma 2020).

3 Prevajanje učnih virov

Na svetovnem spletu in v različnih repozitorijih učnih gradiv obstaja veliko visoko kvalitetnih e-gradiv. Njihova največja težava je, da so običajno pripravljena v jeziku avtorja e-gradiva. Posledično je dostopnost e-gradiva manjša, saj je za učitelje jezikovna pregrada običajno previsoka. Učitelji zato večkrat izgubljajo čas s pripravo lastnih e-gradiv, ta čas pa bi lahko izkoristili raje za kvalitetnejšo pripravo na pouk. To slednje se je pokazalo predvsem v covidni krizi, ki je pokazala, da so učitelji večkrat pregorevali za pripravo videoposnetkov za poučevanje na daljavo (Pestano Perez, Pesek, Zmazek in Lipovec 2020).

Prevajalniki med jeziki so v zadnjem obdobju zelo napredovali, predvsem po vključitvi umetne inteligence v delovanje prevajalnih algoritmov. Prevajalniki ne delujejo več na podlagi programiranih pravil, temveč se učijo iz korpusov prevajanih del, s pomočjo katerih izdelajo lastna pravila za prevajanje med jeziki.

Prevajalnice lahko koristimo tako, da nam trajno prevedejo e-gradivo v ciljni jezik. Ta način je priporočljiv sploh pri prevajanju strokovnih del, saj je vseeno treba strokovno pregledati prevod. Ker se prevajalniki učijo, bo potreba po takšnem strokovnem pregledu sčasoma vedno manjša.

Prevajalnice lahko odlično izkoristimo tudi za prevajanje video posnetkov, saj je tudi prepoznavna govora napredovala podobno hitro kot samo prevajanje. Prevajanje videoposnetkov tako poteka dvostopenjsko, in sicer najprej prepoznavna govora in nato prevajanje besedila v ciljni jezik. Z napredkom sintetiziranega govora bomo kmalu imeli tudi sinhronizirane videoposnetke, ki jih bo v celoti izvedel računalnik (X5Gon 2021).

Prevajanje pa je možno tudi v realnem času, kar lahko izkoristimo pri predavanjih skupinam, kjer so poslušalci iz različnih jezikovnih področij. Računalnik tako prevaja prosojnice ali druga e-gradiva.

Vsekakor napredek prevajalnikov omogoča uporabo e-gradiv iz različnih jezikov, kar bo predvsem pomagalo Evropi in državam, ki si ne morejo privoščiti priprave lastnih e-gradiv za vsa predmetna področja.

4 Preverjanje znanja na višjih taksonomskih ravneh

Preverjanje znanja s pomočjo računalnika je v večini primerov izvedeno s pomočjo zaprtih testnih nalog. Pri tem je jasno, da so ti testi primerni za preverjanje faktografskega znanja. Če pa ustrezno sestavimo vprašanja, pa lahko preverjamo tudi višje taksonomske ravni znanja.

4.1 Elektronsko preverjanje znanja

Na tržišču obstaja veliko avtorskih orodij, prav tako pa je mogoče najti tudi veliko prostodostopnih avtorskih orodij, ki podpirajo osnovne tipe vprašanj:

alternativni tip (npr. Da/Ne ali je res/ni res),
izbirni tip (*multiple choice*),
primerjalni tip,
tip dopolnjevanja,
numerični odgovor in
besedilo ali esej.

V zadnjem času lahko s pomočjo vtičnika H5P razširimo nabor interaktivnosti, a smo še zmeraj omejeni na tekstovne in številske vnose ali potegni-in-spusti (angl. *drag & drop*). Še zmeraj pa ne moremo sestaviti poljubne sheme, kot bi jo lahko v primeru klasičnega pisnega preverjanja znanja.

Elektronsko preverjanje znanja izključuje človeške faktorje in je objektivno ter enakovredno do vseh. Zapleti, ki se lahko pojavijo, so zaradi tehnoloških omejitev, ker ni mogoče vključiti vseh načinov preverjanja. Zaradi individualnih lastnosti vsakega posameznika je zmeraj mogoče, da komu takšen način preverjanja znanja ne ustreza in posledično dobi slabšo oceno, kot bi jo dobil pri drugačnem načinu preverjanja tega istega znanja. Čeprav je mogoče elektronsko preverjanje znanja tako za oceno kot za samopreverjanje, se zelo izkaže v slednjem (Krašna 2015).

Priprava vprašanj zahteva veliko miselnega in organizacijskega napora. Vprašanja morajo biti pripravljena tako, da jih učeči enoumno razumejo in da z njimi dosežemo objektivnost. Vprašanja sestavljamo tako, da težimo k pozitivni strategiji, negativna strategija zastavljanja vprašanj zahteva najprej pozitivno rešitev in potem njeno negacijo. V procesu testiranja, ki je za udeležence stresno, se tako lahko zgodi, da dosežajo slabše rezultate. Negativna strategija je lahko uporabna na tekmovanjih, kjer se zahteva ne samo znanje, ampak tudi nedvoumno razumevanje vprašanj. Preverjanje znanja za oceno pri predmetih naj vseeno temelji na pozitivni strategiji, ker sovпада z naravnim razmišljanjem in ne zahteva dodatnih mentalnih opravil (Krašna 2015).

Elektronsko testiranje je izvedeno zelo hitro. Študenti prejmejo rezultate običajno takoj po zaključku testa. Pri tem imajo možnost, da dobijo tudi razlago napačnih odgovorov in tako proces testiranja vključuje tudi učenje. Smiselno je, da dopustimo učečim, da si sami izberejo vrstni red odgovarjanja na vprašanja. S tem najprej odgovorijo na vprašanja, ki jih zagotovo znajo in od njih zahtevajo manj miselnega napora, potem pa se posvetijo drugim vprašanjem, ki jih rešijo s pomočjo znanih dejstev in sklepanja. Ker so za elektronsko preverjanje primerna vprašanja zaprtega tipa, je treba razmisliti, koliko časa bo posamezno vprašanje zahtevalo in temu ustrezno prilagoditi čas testiranja. Če ne upoštevamo tega in podaljšamo čas testiranja preko, za večino, normalne mere, se pričnejo kazati negativne posledice predolgega časa in spreminjanje pravih odgovorov v napačne (preveč razmišljanja, angl. *overthinking*). Ob uvedbi HTML v5 pa dobimo tudi dodatne možnosti za reševanje problemov, ki včasih niso bile tako elegantne in jih je bilo treba predelati v neko drugo, bolj tradicionalno, obliko.

4.2 Višje taksonomske stopnje preverjanja znanja

Zelo preprosto je elektronsko preverjati faktografsko znanje. Čeprav lahko slišimo polemike, da faktografskega znanja naj ne bi več učili, ker jim je nemudoma (na mobilnih telefonih) zmeraj dosegljivo. Vseeno pa ugotovljamo, da brez teh osnov tudi logično sklepanje ne daje dobrih rezultatov. Učeči, pri katerih smo uporabili metodo obrnjenega učenja, so običajno pregledali le literaturo, ki je povsem očitna, v globino problema pa se niso osredotočili. Tudi vprašanja, ki naj bi jih napotila na boljše poznavanje problema, se jim niso zdela pomembna. Videnje problema samo z njihovega zornega kota je bilo tako površno in ozko.

		Kompleksnost				
Odprtost	Akcija	I	II	III	IV	V
	Izbiranje	<i>res / ni res</i>	<i>alternativne izbire</i>	<i>več izbir</i>	<i>implicitni odgovori</i>	<i>nivoji zanesljivosti</i>
	Identifikacija	<i>večkratni res / ni res</i>	<i>da / ne z razlago</i>	<i>več odgovorov</i>	<i>več odgovorov s slikami</i>	<i>izbira delov slike</i>
	Povezava	<i>povezovanje</i>	<i>kategorizacija</i>	<i>vrstni red</i>	<i>sestavi prioritete</i>	<i>sestava dokaza</i>
	Popravljanje	<i>odstrani tujek iz seznama</i>	<i>pomešane besede</i>	<i>najdi napačni odgovor</i>	<i>najdi napake na sliki</i>	<i>reševanje problema</i>
	Dopolnjevanje	<i>izpolni praznine</i>	<i>izpolni praznine s padajočega menija</i>	<i>vstavljanje v formularje</i>	<i>izračunaj odgovor</i>	<i>razumevanje govora</i>
	Izdelava	<i>simulacija laboratorija</i>	<i>analiziraj odprte odgovore</i>	<i>poveži koncepte na načrtu</i>	<i>nariši veljavno sekvenco</i>	<i>zariši področja na sliki</i>
	Projekt	<i>odprti odgovori / esej</i>	<i>poravnava besed</i>	<i>tabelarične naloge</i>	<i>predstvitve nalog</i>	<i>multimedijski projekt</i>
	Sodelovanje	<i>diskusija v forumu</i>	<i>delitev dokumentov in pregled</i>	<i>skupne objave</i>	<i>blog skupine z deljenimi vlogami</i>	<i>reševanje problema v skupini</i>

Slika 6: Kompleksnost proti odprtosti v testih in nalogah

(De Praetere n.d.)

Če želimo preverjati višje taksonomske stopnje, pa moramo uporabiti računalniško prilagodljivo testiranje (CAT – *Computer Adaptive Tests*), ki pa trenutno še ni podprto z avtorskimi orodji. Prilagodljivo testiranje je zmeraj v uporabi pri ustnem preverjanju znanj, kjer učitelj s podvprašanji dobi bolj podrobno sliko učenčevega znanja. Zaloga nalog, ki jih lahko odgovarja učeči na preverjanju znanja, niso za preverjanje višjih taksonomskih stopenj, če jih ni mogoče povezati v smiselno celoto. Učitelj v ustnem zagovoru zlahka pridobi znanje, sposobnosti in kompetence od učečega. Učeči so individuumi in procesirajo pridobljene informacije na različne načine in tako pridobijo znanje iz določenega področja (Costello in Mundy 2009) in temu ustrezno učitelj prilagodi ocenjevanje.

Prilagodljivost je sposobnost za »pripravo težavnostne stopnje vsakega vprašanja glede na pravilnost prej pridobljenih odgovorov« (Basu, Cheng, Prasad in Rao 2007). Prilagodljive tehnike so bile razvite za omejene sisteme že pred razvojem svetovnega spleta (Barra, Iannaccone, Palmieri in Scarano 2002) in tako lahko najdemo podatke, da je bil prvi prilagodljivi test predlagan (od Lorda) že leta 1980. Kasneje so uporabljali prilagodljive teste pri računalniškem testiranju (CBT – *Computer Based Test*) vedno pogosteje. V literaturi lahko najdemo različni pojmovanji za računalniško testiranje: CAA (*Computer-Adaptive Assessment*) in CAT (*Computer Adaptive Testing*). Pri prilagodljivih e-testih se število in vrsta vprašanj prilagaja glede na pravilnost

odgovorov prejšnjih vprašanj in posledično sposobnosti testiranega (Abdullah in Cooley 2002; Chen in Wang 2010). Takšni testi so hitrejši za administracijo, zmanjšujejo stroške za izvedbo testa, značilno zmanjšajo število vprašanj (celo za 50 % (Cheng, Rodrigez in Basu 2009)), so prijazni študentu in niso manj zanesljivi od neprilagojenih testov (Basu, Cheng, Prasad in Rao 2007) (Abdullah in Cooley 2002). Največja pomanjkljivost teh testov pa je modeliranje s pomočjo verjetnostne funkcije (Cheng, Rodrigez in Basu 2009). Prav tako tak način testiranja ne rešuje problemov računalniškega testiranja: cena tehnologije, napačno delovanje ali nedelovanje tehnologije, učenje administriranja in študentskih IKT večšin. Teorija, ki stoji za prilagojenim testiranjem, je model študenta (SM – *Student model*) (Chen in Zhang 2008), ki modelira obnašanje in karakteristike študenta ter (IRT – *Item Response Theory*) (Chen in Wang 2008 in 2010; Guzmán in Conejo 2005), ki je robustna dobro znana psihomotorična teorija ocenjevanja v izobraževanju. Slednja je pogoj za ocenjevanje študentovega znanja, izbiro naslednjega vprašanja, mora se ovrednotiti v vsakem trenutku in odloča o zaključitvi testiranja (Guzmán in Conejo 2005). Nekateri avtorji ti dve teoriji (SM in IRT) razumejo kot CAT teorijo (*Computer Adaptive Testing*) (Danieliené in Telešius 2008).

Pri reševanju problema naprednega elektronskega testiranja znanja se moramo približati ustnemu zagovoru, ki bi ga izvedel učitelj. To lahko naredimo le s pomočjo metod umetne inteligence in ekspertnih sistemov v izobraževanju (Slika 4). Ker še zmeraj nimamo na voljo veliko sistemov, ki bi jih lahko uporabili za napredno testiranje znanja, si pomagajo s prilagodljivim testiranjem tako, da pripravimo »inovativne spletne sisteme, ki postavljajo naslednja vprašanja glede na odgovore prejšnjih vprašanj« (Basu, Cheng, Prasad in Rao 2007). Produkti, ki jih vseeno lahko najdemo v literaturi, so: Test++ sistemi, ki temeljijo na teoriji iger (Barra, Iannaccone, Palmieri in Scarano 2002), SIETTE za izdelavo testov za samopreverjanje znanja (Guzmán in Conejo 2005), AITS sistemi, ki uporabljajo tehnike umetne inteligence (Hatzilygeroudis, Koutsojannis in Papavlasopoulos 2006), sisteme, ki uporabljajo tehnologijo inteligentnih agentov (Song, Chen in Gao 2011), nekateri pa uporabljajo tehnike primerjanja (Danieliené in Telešius 2008).

Razlogi za uporabo CAT so samoumevni. Uporabni niso le za preverjanje znanja, ampak tudi za učenje. Če takšen sistem ugotovi nerazumevanje v odgovorih študenta, lahko poskusi preveriti to znanje na drugačen način. Študent lahko pokaže, da snov v resnici obvlada in da mu predhodno postavljeno vprašanje v resnici ni bilo razumljivo v trenutnem kontekstu. Z dodatnim razjasnitvenim vprašanjem pa

študent dobi tudi povratno informacijo, kakšen odgovor se pričakuje na originalno vprašanje, če je snov usvojil. Tak pristop (paradigmo) imenujemo tudi učenje s pomočjo ocenjevanja. Prične se s postavitvijo vprašanja srednje stopnje zahtevnosti in izbira pot skozi vprašanja glede na študentove odgovore. Struktura vprašanj pa je lahko dinamična ali pa determinirana (npr. v obliki drevesne strukture) (Cheng, Rodrigez in Basu 2009). Ocena se izračuna glede na odgovore in pot zastavljenih vprašanj. Teorija CAT zagotavlja, da ocena študentovega znanja ne variira glede na število postavljenih vprašanj v procesu ocenjevanja (Danieliené in Telešius 2008).

4.3 Načrtovanje računalniških prilagodljivih testov

Za izdelavo prilagodljivih testov mora učitelj pripraviti načrt možnih vprašanj in odgovorov – test diagram prehoda stanj. V našem primeru predlagamo spremembo diagrama prehajanja stanj, kot ga predlaga metoda modeliranja (UML – *Unified Modeling Language*), da uporabimo standardne gradnike in vključimo dodatne, ki jih potrebujemo za modeliranje našega pristopa. V predlaganem primeru smo vprašanja modelirali z zaokroženimi pravokotniki, za meta-vprašanja smo uporabili zaokrožene sive pravokotnike. Pravokotnike uporabljamo kot pogoje za prehode in pravokotniki, ki združujejo več vprašanj, ponazarjajo nabor vprašanj iz nekega področja. Vprašanja iz nabora vprašanj se lahko zastavijo v poljubnem vrstnem redu in v poljubni količini.

Primer prilagodljivega ocenjevanja: Kako nadgraditi računalnik (Krašna, Repnik, Bratina in Kaučič 2012)

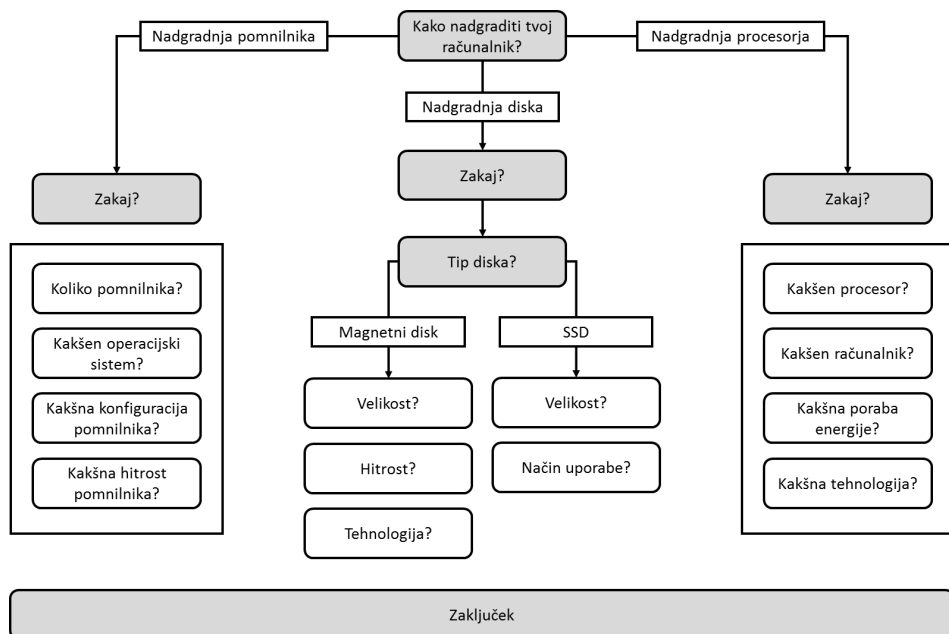
Za lažje razumevanje smo pripravili primer, kako pripraviti strukturo naprednega preverjanja znanja. Primer je s področja računalništva in ocenjuje znanje (in kompetence) študenta, če je postavljen pred nalogo, kako nadgraditi svoj računalnik. Da je študent učinkovit pri tem delu, mora poznati aparaturno opremo svojega računalnika. V preteklosti se je takšno vprašanje izkazalo kot najboljše za ugotovitev razlike pri kompetencah študenta (ali študent razume ali pa se je le naučil) in profesor že v nekaj vprašanjih dobi čisto natančen vpogled v kompetence študenta na tem področju.

V glavnem lahko nadgradimo računalnik na treh področjih. Seveda bi bil trivialni odgovor tudi nakup novega računalnika, ki pa ga zaradi testiranja ne dovoljujemo. Tako lahko študent izbere: nadgradnjo pomnilnika, nadgradnjo diska ali nadgradnjo procesorja. Če študent izbere, da bo nadgradil pomnilnik potem dobi vprašanja, ki se nanašajo na pomnilnik (koliko pomnilnika namerava dodati, kakšen operacijski sistem ima, kakšno ima trenutno konfiguracijo pomnilnika, kakšno hitrost pomnilnika ima. Seveda ni potrebno, da zastavimo vsa vprašanja, ampak jih lahko zastavimo več, če ugotovimo, da študent pri katerem vprašanju ni uspešen. Obstajajo pa nekatere medsebojne omejitve, ki jih računalnik lahko preprosto zazna (nesmiselna je nadgradnja pomnilnika na več kot 4 Gbyte, če ima 32-bitni operacijski sistem, nesmiselna je nadgradnja s hitrejšim pomnilnikom, kot ga matična plošča podpira itd.). S temi omejitvami lahko postavimo dodatna vprašanja za ocenjevanje višjih nivojev razumevanja.

Druga opcija je nadgradnja diska, kjer je možno izbrati magnetni ali pa elektronski disk (SSD – *Solid State Disk*). Če se študent odloči, da bi vgradil nov magnetni disk, bo dobil tri vprašanja: kakšno velikost diska namerava vgraditi, kako hitro se disk vrti (merjeno v vrtljajih na minuto – *RPM Revolution Per Minute*) in kakšno tehnologijo priklopa diska želi (SATA, mSATA, SAS itd.). Vsako vprašanje ima lahko pravilen in napačen odgovor glede na kombinacijo izbranih možnosti in tako se teoretično lahko zgodi, da bi bil vsak posamezni študentov odgovor sicer pravilen, ampak kombinacija pa ne. Pri SSD diskih lahko postavimo podobno število vprašanj (velikost, za kaj ga bo uporabljal, način priklopa, hitrost prenosa podatkov itd.). Koliko prostora vzame namestitvev operacijskega sistema in programov, ki jih bo uporabljal, ter predvidevanje rasti podatkov na disku za časovno obdobje med dvema namestitvama operacijskega sistema. Seveda so te stvari zmeraj vezane tudi na ceno, ki bi jo lahko prav tako vključili v kakšno vprašanje.

Če pa se odloči študent za tretjo opcijo, nadgradnjo procesorja, pa mora poznati, kateri procesorji so podprti na njegovi osnovni plošči, kateri proizvajalec procesorja je podrt, ali je mogoče menjati procesor (lahko je procesor že nameščen na matični plošči), kakšno ima napajanje računalnika, ker nekateri procesorji zahtevajo zelo veliko električne energije za svoje delovanje. Lahko postavljamo tudi tehnološka vprašanja in vprašanja glede namena procesorja, ki naj bi ga nadgradili.

Iz napisanega je mogoče sestaviti shemo (ni popolna, je pa dobra za ponazoritev tega, kar smo prej pisali), ki pomaga razumeti potek ocenjevanja.



Slika 7: Napredno preverjanje znanja, nadgradnja računalnika

(Krašna, Repnik, Bratina in Kaučič 2012)

4.3.1 Razmišljanja o računalniških prilagodljivih testih

Računalniški prilagodljivi testi niso nekaj novega, so pa zelo redko uporabljeni v naših šolah. Ne moremo trditi, da jih učitelji ne uporabljajo, ker nimajo dovolj velikega znanja za njihovo pripravo. Ustno preverjanje znanja je prilagodljivo v sami osnovi in vsak učitelj ga obvlada. Problem je najverjetneje v tem, da še ne obstajajo preprosta orodja za izdelavo takšnih prilagodljivih testov. Očitno bo potrebno še nekaj časa, da bodo LMS orodja dobila module za izdelavo prilagodljivih testov in da bodo učitelji potem te teste tudi uporabljali. Ovir za izdelavo avtorskih orodij ni, ker so zahteve znane. Pri pripravi načrta za izdelavo naprednih prilagodljivih testov pa smo ugotovili še eno dodatno zanimivost. Neizpodbitno priprava prilagodljivih testov privede to spoznanja, kako pripraviti bolj primerna učna gradiva. Z opazovanjem sheme CAT vidimo analogijo z učnimi gradivi. Razlika je le ta, da pri preverjanju je dovolj, da študent pride po eni poti do cilja, pri učenju pa mora prehoditi vse poti.

5 Temeljne učne vsebine umetne inteligence v obveznem šolanju

Intelligentni agenti postajajo vedno boljši sogovorniki, nekateri med njimi so že opravili Turingov test. Roboti na delovnem mestu postajajo vedno pogostejši. V Severni Ameriki že preizkušajo popolnoma avtonomne avtomobile, tudi na področju zabave je umetna inteligenca vedno bolj prisotna, od predlaganja video vsebin do pisanja člankov v priznanih časopisih (GPT-3 2020). Posledično bo potreba po demistificiranju UI v izobraževanju vedno večja.

Vse večji prispevek tehnologij umetne inteligence k vsakdanjemu življenju in družbeni preobrti na obzorju z nadaljnjim razvojem teh tehnologij postavljajo vprašanje, ali bi morali temeljna znanja učnih vsebin umetne inteligence poučevati tudi v osnovni šoli. Če želimo, da se naši otroci informirano odločajo o vplivu UI na njihova življenja in družbo, je odgovor pritrdilen.

Vendar je za razumevanje osnovnih konceptov UI potrebno osnovno znanje računalništva, ki pa si tudi komaj utira pot v obvezne kurikulumne obveznega šolanja. Situacija je po svoje paradoksalna, saj družba postaja vse bolj odvisna od računalniških tehnologij, hkrati pa je uvajanje računalniških temeljnih vsebin zelo počasno. Pozabljamo pa še na aktivno prebivalstvo, ki o vsebinah UI ni bilo poučeno, se pa mora o tem že odločiti oz. delovati skupaj z UI tehnologijami. Poučevanje temeljnih vsebin UI bi zatorej morali izvesti celostno, kar pomeni, da bi morali sedaj nasloviti tako učence kot tudi aktivno prebivalstvo, kasneje pa je dovolj, da se poučujejo samo še učenci. Katere temeljne vsebine UI pa bi morali poučevati?

Touretzky in Gardner-McCune govorita o petih velikih konceptih (Touretzky in Gardner-McCune 2022, v tisku), ki so:

1. *zaznavanje*, računalniki zaznavajo svet z uporabo senzorjev,
2. *predstavitev in sklepanje*, agenti gradijo predstavitve sveta in jih uporabljajo za sklepanje,
3. Učenje, računalniki se lahko učijo iz podatkov,
4. naravna interakcija, intelligentni agenti potrebujejo veliko različnih vrst znanja, da lahko naravno medsebojno delujejo s človekom,
5. družbeni vpliv, UI lahko vpliva na družbo na dober in slab način.

Nekatere vsebine, povezane z UI, lahko začnemo poučevati že v nižjih razredih osnovne šole, kjer si lahko pomagamo z aktivnostmi, ki so dobile navdih pri gibanju računalništvo brez računalnikov (angl. *Computer science unplugged*). Avtorja Lindner in Seegerer sta pripravila 5 aktivnosti (Lindner in Seegerer 2020), ki jih izvedemo brez računalnika in nas skozi aktivnosti poučijo o nekaterih konceptih UI, kot so klasifikacija z odločitvenimi drevesi, okrepiteveno učenje in delovanje Turingovega testa.

6 Zaključek

Prihodnji razvoj področja umetne inteligence v izobraževanju mora voditi k iterativnemu razvoju na učenca usmerjenega učenja, ki je podkrepljeno s podatki in je personalizirano. Ponovno velja poudariti, da umetna inteligenca ne bo nadomestila učiteljev. Pogosto citiran izrek Thornburga, da »vsak učitelj, ki ga lahko zamenja računalnik, si to zasluži«, je sporen, hkrati pa poudarja dejstvo, da trenutno ne obstaja nobena tehnologija, ki bi lahko posnemala, kaj šele izpodrinila, nešteto spretnosti in lastnosti odličnega učitelja. Pomembnost učiteljeve vloge še zdaleč ni postala obstranska s pojavom teh novih tehnologij. Obet umetne inteligence za učitelje je v njeni zmožnosti povečati učinkovitost njihovega poučevanja in jim pomagati pri zagotavljanju idealnih pogojev, v katerih se lahko njihovi učenci učijo in rastejo (Duggan 2020).

Umetna inteligenca bo učitelja osvobodila najbolj zamudnih in enoličnih nalog, kot sta ocenjevanje izpitov in preverjanje plagiatorstva v dokumentih. S pomočjo personaliziranih učnih vsebin in z umetno inteligenco kot učiteljevo asistentko, ki učitelju pomaga z odpravo pisanja zamudnih poročil, je lahko umetna inteligenca preobrazbena in osvobajajoča inovacija v izobraževanju.

Viri in literatura

- Abdullah, S. C. in Cooley, R. E. (2002). »Using Simulated Students to Evaluate an Adaptive Testing System«. *International Conference on Computers in Education*. Auckland, Nova Zelandija.
- Almohammadi, K., Hagra, H., Alghazzawi, D. in Aldabbagh, G. (2017). »A survey of artificial intelligence techniques employed for adaptive educational systems within e-learning platforms«. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 7, str. 47–64.
- Barra, M., Iannaccone, A., Palmieri, G. in Scarano, V. (2002). »Test C++: An Adaptive Training System on the Internet«. *ISCC'02*. Taormina- Giardini Naxos, Italija.
- Basu, A., Cheng, I., Prasad, M. in Rao, G. (2007). »Multimedia Adaptive Computer based Testing: An Overview«. *ICAME 2007*. Beijing.

- Bloom, B. (1984). »The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring«. *Educational Researcher*, 4–16.
- Chen, S. in Zhang, J. (2008). »Ability Assessment based on CAT in Adaptive Learning System«. *Int. Workshop on Education Technology and Training & Int. Workshop on Geoscience and Remote Sensing*, Šanghaj, Kitajska.
- Chen, J. in Wang, L. (2010). »Computerized Adaptive Testing: A New Trend in Language Testing«. *International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*. Xi'an, Kitajska. URL = <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05641509>.
- Cheng, I., Rodriguez, S. in Basu, A. (2009). »Multimedia and Games incorporating Student Modeling for Education«. *Int. Workshop on Technology for Education (T4E)*. Bangalode.
- Costello, R. in Mundy, D. P. (2009). »The Adaptive Intelligent Personalised Learning Environment«. *9th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies*.
- Danielienė, R. in Telešius, E. (2008). »Analysis of Computer-Based Testing Systems«. *HSI 2008*. Krakow, Poljska.
- De Praetere, T. (n.d.). »E-Learning: Learning through the use of devices« (17. januar 2012), URL = <http://knol.google.com/k/e-learning#>.
- Drigas, A. in Ioannidou, R. (2013). »A Review on Artificial Intelligence in Special Education. Information Systems, E-learning, and Knowledge Management Research«. *WSKS 2011*. Berlin: Springer.
- Duggan, S. (2020). »AI in Education: Change at the Speed of Learning«. *Moscow: UNESCO IITE Policy Brief*.
- Fan, O. in Pengcheng, J. (2021). »Artificial Intelligence in Education: The Three Paradigms«. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100020.
- Garg, S. in Sharma, S. (2020). »Impact of Artificial Intelligence in Special Need Education to Promote Inclusive Pedagogy«. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(7), str. 523–527.
- Gerlič, I. (2000). *Sodobna informacijska tehnologija v izobraževanju*. Ljubljana: DZS.
- GPT-3. (2020). »A robot wrote this entire article. Are you scared yet, human?« *The Guardian*. URL = <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/sep/08/robot-wrote-this-article-gpt-3>.
- Guzmán, E. in Conejo, R. (2005). »Self-Assessment in a Feasible, Adaptive Web-Based Testing System«. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), str. 688–695.
- Haage, M., Piperagkas, G., Papadopoulos, C., Mariolis, I., Malec, J., Bekiroglu, Y., ... Tzovaras, D. (2017). »Teaching Assembly by Demonstration Using Advanced Human Robot Interaction and a Knowledge Integration Framework«. *Procedia Manufacturing*, 11, str. 164–173.
- Hatzilygeroudis, I., Koutsojannis, C. in Papavlasopoulos, C. (2006). »Knowledge-Based Adaptive Assessment in a Web-Based Intelligent Educational System«. *6th Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*. Kerkrade, Nizozemska.
- Krašna, M. (2010). *Multimedija v izobraževanju*. Nova Gorica: Educa.
- Krašna, M., Repnik, R., Bratina, T. in Kaučič, B. (2012). »Advanced types of electronic testing of student's performance«. *MIPRO 2012*. Opatija.
- Krašna, M. (2015). *Izobraževanje v digitalnem svetu*. Maribor: Zora.
- Kurilovas, E. (2019). »Advanced machine learning approaches to personalise learning: learning analytics and decision making«. *Behaviour & Information Technology*, 38(4), str. 410–421.
- Lindner, A. in Seegerer, S. (2020). *AI Unplugged - Unplugging Artificial Intelligence*. Erlangen: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Pestano Perez, M., Pesek, I., Zmazek, B. in Lipovec, A. (2020). »Video explanations as a useful digital source of education in the COVID 19 situation«. *Revija za elementarno izobraževanje*, 13(4).
- Robson, K. (2010). »RSA ANIMATE: Changing Education Paradigms«. *Youtube*. URL = <https://www.youtube.com/watch?v=zDZFcDGpL4U>.
- Song, J., Chen, W. in Gao, D. (2011). »The Adaptive On-line Exam System based on Agent. Int.«. *Conf. on Future Computer Science and Education*. Xi'an, Kitajska.
- Touretzky, D. in Gardner-McCune, C. (2022, v tisku). »Artificial Intelligence Thinking in K-12«. V S.-C. Kong in H. Aberson (ur.), *Computational Thinking in K-12: Artificial Intelligence Literacy and Physical Computing*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

- Woolf, B. P. (1990). *AI in Education*. New York: John Wiley & Sons. URL = <https://web.cs.umass.edu/publication/docs/1991/UM-CS-1991-037.pdf>.
- Xie, H., Hwang, G.-J. in Wang, C.-C. (2019). »Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A systematic review of journal publications from 2007 to 2017«. *Computers & Education*, 140, 103599.
- X5Gon. (2021). Dostopno na X5Gon. URL = <https://www.x5gon.org/>.

