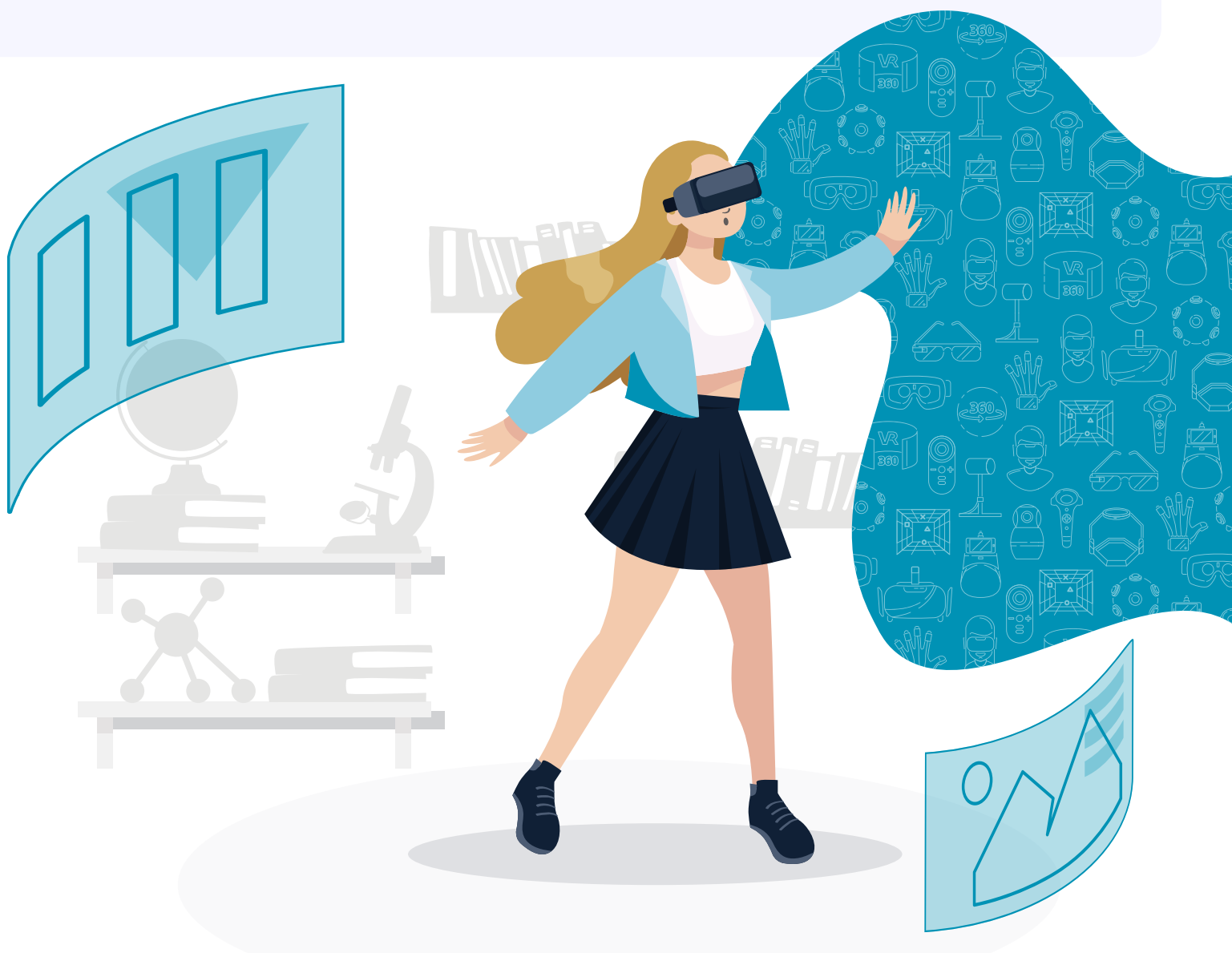




Uvajanje razširjene resničnosti v izobraževanje: od teorije do smernic za prakso



Uvajanje razširjene resničnosti v izobraževanje: od teorije do smernic za prakso

Maruša Laure, Špela Pučko, Adriana Anžel, Ivona Popović,
Anja Pahor, Tine BertonceL, Klemen Pečnik

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 277355011

ISBN 978-961-243-487-8 (PDF)

URL: <https://lmmfe.org/TeachXR-SmerniceZaXR>

Copyright © 2026 Založba FE. All rights reserved.

Razmnoževanje (tudi fotokopiranje) dela v celoti ali po delih brez predhodnega dovoljenja
Založbe FE prepovedano.

Naslov: Uvajanje razširjene resničnosti v izobraževanje: od teorije do smernic za prakso

Založnik: Založba FE, Ljubljana

Izdajatelj: UL Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana

Urednik: prof. dr. Sašo Tomažič

Avtorji: Maruša Laure, Špela Pučko, Adriana Anžel, Ivona Popović, Anja Pahor, Tine Bertancel,
Klemen Pečnik

Urednici monografije: Maruša Laure, Žana Juvan

Lektura: Tina Sovič

Grafično oblikovanje: Žana Juvan

Kraj in leto izida: Ljubljana, 2026

1. elektronska izdaja

Recenzije monografije

Recenzija - Aleksandra Šindić-Radić

Strokovno-didaktična monografija *Uvajanje razširjene resničnosti v izobraževanje: od teorije do smernic za prakso* predstavlja sodoben in teoretično utemeljen prispevek k razumevanju vloge tehnologij razširjene resničnosti (XR) v vzgojno-izobraževalnem kontekstu. Avtorska skupina pristopa k temi interdisciplinarno, saj povezuje spoznanja iz pedagogike, didaktike, razvojne psihologije in izobraževalne tehnologije, kar omogoča celovito obravnavo pojava, ki je v sodobni literaturi še vedno v fazi intenzivnega razvoja.

Monografija je logično in jasno strukturirana. Uvodna poglavja so usmerjena v terminološko in konceptualno razmejitev ključnih pojmov – navidezne (virtualne), obogatene in mešane resničnosti – pri čemer se posebej izpostavlja natančna opredelitev pojma razširjene resničnosti (XR) kot nadrejenega koncepta. Ta del predstavlja pomemben prispevek k terminološki jasnosti na področju, kjer je v literaturi še vedno prisotna določena konceptualna neenotnost, zlasti pri prevajanju in uporabi izrazov med angleškim in slovenskim jezikom. V tem smislu bi doslednejše poenotenje terminologije (npr. dosledna uporaba izraza *navidezna resničnost* ter ustreznih izpeljank, kot je *navidezno okolje*) dodatno okrepilo notranjo koherentnost besedila. Hkrati se kaže tudi vzporedna uporaba izrazov *navidezna resničnost* in *virtualna resničnost*, kar odpira prostor za nadaljnje terminološko usklajevanje in večjo konceptualno natančnost.

Monografija je tudi pregledno strukturirana ter vizualno podprta z ustreznimi grafičnimi prikazi, slikami in shemami, ki pomembno prispevajo k razumljivosti vsebin ter didaktični vrednosti besedila. Vizualni elementi so smiselno integrirani v vsebino in dodatno podpirajo razlago kompleksnih konceptov, kar povečuje uporabnost monografije tako v akademskem kot tudi v pedagoškem kontekstu.

Sistematičen pregled razvoja XR-tehnologij ter analiza njihovih pedagoških možnosti in omejitev je predstavljen v teoretičnem delu monografije. Avtorji se uspešno izogonejo tehnološkemu optimizmu, saj poudarjajo, da pedagoška vrednost tehnologije ni inherentna, temveč je odvisna od načina njene didaktične integracije. Tak pristop je skladen s sodobnimi konstruktivističnimi in sociokulturnimi teorijami učenja, ki poudarjajo aktivno vlogo učenca ter pomen kontekstualiziranega učenja.

Posebno vrednost monografije predstavlja obravnava koristi in tveganj uporabe XR-tehnologij, ki temelji na relevantnih empiričnih raziskavah in vključuje kognitivne, motivacijske, senzomotorične ter psihosocialne vidike razvoja otrok in mladostnikov. Avtorji v monografiji sistematično izpostavljajo tudi etične vidike ter potencialna tveganja uporabe XR-tehnologij, kar dodatno krepi kritičnost in znanstveno uravnoteženost obravnave. Hkrati opozarjanje na možne omejitve, kot sta kognitivna obremenitev ali vpliv na zaznavanje realnosti, prispeva k uravnoteženemu in kritičnemu pristopu k uporabi tehnologije v izobraževanju.

V didaktičnem smislu se monografija opira na sodobne okvire integracije tehnologije v pouk, kot sta modela TPACK in SAMR. Njuna uporaba omogoča razumevanje ne le tehnične rabe tehnologije, temveč tudi pedagoške logike njene implementacije, s čimer se presega zgolj instrumentalni pristop.

Pomemben prispevek monografije se kaže v zaključnem delu, kjer so podane konkretne in uporabne smernice za implementacijo XR-tehnologij v vzgojno-izobraževalni proces. Smernice temeljijo na teoretičnih izhodiščih in empiričnih ugotovitvah ter imajo jasno praktično vrednost za učitelje, strokovne delavce in oblikovalce izobraževalnih politik. Na ta način monografija uspešno povezuje teoretično in praktično raven, kar je ena ključnih značilnosti kakovostnih strokovnih publikacij na področju pedagogike. Novost monografije kaže v integrativnem pristopu, ki povezuje različne razsežnosti uporabe XR-tehnologij – konceptualno, razvojno, didaktično, etično in regulatorno. Pri tem je posebej pomembno poudariti, da gre za razmeroma novo, hitro razvijajoče se in raziskovalno še vedno odprto področje, ki v izobraževalnem prostoru odpira številna konceptualna in praktična vprašanja. Avtorji se zato uspešno umeščajo v aktualne znanstvene razprave ter prispevajo k njihovemu nadaljnjemu razvoju. Posebej pomembno je, da tehnologija ni obravnavana izolirano, temveč v okviru širšega vzgojno-izobraževalnega konteksta in ciljev izobraževanja, kar prispeva k razvoju sodobnih teoretičnih okvirov za razumevanje digitalne transformacije izobraževanja.

Sklepno monografija predstavlja dragocen prispevek k sodobni pedagoški literaturi in jo je mogoče priporočiti širokemu krogu bralcev – od raziskovalcev in učiteljev do oblikovalcev izobraževalnih politik. Njena največja vrednost se kaže v uravnoteženem pristopu, terminološki natančnosti in jasni usmerjenosti k odgovorni in premišljeni integraciji tehnologije v izobraževalni proces. Posebej pomembno je, da gre za prvo delo, ki na sistematičen način obravnava to problematiko v Sloveniji, oziroma v slovenskem govornem prostoru na tak način.

prof. dr. Aleksandra Šindić-Radić

Filozofska fakulteta,

Univerza v Banja Luki

aleksandra.sindic-radic@ff.unibl.org

Recenzija - Maja Pušnik

Monografija obravnava aktualno in hitro razvijajoče se področje uporabe tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem prostoru. Delo je vsebinsko dobro strukturirano, pregledno napisano in jasno povezuje teoretična izhodišča s praktičnimi implikacijami za pedagoško prakso. Posebna vrednost monografije je v tem, da poleg predstavitve konceptov in razvoja tehnologije ponuja tudi konkretne smernice za njeno odgovorno uporabo v izobraževalnem procesu. Besedilo je na splošno jasno, strokovno utemeljeno in podprto z relevantnimi referencami iz področij izobraževalne tehnologije, razvojne psihologije in raziskav potopitvenih tehnologij. Publikacija tako predstavlja pomemben prispevek k razpravi o smiselni in odgovorni integraciji razširjene resničnosti v izobraževanje.

Monografija je strukturirana v več tematskih poglavij, ki bralca postopoma vodijo od teoretičnih temeljev tehnologije razširjene resničnosti do konkretnih smernic za njeno uporabo v izobraževalni praksi.

1. Kaj je razširjena resničnost? - Prvo poglavje predstavi osnovni koncept razširjene resničnosti ter razlikovanje med razširjeno, virtualno in mešano resničnostjo. Pojasni tehnološke in zaznavne značilnosti teh okolij ter njihov vpliv na uporabniško izkušnjo.

2. Razvoj razširjene resničnosti - V drugem poglavju je predstavljen zgodovinski razvoj tehnologij razširjene resničnosti, od zgodnjih raziskovalnih prototipov do sodobnih komercialnih in izobraževalnih aplikacij. Poseben poudarek je namenjen tehnološkemu napredku ter širjenju uporabe teh tehnologij v različnih družbenih področjih.

3. Koristi in tveganja uporabe tehnologij razširjene resničnosti - Poglavje obravnava potencialne prednosti uporabe razširjene resničnosti, kot so večja vključenost učencev, možnost vizualizacije kompleksnih pojavov ter izkustveno učenje. Hkrati avtorji kritično obravnavajo tudi možna tveganja.

4. Vloga in potencial razširjene resničnosti v izobraževanju - Poglavje analizira različne paradigme razumevanja vloge razširjene resničnosti v izobraževanju. Na eni strani se pojavljajo pogledi, ki tehnologijo razumejo kot sredstvo za avtomatizacijo učnega procesa in transformacijo učiteljeve vloge. Na drugi strani so predstavljeni kritični pristopi, ki opozarjajo na tveganja kognitivne preobremenjenosti, etične dileme ter možne razvojne vplive na učeče se. Med obema poloma se oblikuje tretje izhodišče, ki razširjeno resničnost razume kot podporno orodje pedagoškemu delu. V tem okviru tehnologija razširja učne možnosti in omogoča nove oblike izkustvenega učenja, ne da bi pri tem nadomestila vlogo učitelja. Poglavje tako odpira razmislek o pogojih, pod katerimi je razširjeno resničnost mogoče odgovorno in smiselno vključevati v sodobno, na učenca osredotočeno izobraževalno prakso.

5. Smernice za uporabo tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu - V zaključnem delu monografije so predstavljene praktične smernice za uporabo tehnologij razširjene resničnosti v izobraževanju. Avtorji poudarjajo, da mora biti uporaba teh tehnologij pedagoško premišljena, razvojno ustrezna in varnostno utemeljena. Ker dolgoročni vplivi pri otrocih in mladostnikih še niso v celoti raziskani, številni

avtorji zagovarjajo previdnostno načelo ter postopno in nadzorovano uvajanje teh tehnologij v šolski prostor.

Predstavljena so razvojno diferencirana priporočila glede časovne omejitve uporabe, stopnje nadzora in vsebinskih usmeritev za različne starostne skupine. Smernice obravnavajo širše pogoje pedagoške in varne implementacije ter vključujejo razvojno, didaktično, organizacijsko in podatkovno-etično perspektivo. Poseben poudarek je namenjen razvojnim značilnostim otrok, varni uporabi opreme, časovnim omejitvam uporabe, organizaciji prostora, nadzoru socialnih interakcij v digitalnih okoljih, varovanju zasebnosti ter didaktični utemeljenosti uporabe tehnologije.

Monografija predstavlja kakovostno in aktualno strokovno-didaktično delo, ki na pregleden način povezuje teoretične koncepte razširjene resničnosti z njihovo pedagoško uporabo. Posebna vrednost dela je v celovitem pristopu, ki poleg tehnoloških in didaktičnih vidikov vključuje tudi razvojne, etične in varnostne razsežnosti uporabe teh tehnologij v izobraževanju.

Delo je vsebinsko dobro zasnovano in predstavlja pomemben prispevek k področju izobraževalne tehnologije. Glede na to, da predstavljeni okvir smernic lahko služi kot orientacija pri načrtovanju, izvedbi in vrednotenju učnih dejavnosti z razširjeno resničnostjo v različnih izobraževalnih kontekstih, publikacijo priporočam za objavo.

doc. dr. Maja Pušnik

*Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,
Univerza v Mariboru
maja.pusnik@um.si*

Kazalo

Ključni poudarki	11
1 Uvod	13
2 Kaj je razširjena resničnost?	15
2.1 Navidezna resničnost	16
2.2 Obogatena resničnost	16
2.3 Mešana resničnost	17
3 Razvoj razširjene resničnosti	19
3.1 Zgodovinski razvoj navidezne resničnosti	20
3.2 Zgodovinski razvoj obogatene resničnosti	21
3.3 Zgodovinski razvoj mešane resničnosti	22
4 Koristi in tveganja uporabe tehnologij XR	25
4.1 Koristi uporabe tehnologij razširjene resničnosti	26
4.1.1 Izboljšanje disciplinarnega znanja	26
4.1.2 Kognitivni učinki	27
4.1.3 Razvoj samoregulacije, motivacije in učne samozavesti	28
4.1.4 Fizični in senzomotorični učinki	29
4.2 Tveganja pri uporabi tehnologij razširjene resničnosti	30
4.2.1 Tveganja za telesni in senzorični razvoj	30
4.2.2 Tveganja za kognitivni razvoj	32
4.2.3 Tveganja za psihosocialni razvoj	33
5 Vloga in potencial XR v izobraževanju	35

5.1	Paradigme umeščanja XR v vzgojno-izobraževalni proces	35
5.1.1	Razširjena resničnost kot sredstvo za večjo avtomatizacijo učnega procesa in preoblikovanje učiteljeve vloge	35
5.1.2	Kritični pogledi na uporabo razširjene resničnosti	36
5.1.3	Uporaba razširjene resničnosti kot dopolnitve	37
5.2	Modeli uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju	38
5.2.1	Model TPACK	38
5.2.2	Model SAMR	40
5.2.3	Model CAMIL	43
5.2.4	Matrica integracije digitalne tehnologije	45
5.2.5	Okvir 3-E	48
5.2.6	Evropski okvir digitalnih kompetenc izobraževalcev	52
5.3	Uvajanje XR v vzgojno-izobraževalni proces	55
5.3.1	Personalizacija učenja z orodji razširjene resničnosti	55
5.3.2	Tehnološko podprto personalizirano učenje	57
5.3.3	Personalizirana navidezna učna okolja	58
5.3.4	Personalizacija učenja z orodji razširjene resničnosti	59
5.3.5	Načini doseganja personalizacije v razširjeni resničnosti	60
5.3.6	Umetna inteligenca in personalizirano učenje	62
5.4	Usposobljenost strokovnih delavcev za uporabo XR	67
6	Izzivi pri uvajanju XR v vzgojno-izobraževalni proces	71
6.1	Tehnološki izzivi	71
6.2	Etični izzivi	77
6.2.1	Zasebnost, biometrični podatki in podatkovna ekonomija	78
6.2.2	Nadzor, analitika učenja in avtonomija	78
6.2.3	Manipulacija zaznavanja in epistemološka vprašanja	79
6.2.4	Razvojna in psihološka tveganja	79
6.2.5	Komercializacija, prikrito oglaševanje in kakovost vsebin	79
6.2.6	Pravičnost, dostopnost in digitalne neenakosti	80
6.2.7	Okvir zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju	80
6.2.8	Deležniki, razmerja moči in odgovornost pri uvajanju razširjene resničnosti v izobraževanje	84

<i>KAZALO</i>	9
6.3 Digitalni razkorak	85
6.4 Regulativni okvir uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju	90
6.4.1 Varstvo osebnih podatkov in informacijska varnost	90
6.4.2 Avtorske pravice in intelektualna lastnina	91
6.4.3 Varstvo temeljnih pravic v izobraževalnem digitalnem okolju	92
6.4.4 Strateški in razvojni dokumenti	93
6.4.5 Regulativne vrzeli in prihodnji izzivi	93
7 Smernice za uporabo tehnologij XR	95
8 Sklepna beseda	103
Seznam slik	106
Seznam uporabljenih virov	107
Kolofon	123

Ključni poudarki

Monografija celostno obravnava uvajanje tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno izobraževalni proces ter povezuje teoretične opredelitve, empirične ugotovitve, pedagoške modele, razvojna in etična tveganja ter konkretne smernice za prakso. Izhaja iz stališča, da razširjene resničnosti v izobraževanju ni smiselno presoјati z vidika tehnološke novosti same po sebi, temveč z vidika njene didaktične vrednosti, razvojne primernosti, varnosti uporabe in skladnosti s širšimi vzgojno izobraževalnimi cilji.

Osrednje sporočilo monografije je, da je vrednost uporabe razširjene resničnosti odvisna od tega, kako, kdaj in pod kakšnimi pogoji je vključena v učni proces. Monografija zato zagovarja previdno, razvojno diferencirano, didaktično utemeljeno in etično odgovorno uporabo, pri kateri tehnologija deluje kot podpora učenju in poučevanju.

Na podlagi celotne analize monografija oblikuje nabor smernic za odgovorno uvajanje tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno izobraževalni proces. Njihov namen je strokovnim delavcem, vodstvom vzgojno izobraževalnih ustanov in drugim odločevalcem ponuditi okvir za premišljeno, varno in didaktično utemeljeno uporabo tehnologij razširjene resničnosti v praksi.

- **Smernica 1:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem kontekstu mora biti razvojno ustrezna in prilagojena starostni skupini ter individualnim značilnostim učencev.
- **Smernica 2:** Izbor in nastavitev naglavnih prikazovalnikov morata zagotavljati ustrezno fizično prileganje in optično prilagoditev uporabniku.
- **Smernica 3:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu mora biti časovno omejena in vključevati načrtovane prekinitve.
- **Smernica 4:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora potekati v prostorsko in organizacijsko varnem okolju.
- **Smernica 5:** Uporaba socialnih in večuporabniških funkcij v okoljih razširjene resničnosti mora biti v šolskem kontekstu omejena, vnaprej preverjena in nadzorovana.
- **Smernica 6:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora temeljiti na načelu minimalnega zbiranja podatkov in visoke ravni varovanja zasebnosti.
- **Smernica 7:** Uporaba pogovornih agentov in drugih dinamičnih interakcijskih sistemov v okoljih razširjene resničnosti mora biti razvojno ustrezna, vsebinsko ute-

meljena ter jasno omejena in nadzorovana.

- **Smernica 8:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti podprta z jasno opredeljenimi institucionalnimi protokoli, usposabljanjem osebja in razdelitvijo odgovornosti.
- **Smernica 9:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti didaktično utemeljena in vezana na jasno opredeljene učne cilje.
- **Smernica 10:** Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti zasnovana vključujoče in prilagojena raznolikim telesnim, senzornim in kognitivnim zmožnostim učencev.

POGLAVJE 1

Uvod

Vzgoja in izobraževanje je dinamično področje, ki se nenehno razvija v odzivu na družbene spremembe, nova znanstvena in strokovna spoznanja ter tehnološki napredek, kar daje nove možnosti za podporo učenju in poučevanju. Digitalna preobrazba družbe v zadnjem desetletju ni vplivala zgolj na način komuniciranja, dela in dostopa do informacij, temveč tudi na temeljne razmisleke o naravi učenja in poučevanja. Vsaka nova priložnost zahteva presojo njenega pedagoškega pomena, učinkov, izvedljivosti ter premišljeno umeščanje v obstoječi vzgojno-izobraževalni okvir. Med tehnologijami, ki v zadnjih letih vzbujajo posebno pozornost, so tudi tehnologije razširjene resničnosti (ang. *Extended Reality* – XR), ki združujejo elemente navidezne, obogatene in mešane resničnosti ter omogočajo nove oblike doživljanja, raziskovanja in razumevanja učnih vsebin.

Razširjena resničnost odpira možnosti za vizualizacijo abstraktnih konceptov, simulacijo kompleksnih procesov in izkustveno učenje v varnih, nadzorovanih okoljih. Hkrati pa s svojo poglobitveno ¹ naravo posega globlje v zaznavne, kognitivne in socialne procese učencev ² kot večina dosedanjih digitalnih orodij. Prav zato razprava o njeni uporabi v vzgoji in izobraževanju ne more biti omejena zgolj na vprašanje tehnične izvedljivosti ali učne učinkovitosti, temveč mora vključevati tudi razvojne, etične, didaktične in organizacijske razsežnosti.

V strokovni in znanstveni literaturi se oblikujejo različni pogledi na vlogo razširjene resničnosti v šolskem prostoru. Na eni strani prevladuje tehnološki optimizem, ki poudarja njen potencial za personalizacijo učenja, povečanje motivacije ter podporo globljemu razumevanju. Na drugi strani se pojavljajo opozorila glede kognitivne preobremenitve, vplivov na razvoj zaznavnih in socialnih sistemov ter vprašanj varnosti in zasebnosti. Med obema poloma se vse izraziteje uveljavlja stališče, da ni ključno vprašanje, ali tehnologijo uporabiti, temveč kako, kdaj in pod kakšnimi pogoji jo je smiselno vključiti v pedagoško prakso.

¹ Angleški izraz »immersive« v slovenščini nima enotnega ustaljenega prevoda. Možne so tudi različice, kot so »potopitvena«, »vživljajna« ali »imersivna«, vendar ima vsaka določene pomenske omejitve. V tej monografiji uporabljamo izraz »poglobitvena«, ker najbolj ustrezno označuje tehnologijo oziroma učno okolje, ki uporabnika intenzivneje vključi v zaznavno, spoznavno in interaktivno izkušnjo.

² V monografiji se izraz »učenci« uporablja kot krovni pojem za vse udeležence v izobraževalnem procesu, ne glede na starost ali raven izobraževanja, in zajema učence, dijake ter študente. Uporaba izraza je namenjena večji preglednosti besedila.

Ta monografija izhaja iz razumevanja, da tehnologija sama po sebi ne prinaša pedagoške vrednosti, temveč jo pridobi šele v okviru preišljene didaktične zasnove. Razširjena resničnost ni nadomestilo za učitelja, temveč potencialno orodje, ki lahko razširi spekter učnih pristopov, če je umeščeno v jasno opredeljene učne cilje, razvojno primerne dejavnosti in strokovno vodeno učno okolje. Ključno izhodišče monografije je zato povezovanje tehnološkega razvoja z didaktičnimi pristopi, kompetencami učiteljev in širšimi vzgojno-izobraževalnimi cilji.

Namen te strokovne monografije je zato celostno predstaviti področje razširjene resničnosti v izobraževanju ter bralcu ponuditi tako teoretično podlago kot tudi praktične smernice za njeno smiselno uvajanje. V njej pojasnjujemo temeljne pojme razširjene resničnosti, predstavimo razvoj ključnih tehnologij ter analiziramo njihovo vlogo in potencial v izobraževalnem procesu. Predstavimo tudi pedagoške modele vključevanja tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni proces, ki lahko strokovnim delavcem in šolam služijo kot opora pri načrtovanju, vrednotenju in refleksiji uporabe tehnologij razširjene resničnosti. Poleg tega izpostavljam ključne izzive, ki se pojavljajo pri uvajanju razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni prostor, ter na tej osnovi oblikujemo konkretne smernice za njeno smiselno vključevanje v vzgojno-izobraževalno delo.

Monografija je namenjena strokovnim delavcem v vzgoji in izobraževanju, vodstvom šol, snovalcem izobraževalnih politik ter vsem, ki želijo razumeti možnosti in omejitve uporabe tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem okolju. Prav tako je uporabna za razvijalce učnih gradiv in digitalnih rešitev, saj ponuja okvir za razumevanje pedagoških potreb ter pogojev, ki jih je pri uvajanju tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni proces treba upoštevati.

POGLAVJE 2

Kaj je razširjena resničnost?

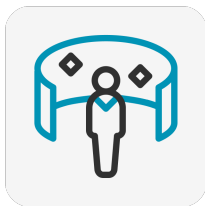
Razširjena resničnost (ang. *Extended Reality* – XR) je krovni izraz za različna naravna in navidezna okolja ter načine interakcije med človekom in računalniško podprtimi sistemi, ki jih omogočajo sodobne računalniške tehnologije in nosljive naprave. Črka »X« označuje vse obstoječe ali prihodnje oblike prostorskega računalništva, med katere sodijo obogatena resničnost (ang. *Augmented Reality* – AR), mešana resničnost (ang. *Mixed Reality* – MR), navidezna resničnost (ang. *Virtual Reality* – VR) ter njihove vmesne in hibridne oblike (glej sliko 2.1) (Sharma, 2021).



Slika 2.1: Vennov diagram, ki prikazuje konceptualizacijo tehnologij razširjene resničnosti (XR).

XR ne predstavlja ene same tehnologije, temveč kontinuum rešitev, ki se razlikujejo glede na stopnjo prepletanja fizičnega in digitalnega sveta – od dopolnjevanja realnega okolja do popolnoma računalniško ustvarjenih izkušenj. Pomemben vidik je tudi način interakcije, ki vključuje naravne uporabniške vmesnike (npr. sledenje gibom, sledenje pogledu ali glasovno upravljanje), kar omogoča bolj intuitivno uporabo (Liarokapis idr., 2024). Skupna značilnost XR tehnologij je podpora občutku prisotnosti, zato se meje med fizičnim in navideznim okoljem pogosto zabrišejo, razlike med pristopi pa se kažejo predvsem v stopnji potopitve (ang. *immersion*) in načinu vključevanja digitalnih elementov (XR GURU, 2022).

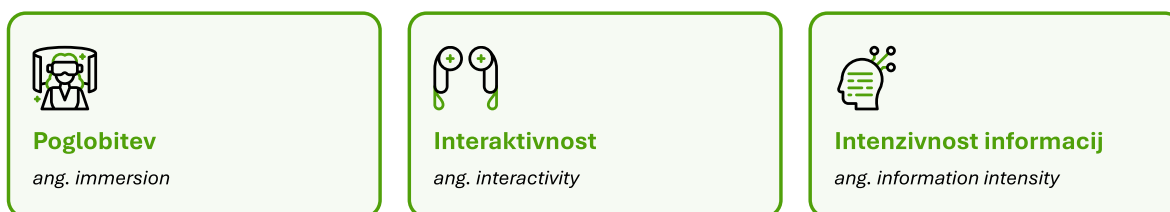
2.1 Navidezna resničnost



Navidezna resničnost (ang. *Virtual Reality* – VR) je tehnologija, ki uporabniku omogoča prepričljivo izkušnjo v povsem računalniško ustvarjenem digitalnem okolju. Takšno okolje je zgrajeno iz različnih digitalnih multimedijskih vsebin, kot so slike, videoposnetki, zvoki in besedila, vse pogosteje pa ga dopolnjujejo tudi tehnologije, ki posnemajo telesne občutke, na primer dotik, včasih pa tudi druge zaznave, kot je vonj.

V navidezni resničnosti je uporabnik popolnoma poglobljen v simulirano okolje, kar pomeni, da ne vidi več svojega dejanskega sveta. To izkušnjo običajno omogočajo glavni zasloni, kot so VR očala, in senzorji, ki zaznavajo gibanje ter položaj telesa (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Izkušnjo lahko dopolnjujejo tudi druge naprave, na primer slušalke, ki omogočajo prostorski zvok, ter haptične rokavice, ki posnemajo občutek dotika. Vse elemente, ki jih uporabnik zaznava, ustvari računalnik (Fernandez, 2017). Eden ključnih izzivov navidezne resničnosti je zato zasnova navideznih objektov, ki so čim bolj podobni resničnim, ne le po videzu, temveč tudi po vedenju in možnostih interakcije z uporabnikom.



Slika 2.2: Tri značilnosti navidezne resničnosti po Heim (1998).

Navidezna resničnost ima tri ključne značilnosti (slika 2.2). Prva je poglobitev (ang. *Immersion*), pri kateri navidezno okolje prevzame del uporabnikovih čutnih informacij in ustvari občutek prenosa v drug svet. Druga je interaktivnost (ang. *Interactivity*), kar pomeni, da se okolje hitro in smiselno odziva na uporabnikovo gibanje ter spremembe pogleda. Tretja je intenzivnost informacij (ang. *Information Intensity*), ki ustvarja občutek živega digitalnega sveta, prisotnosti na daljavo ter sodelovanja z inteligentnimi digitalnimi akterji. Te tri značilnosti skupaj pomagajo pojasniti, zakaj so navidezna okolja lahko tako prepričljiva (Heim, 1998).

2.2 Obogatena resničnost



Obogatena resničnost (ang. *Augmented Reality* – AR) je tehnologija, ki resnični svet dopolni z računalniško ustvarjenimi digitalnimi elementi, kot so slike ali zvoki, ki se prikazujejo v realnem času. Za razliko od navidezne resničnosti, ki uporabnika prestavi v povsem navidezno okolje, obogatena resničnost resničnega sveta ne nadomesti, temveč ga informacijsko nadgradi.

Ključna značilnost AR je, da poteka v realnem času in je vezana na nepredvidljivo naravo dejanskega okolja. Njena značilnost je prav tako, da deluje sproti in se prilagaja spremenljivim razmeram realnega okolja, zato so digitalni elementi praviloma namenjeni podpori orientaciji, razumevanju ali izvajanju dejavnosti v resničnem svetu (Fernandez, 2017).

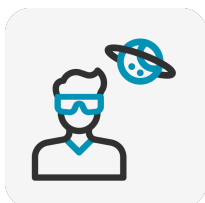


Slika 2.3: Ključne značilnosti obogatene resničnosti (Azuma, 1997).

Uporabniki obogatene resničnosti ostajajo ves čas v stiku z realnim svetom; svojo okolico zaznavajo, se je zavedajo, se je dotikajo in z njo sodelujejo, pri čemer jim sistem sproti ponuja digitalne elemente, povezane z zaznanim okoljem (Fernandez, 2017). Ena ključnih prednosti razširjene resničnosti je združevanje tridimenzionalnih (3D) prikazov z resničnim prostorom, kar lahko okrepi uporabnikovo zaznavanje in olajša interakcijo s fizičnim okoljem. Digitalni elementi, kot so opombe, zvočna navodila, slike, videoposnetki in 3D modeli, pri tem služijo kot dodatna podpora pri opravljanju vsakodnevnih ali strokovnih nalog.

Aplikacije obogatene resničnosti so danes najpogosteje dostopne s pametnimi telefoni ali tabličnimi računalniki, saj te naprave združujejo kamero, zaslon ter zadostno procesorsko zmogljivost za sprotno obdelavo in prikaz digitalnih elementov. V določenih okoljih se uporabljajo tudi specializirana AR očala, ki omogočajo prostoročno uporabo in bolj neposredno vključevanje digitalnih elementov v vidno polje uporabnika (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

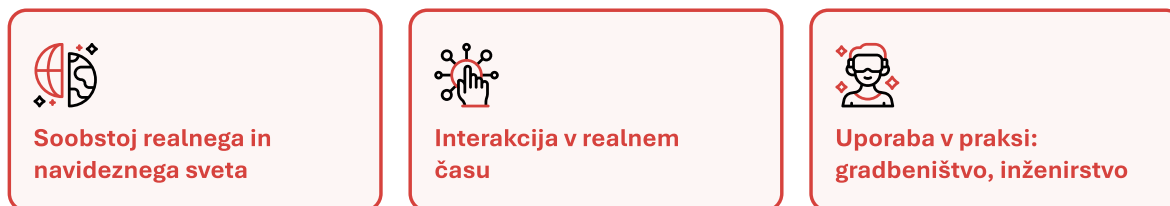
2.3 Mešana resničnost



Mešana ali združena resničnost (ang. *Mixed Reality* – MR) združuje elemente navidezne in obogatene resničnosti, kjer se resnični in navidezni elementi povezujejo v skupno izkušnjo. Gre za hibridno obliko, v kateri fizično okolje in računalniško ustvarjene navidezne vsebine soobstajajo in medsebojno delujejo v realnem času (XR GURU, 2022).

Mešana resničnost se od obogatene resničnosti razlikuje predvsem po interaktivnosti. Pri obogateni resničnosti se digitalni elementi najpogosteje prikazujejo kot dodatna plast nad realnim svetom, pri MR pa so navidezni objekti umeščeni v prostor tako, da lahko z njimi uporabnik tudi aktivno sodeluje. To pomeni, da jih ne le vidi, temveč jih lahko premika, spreminja ali uporablja kot del naloge, pri čemer se njihovo vedenje

smiselno prilagaja dogajanju v realnem okolju (Maas in Hughes, 2020). Prav ta interaktivnost odpira priložnosti za še bolj dinamične učne izkušnje (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).



Slika 2.4: Ključne značilnosti mešane resničnosti.

Mešana resničnost je posebej primerna za ponazoritev zapletenih konceptov ali abstraktnih teorij. V praksi se danes uporablja v panogah, kot so gradbeništvo, inženirstvo in notranje oblikovanje, kjer uporabniki v realnem času sodelujejo z digitalnimi modeli in resničnim okoljem (XR GURU, 2022). Trenutno so stroški opreme ter tehnične zahteve za izvajanje mešane resničnosti v izobraževalnem okolju še razmeroma visoki, kar omejuje njeno širšo uporabo. Vendar pa razvoj tehnologije in postopno zniževanje stroškov nakazujeta, da bo v prihodnje verjetno postajala dostopnejša tudi na področju izobraževanja (Maas in Hughes, 2020).

Slika 2.5 prikazuje postopni prehod od neposrednega doživljanja fizičnega sveta do popolnoma navideznega okolja. Na levi je prikazana resničnost brez digitalnih dodatkov, v sredini obogatena in mešana resničnost, kjer se digitalni elementi vključujejo v fizični prostor, na desni pa navidezna resničnost, pri kateri uporabnik vstopa v v celoti računalniško ustvarjeno okolje.

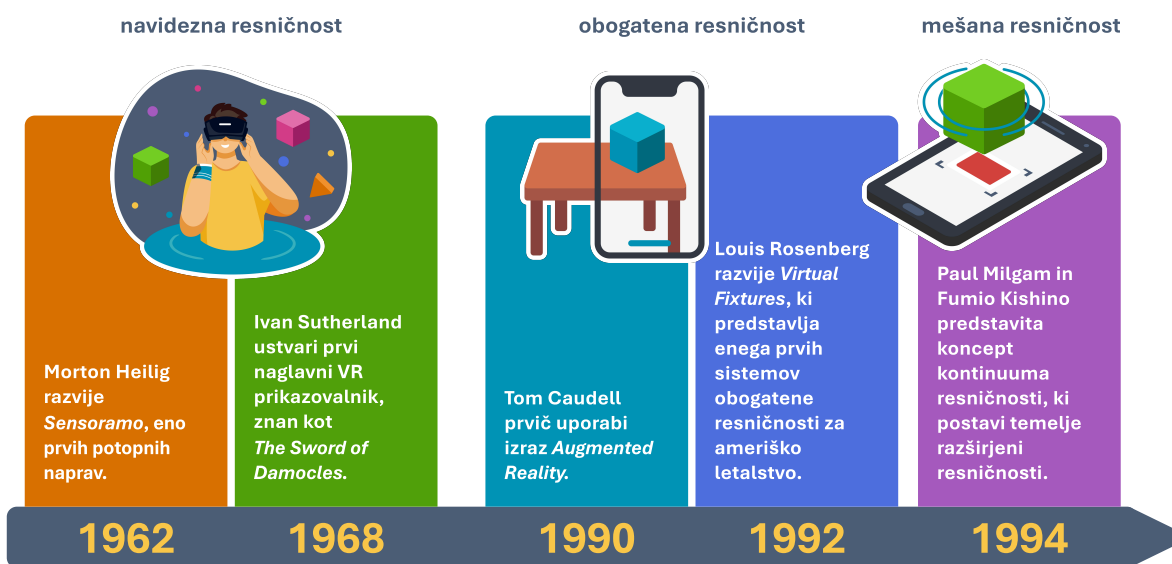


Slika 2.5: Model kontinuuma med neposredno zaznano fizično resničnostjo in računalniško generirano izkušnjo.

POGLAVJE 3

Razvoj razširjene resničnosti

Razvoj razširjene resničnosti je tesno povezan z razvojem računalniške tehnologije, računalniške grafike in raziskav na področju interakcije med človekom in računalniškimi sistemi. Ko so se izboljševale možnosti prikaza, sledenja gibanju in obdelave podatkov v realnem času, so postajale izvedljive tudi rešitve, ki presegajo klasični zaslonski prikaz in omogočajo prostorsko doživljanje digitalnih vsebin. Prve raziskave in prototipi, ki jih danes uvrščamo na področje razširjene resničnosti, so nastajali že v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Prvi poskusi in naprave so postavili temelje navidezni resničnosti, sledil je razvoj konceptov obogatene resničnosti, kasneje pa se je uveljavil še teoretični okvir mešane resničnosti, ki povezuje elemente obeh pristopov. Slika 3.1 prikazuje zgodovinski razvoj tehnologij navidezne, obogatene in mešane resničnosti, ki je natančneje opisan v naslednjem podpoglavju.



Slika 3.1: Zgodovinski razvoj razširjene resničnosti.

3.1 Zgodovinski razvoj navidezne resničnosti

Začetki navidezne resničnosti segajo v 60. leta 20. stoletja, ko so nastali prvi koncepti in naprave, ki so omogočale poglobitvene digitalne izkušnje (Sulisworo idr., 2023). Leta 1962 je Morton Heilig izumil eno prvih mehanskih poglobitvenih naprav, imenovano **Sensorama** (XR GURU, 2022). Sensorama je bila kabina, v kateri je uporabnik sede skozi poseben vizir spremljal stereoskopski film, medtem ko je naprava hkrati predvajala prostorski zvok, ustvarjala vibracije ter sproščala vonjave. S kombinacijo teh učinkov je Sensorama poskušala ustvariti čim bolj prepričljiv občutek navidezne resničnosti v prikazanem okolju.

Ivan Sutherland je leta 1968 predstavil sistem **The Sword of Damocles**, enega prvih naglavnih prikazovalnikov, ki je bil zaradi svoje teže pritrjen na strop (Sulisworo idr., 2023). Sistem je z uporabo računalniško generirane grafike in sledenja položaju glave prikazoval preproste tridimenzionalne oblike, ki so se ob premiku uporabnika ustrezno spreminjale, kar je omogočilo eno prvih prostorsko usklajenih navidezni predstavitev.

Myron Krueger je v začetku 70. let razvil okolje **Videoplace**, v katerem so kamere zaznavale gibanje uporabnika, njegova silhueta pa je bila projicirana v digitalni prostor, kjer je lahko z gibi rok in telesa vplival na navidezne objekte (Sulisworo idr., 2023). Sistem ni zahteval naglavne opreme, temveč je interakcijo temeljil na zaznavanju telesa v prostoru. Krueger je v 70. letih za takšna okolja prvič uporabil izraz umetna resničnost (ang. *Artificial Reality*) (Furht, 2008).

Leta 1972 je Daniel Vickers objavil članek, v katerem je opisal interaktivni sistem računalniške grafike z naglavnim prikazovalnikom in ročno krmilno napravo, namenjen za zaznavanju tridimenzionalnega računalniško ustvarjenega prostora (Shen in Shirmohammadi, 2008). Sistem je omogočal prostorski prikaz navidezni objektov ter njihovo upravljanje z ročnim vmesnikom, kar je uporabniku ustvarjalo občutek gibanja in delovanja znotraj digitalnega okolja.

V poznih 80. in 90. letih 20. stoletja je področje navidezne resničnosti doživelo nadaljnji razvoj. Sredi osemdesetih let je NASA začela intenzivno razvijati naprave navidezne resničnosti za raziskovanje planetarnih okolij. Leta 1985 sta raziskovalca NASE, Jim Humphries in Mike McGreevy, predstavila prototip naglavnega seta za navidezno resničnost, ki je omogočal stereoskopski prikaz računalniško ustvarjenih podob ter sledenje gibanju glave, kar je pilotom omogočalo realistično simulacijo poleta (Joskowicz, 2023).

Štiri leta pozneje je Jaron Lanier skoval in populariziral izraz navidezna resničnost (ang. *Virtual Reality*) ter ustanovil prvo podjetje za navidezno resničnost, **VPL Research**, ki je razvijalo komercialne sisteme navidezne resničnosti, kot sta DataGlove (rokavica za zaznavanje gibov prstov) in EyePhone (zgodnji naglavni prikazovalnik). V devetdesetih letih sta se pojavila še izraza virtualni (navidezni) svet in virtualno (navidezno) okolje, ki sta poudarjala idejo prostorskih, interaktivnih digitalnih sistemov (Furht, 2008). Ti sistemi so omogočali bolj neposredno interakcijo z navideznimi objekti in so postali referenčna točka za nadaljnji razvoj tehnologij navidezne resničnosti.

To je bil tudi čas razvoja bolj sofisticiranih sistemov navidezne resničnosti, ki so vključevali naglavne komplete navidezne resničnosti, gibalne senzorje in druge oblike interakcije. Tehnologija navidezne resničnosti je bila omejena in draga, zato se v izobraževalnem okolju ni uveljavila v širšem obsegu (Sulisworo idr., 2023).

Navidezna resničnost je bila v začetnem obdobju najbolj prepoznavna predvsem skozi industrijo videoiger, kjer je dosegla prvo širšo komercialno uporabo. Z napredkom strojne in programske opreme, večjo internetno povezanostjo ter cenovno dostopnejšo pasovno širino se je postopno razširila tudi v druge panoge, med drugim v izobraževanje (XR GURU, 2022).

V začetku 21. stoletja so navidezno resničnost za ustvarjanje bolj interaktivnih in poglobljenih učnih izkušenj začeli uporabljati tudi razvijalci programske opreme in izobraževalne ustanove. Razvoj aplikacij za navidezno resničnost na pametnih telefonih je še dodatno pospešil cenejšo, dostopnejšo in enostavnejšo uporabo navidezne resničnosti v izobraževalnih okoljih, visokokakovostne naglavne naprave pa so omogočile bolj poglobljene izobraževalne in učne izkušnje. Danes navidezna resničnost v izobraževanju zajema različne pristope, kot so simulacije, navidezni ogledi, usposabljanja praktičnih spretnosti in prilagojena učna okolja (Sulisworo idr., 2023).

3.2 Zgodovinski razvoj obogatene resničnosti

Pojav obogatene resničnosti časovno sovпада z razvojem navidezne resničnosti, saj se zamisli o sprotnem združevanju računalniško ustvarjenih prikazov z realnim pogledom pojavijo že v poznih šestdesetih letih (Johnson idr., 2010). Kot zgodnji mejnik se pogosto navaja Sutherlandov naglavni prikazovalnik iz leta 1968, imenovan *The Sword of Damocles*, ki je z optično prosojnim prikazom omogočal sproten prikaz računalniško generiranih elementov v vidnem polju uporabnika ob hkratnem zaznavanju realnega okolja.

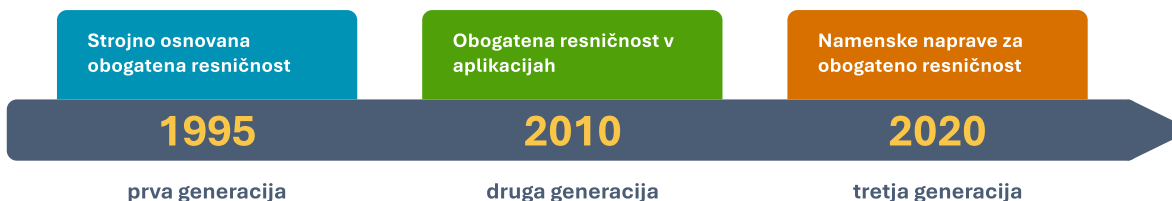
Do devetdesetih let so se rešitve obogatene resničnosti začele uveljavljati predvsem v industrijskem okolju, kjer so jih uporabljali za podporo kompleksnim delovnim postopkom ter za usposabljanje zaposlenih (Johnson idr., 2010). Posebej pomembno vlogo je imela letalska industrija, kjer so sistemi omogočali prikaz navodil, načrtov in označb neposredno v vidnem polju delavca, s čimer so zmanjšali potrebo po ločenem pregledovanju tehnične dokumentacije. Izraz obogatena resničnost se je širše uveljavil šele leta 1992, ko sta ga v okviru letalskega podjetja Boeing uvedla Tom Caudell in David Mitzell (Joskowicz, 2023). V okviru razvoja sistemov za pomoč pri sestavljanju električnih napeljav sta opisala tehnologijo, ki je delavcem omogočala prikaz digitalnih navodil prek prosojnega zaslona, nameščenega pred uporabnikovimi očmi. S tem sta konceptualno opredelila pristop, pri katerem digitalne vsebine dopolnjujejo realno delovno okolje, namesto da bi ga nadomestile.

Garzón (2021) opisuje razvoj uporabe obogatene resničnosti v izobraževanju kot postopno prehajanje skozi tri generacije tehnologij in pristopov. Slika 3.2 prikazuje postopni razvoj obogatene resničnosti v izobraževanju skozi tri generacije.

Prva generacija zajema obdobje od leta 1995, ko so v Nici razvili prvi sistem obogatene resničnosti za poučevanje človeške anatomije, do leta 2009. To je obdobje strojno osnovane obogatene resničnosti, zaznamovano z uporabo naprav obogatene resničnosti, v katerem so prevladovala rešitve z naglavnimi prikazovalniki in projekcijskimi sistemi ter specializirano računalniško opremo. Njihov doseg v izobraževanju je bil omejen zaradi visokih stroškov in omejene uporabnosti.

Druga generacija zajema obdobje od leta 2010 do 2019. Tehnologije obogatene resničnosti so se začele bolj osredotočati na aplikacije in manj na strojno opremo (Garzón, 2021). Obogatena resničnost je v tem času postala dovolj zmožljiva za uporabo na osebnih računalnikih in mobilnih napravah. Izobraževalne igre v obogateni resničnosti so ponudile nova orodja za prikaz odnosov in povezav (Johnson idr., 2010).

Tretja generacija obogatene resničnosti se je začela okoli leta 2020 in traja še danes. Zaznamujejo jo namenske naprave, kot so pametna očala za obogateno resničnost, spletno podprte aplikacije, ki delujejo neposredno v brskalniku, ter vse tesnejša integracija umetne inteligence, ki omogoča prepoznavanje objektov, prilagajanje vsebin in bolj napredno interakcijo. Razvoj teh rešitev je pripomogel k večji dostopnosti in širši uporabi obogatene resničnosti v izobraževanju. Aplikacije se pojavljajo na različnih predmetnih področjih in ravneh izobraževanja, od zgodnjega učenja do visokošolskega okolja, kjer služijo kot podpora vizualizaciji, razlagi kompleksnih vsebin ter oblikovanju interaktivnih učnih dejavnosti (Garzón, 2021).



Slika 3.2: Tri generacije obogatene resničnosti v izobraževanju.

3.3 Zgodovinski razvoj mešane resničnosti

Mešana resničnost je kot ena od treh ključnih oblik razširjene resničnosti nastala najpozneje in se je konceptualno izoblikovala šele po tem, ko sta se uveljavili navidezna in obogatena resničnost. Izraz sta leta 1994 uvedla Paul Milgram in Fumio Kishino (1994) v okviru svojega modela kontinuuma med resničnim in navideznim svetom, s katerim sta opredelila različne oblike kombiniranja fizičnega in navideznega okolja (Joskowicz, 2023). Ta model je omogočil teoretično razumevanje mešane resničnosti kot prostora, kjer realni in navidezni elementi niso le sočasno prisotni, temveč tudi medsebojno povezani.

V prvem desetletju 21. stoletja je napredek na področju procesorjev, grafičnih kartic, senzorjev in zaslonov pripomogel k postopnemu zniževanju stroškov ter izboljševanju zmogljivosti sistemov navidezne in obogatene resničnosti. V tem tehnološkem okviru se

je začela bolj izrazito oblikovati tudi mešana resničnost kot samostojno razvojno področje (Sala, 2021). Ključni tehnološki premiki so vključevali natančnejše sledenje položaju uporabnika v prostoru, boljše prostorsko zaznavo okolja ter napredne metode umeščanja digitalnih objektov v realni prostor. Med pomembnejšimi razvojnimi mejniki je delo Alexa Kipmana, ki je vodil razvoj očal, zasnovanih za bolj naravno interakcijo z digitalnimi vsebinami prek zaznavanja pogleda, gibanja rok in položaja v prostoru (Joskowicz, 2023).

Leta 2016 je Microsoft s predstavitvijo prvih očal HoloLens pokazal velik potencial uporabe mešane resničnosti za pedagoške namene, saj so prosojne leče omogočale hkratni pogled v resnični svet, na katerega so bile projicirane digitalne slike. Čeprav so bila očala sprva namenjena predvsem razvijalcem in podjetjem, so se sčasoma začela uporabljati tudi za izobraževalne namene (Joskowicz, 2023).

Danes mešana resničnost omogoča napredno prostorsko integracijo digitalnih vsebin, kjer navidezni objekti niso le vizualni dodatek, temveč se obnašajo kot del prostora. To pomeni, da lahko uporabnik z njimi rokuje, jih premika, spreminja ali uporablja kot elemente naloge, pri čemer se odzivajo na njegovo gibanje in okolje. V izobraževanju ima mešana resničnost pomembno vlogo predvsem na področjih, kjer je potrebna tri-dimenzionalna vizualizacija in praktična simulacija, kot so medicina, zdravstvena nega, inženirstvo in tehnične vede. Omogoča varno preizkušanje postopkov, prostorsko razumevanje kompleksnih struktur ter izkustveno učenje v nadzorovanem okolju (Sala, 2021).

POGLAVJE 4

Koristi in tveganja uporabe tehnologij razširjene resničnosti

Vsaka nova izobraževalna tehnologija odpira dvoje vprašanj: kakšne možnosti ponuja za izboljšanje učenja in kakšna tveganja lahko prinese, zlasti kadar se uporablja v razvojno občutljivem obdobju otroštva in mladostništva. Razširjena resničnost pri tem ni izjema. Zaradi svoje poglobitvene narave ter veččutne zasnove posega globlje v učni proces kot večina digitalnih orodij doslej.

V razpravah o razširjeni resničnosti se pogosto poudarja njen potencial za podporo razumevanju kompleksnih vsebin, večjo vključenost učencev in spodbujanje aktivnega učenja. Hkrati pa raziskovalna literatura opozarja, da učinki niso enoznačni in da se med različnimi študijami pojavljajo pomembne razlike (Bexson idr., 2024; Hibbard et al., 2020; Marks idr., 2025). Del teh razlik izhaja iz didaktične zasnove dejavnosti, del pa iz razvojnih značilnosti uporabnikov ter širšega konteksta uporabe. To pomeni, da koristi razširjene resničnosti ni mogoče presojati neodvisno od pogojev in okoliščin, v katerih poteka njena uporaba.

Ob tem je treba upoštevati tudi drugo stran razprave, ki poudarja, da lahko imajo tehnologije razširjene resničnosti učinke na telesno zaznavanje, prostorsko orientacijo, pozornost, emocionalno doživljanje in socialne interakcije. Pri otrocih in mladostnikih, katerih kognitivni, senzorični in psihosocialni sistemi so še v razvoju, je takšne vplive treba presojati še posebej previdno.

Koristi in tveganja razširjene resničnosti so tesno povezani. Ista značilnost, na primer visoka stopnja vključenosti ali interaktivnosti, lahko v dobro načrtovanem učnem okolju podpira razumevanje in motivacijo, v manj ustreznem okolju pa povzroča preobremenjenost ali zmedenost. Zato razprava o razširjeni resničnosti ne bi smela temeljiti na preprostih delitvah med popolnim navdušenjem nad tehnologijo in njenim zavračanjem.

To poglavje obravnava razširjeno resničnost kot pedagoško orodje z določenim potencialom in hkrati z omejitvami, ki jih narekujejo razvojne značilnosti otrok in mladostnikov ter specifičnost vzgojno-izobraževalnega prostora. Celovita presoja koristi in tveganj je nujen pogoj za odgovorno vključevanje teh tehnologij v izobraževanje.

4.1 Koristi uporabe tehnologij razširjene resničnosti

Raziskave o uporabi tehnologij razširjene resničnosti v osnovnem in srednjem izobraževanju poročajo o več potencialnih koristih, ki se nanašajo na različne razsežnosti učenja. Učinki niso univerzalni in so pogosto odvisni od didaktične zasnove, trajanja intervencije ter razvojnih značilnosti učencev, vendar literatura omogoča identifikacijo nekaterih ponavljajočih se vzorcev. V nadaljevanju so predstavljena ključna področja koristi, podprta z empiričnimi ugotovitvami.

4.1.1 Izboljšanje disciplinarnega znanja

Najpogosteje raziskovana korist uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju se nanaša na disciplinarno znanje. Tehnologije razširjene resničnosti omogočajo vizualizacijo abstraktnih konceptov, simulacijo kompleksnih procesov ter manipulacijo s tridimenzionalnimi objekti, kar je posebej relevantno pri poučevanju naravoslovnih in matematičnih vsebin.

Na področju naravoslovja so študije pokazale, da lahko poglobitvena okolja podpirajo razumevanje abstraktnih pojavov. Liu idr. (2022) so ugotovili, da so učenci, ki so sodelovali v imerzivnih VR-učnih urah iz naravoslovja, dosegli višje učne rezultate kot kontrolna skupina, pri čemer se je izboljšanje nanašalo predvsem na razumevanje kompleksnih konceptov. Podobno so Chen idr. (2016) pokazali, da kombinacija obogatene resničnosti in konceptnih zemljevidov podpira strukturiranje znanja in izboljšuje razumevanje znanstvenih vsebin. Chou idr. (2022) so dodatno ugotovili, da lahko multidimenzionalni konceptni zemljevidi v okolju razširjene resničnosti zmanjšajo fragmentacijo znanja in izboljšajo učne dosežke.

Na področju matematike so Shi idr. (2019) poročali o pozitivnem vplivu igre v navideznem okolju na dosežke učencev pri obravnavi kvadratnih funkcij, pri čemer so se izboljšali učni rezultati na področju matematike in povečanja motivacije. Cetintav in Yilmaz (2023) sta pokazala, da je uporaba obogatene resničnosti pri pouku matematike povezana z boljšimi učnimi dosežki in boljšimi samoregulacijskimi spretnostmi. Tudi raziskava Beisenbayeve idr. (2024) je pokazala, da je aplikacija obogatene resničnosti podprla razumevanje geometrijskih pojmov in prostorskih odnosov.

Na področju jezikovnega izobraževanja so Hussein idr. (2023) ugotovili, da je uporaba spletne obogatene resničnosti pripomogla k boljšim dosežkom pri učenju angleškega jezika na razredni stopnji. Liao idr. (2024) so poročali o izboljšanju besedišča ter govornih in slušnih kompetenc pri učencih, ki so uporabljali igro obogatene resničnosti za učenje angleščine.

Kljub pozitivnim izidom literatura opozarja tudi na variabilnost učinkov. Chen (2020) na primer ni ugotovil statistično pomembnih razlik v znanju med učenci, ki so uporabljali okolje obogatene resničnosti, in tistimi, ki so učne vsebine obravnavali na tradicionalen način, kar kaže, da sama prisotnost tehnologije ne zagotavlja vedno izboljšanja učnih rezultatov. Učinek je torej odvisen od didaktične integracije in kakovosti učnega procesa.

Priporočilo

Tehnologija razširjene resničnosti se lahko uporablja za doseganje učnih ciljev, pri čemer mora biti način doseganja cilja jasno opredeljen in uporaba tehnologije pedagoško in didaktično osmišljena ter natančno načrtovana. Tako zagotovimo smiselno integracijo tehnologije pri pouku.

4.1.2 Kognitivni učinki

Kognitivni učinki razširjene resničnosti se v raziskavah najpogosteje obravnavajo z vidika kognitivne obremenitve, angažiranosti ter spodbujanja delovanja posameznih kognitivnih funkcij.

Na področju kognitivne obremenitve so rezultati različni. Liu idr. (2022) niso zaznali povečanja kognitivne obremenitve pri uporabi navidezne resničnosti v primerjavi s tradicionalnim poukom, medtem ko so Yang idr. (2021) ugotovili, da v okolju obogatene resničnosti prihaja do višje kognitivne obremenitve. Študije nakazujejo, da ima pomembno vlogo zasnova učnega okolja. Li idr. (2023) so pokazali, da vključitev besedilnih namigov v okolje navidezne resničnosti izboljša učne dosežke, ne da bi povečala kognitivno obremenitev, kar kaže, da je za učinkovito učenje pomemben način podajanja in oblikovanja besedilnih informacij.

Na področju kognitivne angažiranosti so Ai-Jou idr. (2024) poročali o višji zaznani učni učinkovitosti in angažiranosti pri učencih, ki so uporabljali igro razširjene resničnosti, v primerjavi s tradicionalno igro. Wen (2021) je v kontekstu učenja kitajskih znakov poročal, da lahko dejavnosti v razširjeni resničnosti povečajo kognitivno vključenost učencev, torej zaznajo stopnjo aktivnega miselnega sodelovanja pri učenju.

Nekatere raziskave so preučevale, ali uporaba razširjene resničnosti v šolskem okolju vpliva na delovanje posameznih kognitivnih funkcij pri otrocih. Baumgartner idr. (2022) so ugotovili, da se je po uporabi vsebin razširjene resničnosti izboljšalo prostorsko mišljenje pri učencih, vendar v raziskavi ni bilo kontrolne skupine. Tabrizi idr. (2020) so v pilotni študiji poročali o izboljšanju kratkoročnega spomina pri učencih z ADHD po uporabi intervencije v navidezni resničnosti, čeprav avtorji poudarjajo potrebo po nadaljnjih raziskavah z večjimi vzorci.

Priporočilo

Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v izobraževanju z namenom vplivanja na kognitivno delovanje posameznikov naj bo zelo previdna in omejena, saj dosedanje raziskave na tem področju kažejo mešane učinke. Ker še ni dovolj kakovostnih randomiziranih kontrolnih raziskav, ki bi zanesljivo potrjevale pozitivne učinke na kognitivne funkcije, je takšna uporaba smiselna predvsem postopno, ob skrbnem spremljanju učinkov in morebitnih tveganj.

Zaradi možnosti dodatne kognitivne obremenitve, ki jo lahko povzročijo tehnologije razširjene resničnosti, je potrebno njeno uporabo posebej skrbno načrtovati glede na starost otrok in njihove razvojne zmožnosti. Ob tem je pomembno zagotoviti zadostne premore ter dejavnosti zasnovati tako, da ne povzročajo nepotrebnih dodatnih obremenitev.

4.1.3 Razvoj samoregulacije, motivacije in učne samozavesti

Motivacijski učinki razširjene resničnosti so med najpogosteje poročanimi v literaturi. Ti učinki so teoretično povezani z večjo interaktivnostjo, občutkom prisotnosti ter možnostjo aktivne vloge učenca v učnem procesu. Vendar empirični rezultati kažejo, da so tovrstni učinki močno pogojeni z zasnovo učne dejavnosti.

Več študij poroča o povečani učni motivaciji v okoljih razširjene resničnosti. Liu idr. (2022) so v raziskavi z uporabo okolja navidezne resničnosti ugotovili, da so učenci v primerjavi s tradicionalnim poukom pokazali višjo raven notranje motivacije in zadovoljstva z učenjem. Podobno sta Cetintav in Yilmaz (2023) pokazala, da je uporaba obogatene resničnosti v pouku matematike pomembno pripomogla k povečanju motivacije in samoregulacijskih spretnosti učencev, zlasti v povezavi z načrtovanjem in spremljanjem lastnega učenja.

Hung idr. (2023) so v kontekstu pouka angleščine ugotovili, da gradiva v obogateni in navidezni resničnosti, zasnovana v skladu z motivacijskim modelom ARCS, prinašajo pozitivne učinke na učne dosežke in motivacijo učencev. Povečanje motivacije je bilo povezano z zaznano relevantnostjo vsebine in občutkom dosežka. Xie idr. (2023) so na podlagi randomizirane pilotne študije pokazali, da je uporaba navidezne resničnosti pripomogla k višji akademski samoučinkovitosti ter večjemu zadovoljstvu z učnim procesom.

Raziskave opozarjajo tudi na učinke razširjene resničnosti na zaznano samozavest pri učenju in občutek kompetentnosti. Lee in Lee (2021) sta v kontekstu telesne vzgoje v navidezni resničnosti poročala o višjih ravneh koncentracije in občutka zanosa, kar sta povezala z večjim zaupanjem v lastne sposobnosti. Podobno so Hung idr. (2023) poročali, da so učenci pri uporabi gradiv v razširjeni resničnosti poročali o večji samozavesti pri izražanju idej v tujem jeziku.

Kljub tem pozitivnim ugotovitvam je treba poudariti več metodoloških omejitev. Večina raziskav na tem področju temelji na samoporočanih vprašalnikih motivacije in samoučinkovitosti, kar lahko zbuja dvom o zanesljivosti poročanih rezultatov. Poleg tega so bile intervencije iz poročanih študij pogosto kratkotrajne, zato ostaja odprto vprašanje, ali so zaznani učinki stabilni tudi na daljši rok.

Priporočilo

Uporaba tehnologij razširjene resničnosti za spodbujanje motivacije, samoregulacije in učne samozavesti naj bo previdna in pedagoško utemeljena. Čeprav posamezne raziskave poročajo o pozitivnih učinkih, te pogosto temeljijo na študijah s kratkotrajnimi intervencijami in samoporočanimi ocenami učencev, zato ni mogoče zanesljivo sklepati o njihovih trajnejših učinkih. Ker so ugotovljeni učinki močno odvisni od zasnove učne dejavnosti, povezave z učno vsebino in načina vključevanja učencev v dejavnost, razširjene resničnosti ni smiselno obravnavati kot samostojnega sredstva za razvoj teh področij. Njena uporaba je lahko smiselna predvsem kot premišljena dopolnitev učnemu procesu, ob sprotne spremljanju učinkov ter ob upoštevanju starosti učencev, njihovih razvojnih značilnosti in širšega učnega konteksta.

4.1.4 Fizični in senzomotorični učinki

V primerjavi z raziskavami kognitivnih in motivacijskih učinkov je področje fizičnih in senzomotoričnih učinkov razširjene resničnosti v šolskem kontekstu bistveno manj raziskano.

Wuang idr. (2021) so v raziskavi kinestetičnega treninga z uporabo obogatene resničnosti pri otrocih s težavami na področju vidnega zaznavanja ugotovili statistično pomembne izboljšave na področju vizualno-motorične integracije, vidnega zaznavanja in prilagoditvenega vedenja v primerjavi s tradicionalnim treningom. Pomembno je, da je sistem omogočal takojšnjo povratno informacijo ter zahteval aktivno telesno sodelovanje, kar je verjetno pripomoglo k zaznamim učinkom.

Na področju telesne vzgoje sta Lee in Lee (2021) primerjala pouk nogometa v navidezni resničnosti s tradicionalnim poukom na igrišču. Učenci v skupini z uporabo navidezne resničnosti so poročali o višjih ravneh koncentracije, občutka zanosa ter pozitivnejšem odnosu do predmeta. Čeprav raziskava temelji predvsem na samoporočanih kazalnikih, nakazuje, da bi lahko simulacije v navidezni resničnosti podpirale razumevanje taktičnih elementov igre in prinašale pozitivne učinke na angažiranost učencev.

Amprasi idr. (2022) so preučevali vpliv iger v navidezni resničnosti (ang. *Exergames*) na selektivno pozornost otrok, starih od 8 do 10 let, pri čemer so poročali o izboljšavah v obeh skupinah (navidezni resničnosti in tradicionalnem treningu), brez statistično pomembnih razlik med obema skupinama. To nakazuje, da lahko z uporabo vadbe v navidezni resničnosti dosegamo primerljive učinke kot z uporabo tradicionalnih pristopov.

Raziskave na tem področju opozarjajo, da so fizični učinki uporabe razširjene resničnosti odvisni predvsem od zasnove učne aktivnosti. Pasivna uporaba XR vsebin verjetno ne bo imela enakega učinka kot dejavnosti, ki vključujejo aktivno gibanje, koordinacijo in povratno informacijo v realnem času. Poleg tega večina obstoječih študij vključuje manjše vzorce ali specifične populacije (npr. učence z učnimi ali zaznavnimi težavami), zato so potrebne dodatne raziskave za širšo generalizacijo ugotovitev.

Priporočilo

Zaradi pomanjkanja empiričnih dokazov in jasnih strokovnih usmeritev na tem področju ni mogoče oblikovati dovolj utemeljenega priporočila. Dosedanje ugotovitve še ne omogočajo zanesljive presoje, pod kakšnimi pogoji in v kakšnem obsegu je uporaba razširjene resničnosti smiselna, zato je potreben previden in kritično utemeljen pristop.

4.2 Tveganja pri uporabi tehnologij razširjene resničnosti

Uvajanje tehnologij razširjene resničnosti v šolski prostor odpira poleg vprašanj o učinkovitosti tudi vprašanja varnosti, razvojne primernosti in dolgoročnih vplivov na otroke in mladostnike. Za razliko od večine drugih digitalnih orodij tehnologije razširjene resničnosti posegajo neposredno v zaznavne, prostorske in telesne izkušnje uporabnika ter ustvarjajo visoko stopnjo poglobitve. Prav ta lastnost, ki je pogosto predstavljena kot prednost, je tudi potencialni vir tveganj.

Otroci in mladostniki so razvojno specifična populacija. Njihovi senzorični sistemi, izvršilne funkcije, sposobnosti samoregulacije ter presoja tveganj so še v fazi razvoja, zato lahko na intenzivne digitalne izkušnje reagirajo drugače kot odrasli. Raziskovalna literatura s področja medicine razširjene resničnosti, razvojne psihologije in digitalne varnosti opozarja, da je treba učinke tehnologij razširjene resničnosti presojati razvojno diferencirano ter z upoštevanjem trajanja, vsebine in konteksta uporabe.

Ob tem je treba poudariti, da empirična baza o dolgoročnih vplivih tehnologij razširjene resničnosti pri otrocih in mladostnikih še ni obsežna. Večina raziskav je kratkotrajnih, osredotočenih na takojšnje učinke in pogosto izvedenih v kontroliranih pogojih. Zato razprava o tveganjih ne izhaja iz dokončnih dokazov o tveganjih, temveč predvsem iz previdnostnega načela ter iz analogij z obstoječimi spoznanji o razvoju zaznavnih, kognitivnih in socialnih sistemov.

4.2.1 Tveganja za telesni in senzorični razvoj

V primerjavi z drugimi digitalnimi napravami tehnologije razširjene resničnosti neposredno vplivajo na zaznavo, prostorsko orientacijo in ravnotežje, zato je njihove učinke treba presojati z vidika razvojne občutljivosti teh funkcij (Marks idr., 2025).

Eden izmed pogosto izpostavljenih vidikov je fizična prilagojenost naglavnih prikazovalnikov otrokom. Večina komercialno dostopnih naprav je zasnovana za odrasle uporabnike, kar pomeni, da se lahko pojavljajo težave z ustreznim prileganjem, težo naprave in razporeditvijo obremenitve na vratno hrbtenico. Marks idr. (2025) opozarjajo, da lahko neustrezno prilagojena oprema pri mlajših otrocih povzroča neugodje, utrujenost ali napetost v vratu, zlasti ob daljši uporabi. Na uporabniško izkušnjo vplivajo tudi razlike v interpupilarni razdalji (IPD), saj odstopanja od nastavitvev, optimiziranih za odra-

sle, lahko zmanjšajo ostrino slike in povečajo napor vidnega sistema; variabilnost IPD je bila prepoznana kot relevanten oblikovalski izziv za sisteme navidezne resničnosti (Hibbard et al., 2020).

Posebno pozornost zahteva tudi t. i. **konflikt med konvergenco in akomodacijo** (ang. *Vergence–Accommodation Conflict*), ki je značilen za večino današnjih naglavnih prikazovalnikov. V navideznem okolju prihaja do neskladja med konvergenco oči in akomodacijo očesne leče: oči se usmerjajo proti navidezni razdalji predmeta, medtem ko ostaja ostrenje prilagojeno dejanski razdalji zaslona. Pri odraslih lahko to povzroča utrujenost oči, glavobol ali občutek naprežanja, pri otrocih pa je potrebna še posebna previdnost, saj se njihov vid še razvija, dolgoročni učinki uporabe teh tehnologij pa še niso dovolj raziskani (Marks idr., 2025). Trenutno ni zanesljivih dokazov o trajnih negativnih posledicah, vendar literatura poudarja previdnost zaradi omejenosti longitudinalnih podatkov. Kot širši kontekst obremenitev vidnega sistema pri otrocih je relevantno tudi poročanje o akutnih težavah z vidom ob povečani rabi digitalnih naprav v času pandemije, kar sicer ni specifično za tehnologije razširjene resničnosti, a podpira logiko previdnosti pri intenzivnih interakcijah z zasloni (Cortés-Albornoz idr., 2022).

Drugi pomemben vidik je pojav **kibernetske slabosti** (ang. *Cybersickness*), ki opisuje slabost zaradi neskladja med vidnimi dražljaji in občutkom gibanja. Vključuje simptome, kot so slabost, omotica, dezorientacija in potenje. Ti simptomi so povezani z neskladjem med vizualnimi informacijami in sistemom za ravnotežje (Groen in Bos, 2008; Reason in Brand, 1975). Raziskave kažejo, da so otroci lahko bolj občutljivi na takšne senzorične konflikte, zlasti v obdobju med približno 7. in 12. letom starosti, ko se sistem ravnotežja še razvija (Marks idr., 2025). Intenzivnost simptomov je odvisna od kakovosti grafike, latence sistema (časovni zamik med uporabnikovim gibom in odzivom sistema), hitrosti gibanja v navideznem okolju ter trajanja izpostavljenosti. Sistematični pregled varnostnih vidikov uporabe navidezne resničnosti pri otrocih sicer nakazuje, da so poročani simptomi večinoma blagi, vendar so rezultati heterogeni in močno odvisni od uporabljenih strojne in programske opreme ter zasnove izkušenj (Bexson idr., 2024).

Poleg zaznavnih učinkov se odpirajo tudi vprašanja fizične varnosti v prostoru. Poglobitvena izkušnja lahko zmanjša zaznavanje realnega okolja, kar povečuje tveganje za trke ali padce, zlasti v manj nadzorovanih okoljih. V šolskem kontekstu je to tveganje mogoče zmanjšati z ustrezno organizacijo prostora in nadzorom, vendar zahteva dodatno organizacijsko pozornost (Marks idr., 2025).

V literaturi je trenutno več skladnih ugotovitev o neposrednih, kratkotrajnih telesnih in senzoričnih odzivih na uporabo tehnologij razširjene resničnosti pri otrocih in mladostnikih kot pa o morebitnih dolgoročnih vplivih, ki ostajajo nezadostno raziskani. Zato je pri presoji smiselno izhajati iz konkretne vrste naprave, kakovosti izvedbe ter trajanja in načina uporabe (Bexson idr., 2024; Marks idr., 2025).

Nasveti za preprečevanje tveganja

Glede na trenutno omejeno razumevanje dolgoročnih učinkov je smiselno izhajati iz načela previdnosti. To vključuje prilagajanje uporabe tehnologije starosti učencev in njihovim razvojnim značilnostim, skrbno načrtovanje trajanja dejavnosti ter zagotavljanje varnega in nadzorovanega prostora za izvedbo aktivnosti.

4.2.2 Tveganja za kognitivni razvoj

Tehnologije razširjene resničnosti posegajo tudi v kognitivne procese, kot so pozornost, delovni spomin, prostorsko zaznavanje in presojo realnosti. Ker se te funkcije v otroštvu in adolescenci postopno razvijajo, je pri presoji tveganj treba upoštevati razvojne razlike med mlajšimi otroki, šolarji in mladostniki (Marks idr., 2025).

Mlajši otroci imajo omejeno kapaciteto delovnega spomina, manj razvite strategije nadzora pozornosti ter težje filtrirajo nerelevantne dražljaje. V poglobitvenih okoljih, kjer je prisotna visoka stopnja vizualne in zvočne stimulacije, lahko to vodi v povečano kognitivno obremenitev in zmanjšano samoregulacijo (Marks idr., 2025). Eksperimentalne raziskave kažejo, da delovni spomin in kognitivni nadzor pri otrocih in mladostnikih še nista na ravni odraslih, kar vpliva na sposobnost obvladovanja kompleksnih veččutnih okolij (Spronk in Jonkman, 2012). Pomembno je poudariti, da tehnologije razširjene resničnosti ne pomenijo zgolj dodatnega zaslona, temveč okolje z visoko stopnjo čutne intenzivnosti in interaktivnosti. Če vsebinska zasnova ne upošteva razvojne stopnje uporabnikov, se lahko zgodi preobremenitev, dezorientacija ali zmanjšana sposobnost osredotočenega učenja. Hkrati pa literatura opozarja, da so negativni učinki močno odvisni od starosti, trajanja uporabe ter stopnje strukturiranosti dejavnosti (Marks idr., 2025).

Posebno vprašanje je razlikovanje med navidezno in realno izkušnjo. Raziskave so pokazale, da mlajši otroci težje ločijo med dogodki, ki so se zgodili v navideznem okolju, in dejanskimi izkušnjami. Segovia in Bailenson (2009) sta ugotovila, da so otroci, stari 6–7 let, po aktivnosti v navidezni resničnosti poročali o spominih, ki so jih doživljali kot resnične, čeprav so bili del simulacije. Takšne ugotovitve se navezujejo na širšo literaturo o lažnih spominih v otroštvu (Hyman et al., 1995) ter odpirajo vprašanje, koliko lahko visoka stopnja poglobitve vpliva na oblikovanje in interpretacijo izkušenj.

Pri starejših otrocih in mladostnikih so sposobnosti abstraktnega mišljenja, zavzemanja različnih perspektiv in prostorske orientacije že bolj razvite, kar omogoča kompleksnejšo obdelavo tridimenzionalnih vsebin (Piaget, 1954, 1972). Raziskave zaznavanja prisotnosti v navideznih okoljih kažejo, da je subjektivna izkušnja poglobitve povezana s stopnjo kognitivnega razvoja in sposobnostjo prostorskega mišljenja (Hite idr., 2019). Kljub temu tudi v adolescenci izvršilne funkcije, zlasti presoja tveganj in inhibicijski nadzor, še niso v celoti dozorele, kar lahko vpliva na vedenje v poglobitvenih okoljih (Marks idr., 2025).

Tudi na področju kognitivnega razvoja so razpoložljive znanstvene študije pretežno kratkoročne in pogosto odvisne od laboratorijskih ali kliničnih razmer. Zato je pri vključevanju tehnologij razširjene resničnosti v izobraževanje potrebna razvojno diferencirana presoja, ki upošteva starost učencev, kompleksnost vsebine in intenzivnost izkušnje.

Nasveti za preprečevanje tveganja

Pri mlajših otrocih je zaradi razvojne občutljivosti kognitivnih funkcij potrebno še posebej previdno prestopati k uporabi tehnologij razširjene resničnosti. Uporaba ni splošno priporočljiva, temveč jo je potrebno presojati glede na starost otrok, njihove razvojne značilnosti, zahtevnost vsebine in stopnjo strukturiranosti dejavnosti.

4.2.3 Tveganja za psihosocialni razvoj

Uporaba tehnologij razširjene resničnosti posega tudi v področje psihosocialnega razvoja, ki med drugim vključuje oblikovanje identitete, razvoj empatije, vzpostavljanje vrstniških odnosov ter učenje socialnih norm. Ker so socialne izkušnje v otroštvu in adolescenci ključne za razvoj čustvene regulacije, samopodobe in pripadnosti, je potrebno potopitvene digitalne izkušnje presojati tudi z vidika njihovega vpliva na socialno učenje (Erikson, 1963; Rubin idr., 2006; Vygotsky in Cole, 1978).

Okolja razširjene resničnosti omogočajo interakcije, ki vključujejo telesno gibanje in prostorsko umeščenost uporabnika, kar lahko okrepi občutek prisotnosti in socialne bližine. Raziskave kažejo, da lahko navidezne izkušnje pod določenimi pogoji spodbujajo empatijo in razumevanje perspektive drugega (Shin, 2018; Raposo idr., 2023). Intervencije razširjene resničnosti so se izkazale kot uspešne za razvoj socialnih in komunikacijskih spretnosti pri otrocih z avtizmom (Astafeva idr., 2024; Bravou idr., 2022) ter za vadbo zavračanja tveganih vedenj pri mladostnikih (Weser idr., 2021).

Vendar pa poglobitev, ki omogoča pozitivne učinke, hkrati povečuje intenzivnost negativnih izkušenj. Raziskave opozarjajo, da lahko določene vrste navideznih vsebin povzročijo tudi nasprotno učinke, pri katerih se namesto povečane empatije zmanjšajo čustvena odzivnost ali obrambne reakcije (Sora-Domenjó, 2022). Dodatno tveganje so lahko intenzivni stresni odzivi, saj nekatere študije kažejo, da lahko navidezne stresne situacije sprožijo fiziološke reakcije, podobne tistim v realnih okoliščinah (Martens idr., 2019).

Posebno področje tveganj so spletne socialne interakcije v razširjeni resničnosti, kjer se otroci in mladostniki srečujejo z drugimi uporabniki v skupnih navideznih prostorih. Tako kot pri družbenih omrežjih tudi tukaj obstaja tveganje za spletno nadlegovanje, neprimerno komunikacijo, izpostavljenost škodljivim vsebinam ter kršitve zasebnosti (Chochol idr., 2023). Zaradi telesne poglobitve in občutka prisotnosti so lahko takšne izkušnje subjektivno intenzivnejše kot pri klasični rabi zaslonov (Marks idr., 2025). Razvojno gledano je adolescenca obdobje povečane občutljivosti na vrstniške vplive in tveganje (Hartup, 1998; Steinberg, 2007). V navideznih okoljih, kjer so odzivi drugih upo-

rabnikov pogosto takojšnji in vidni, je zato smiselno upoštevati možnost večjega pritiska skupine in hitrejšega, manj preišljenega odzivanja posameznikov (Marks idr., 2025).

Dodatno področje razmisleka so interakcije z računalniško vodenimi liki, zlasti kadar je njihovo vedenje podprto z generativno umetno inteligenco. Pri mlajših otrocih, ki še razvijajo sposobnost razlikovanja med navideznimi in realnimi osebami, se lahko pojavi nejasnost glede narave takšnega sogovornika in njegovega statusa (Marks idr., 2025). Ob tem je treba poudariti, da so otroci zaradi starosti, omejenega znanja, manjše socialne in digitalne izkušenosti ter še ne povsem razvite kritične presoje posebej ranljivi za vpliv socialno odzivnih digitalnih likov. Tovrstne interakcije lahko spodbujajo pretirano zaupanje, čustveno navezanost in večjo usmerjenost v navidezne odnose, hkrati pa povečujejo tveganje za manipulacijo, lažno identitetno predstavljanje in druge oblike zlorab v digitalnem okolju.

Nasveti za preprečevanje tveganja

Empirična baza o psihosocialnih učinkih tehnologij razširjene resničnosti pri otrocih in mladostnikih je še vedno omejena in pogosto temelji na kratkotrajnih intervencijah, zato širših razvojnih učinkov trenutno ni mogoče zanesljivo presojati. Prav zaradi te negotovosti je potreben izrazito previden pristop, zlasti pri mlajših otrocih in v odprtih socialnih okoljih. Potopitvena izkušnja lahko okrepi socialno doživljanje, kar pomeni, da niso intenzivneje doživete le pozitivne, temveč tudi negativne izkušnje, kot so izključevanje, zasmehovanje, pritisk vrstnikov, manipulacija ali neprimerni socialni stiki. Uporaba teh tehnologij zato ne bi smela potekati brez nadzora odraslih. Pomembno je, da odrasli uporabo spremljajo, opazujejo otrokove odzive, se z otrokom o izkušnji pogovarjajo ter pravočasno prepoznajo morebitne znake stiske, pretirane navezanosti ali neustreznih socialnih vplivov. Pri tem imajo posebno odgovornost starši in strokovni delavci, saj lahko le z aktivnim spremljanjem, postavljanjem meja in pravočasnim odzivanjem zmanjšujejo psihosocialna tveganja.

Priporočilo

Predlagamo upoštevanje priporočil, ki so predstavljena v 7. poglavju z naslovom Smernice za uporabo tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu.

POGLAVJE 5

Vloga in potencial razširjene resničnosti v izobraževanju

V poglavju je predstavljeno, kako različne paradigme razumejo vlogo in potencial razširjene resničnosti v izobraževanju ter kako te perspektive oblikujejo razmerja med tehnologijo, učitelji in učenci. Na eni strani se pojavlja perspektiva, ki razširjeno resničnost obravnava kot sredstvo za večjo avtomatizacijo učnega procesa in delno preoblikovanje učiteljeve vloge. Na drugi strani so kritične perspektive, ki opozarjajo na tveganja kognitivne preobremenjenosti, na etične dileme ter možne negativne vplive na razvoj učencev. Med obema skrajnostima se uveljavlja tretja perspektiva, ki razširjeno resničnost obravnava kot dopolnilo in podporo pedagoškemu delu ter kot orodje, ki razširja učne možnosti, ne da bi ob tem nadomestila učitelja. Poglavje v prepletu teh perspektiv odpira razmislek o okoliščinah, v katerih je razširjeno resničnost mogoče odgovorno in smiselno umeščati v sodobno, na učenca se osredotočeno vzgojno-izobraževalno prakso.

5.1 Paradigme umeščanja razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni proces

5.1.1 Razširjena resničnost kot sredstvo za večjo avtomatizacijo učnega procesa in preoblikovanje učiteljeve vloge

Paradigma, ki razširjeno resničnost obravnava kot možno nadomestilo za posamezne vidike učiteljevega dela, izhaja iz predpostavke, da lahko te tehnologije postopoma prevzamejo del nalog, ki jih danes opravlja učitelj. Z razvojem inteligentnih tutorjev, avatarjev in navideznih pedagogov se odpira možnost, da se nekatere učne dejavnosti izvajajo bolj avtomatizirano, individualizirano in tudi brez neposredne fizične prisotnosti učitelja.

Sodobni sistemi razširjene resničnosti namreč omogočajo navidezne agente, ki lahko nastopajo kot učitelji ali tutorji. Ti lahko z učenci komunicirajo v realnem času, spremljajo njihovo odzivanje in vedenje ter glede na to prilagajajo razlago, tempo ali zahtevnost nalog z uporabo umetne inteligence (Liarokapis idr., 2024). Nekatere raziskave

kažejo, da so takšni agenti pri določenih učnih situacijah primerljivo učinkoviti kot človeški tutorji, v nekaterih primerih pa so poročali celo o boljših rezultatih (Pai idr., 2021; Ward idr., 2013). Takšni agenti, običajno v obliki tridimenzionalnih navideznih avatarjev, ki so umeščeni v navidezno ali obogateno okolje, pogosto uporabljajo večmodalno komunikacijo, torej kombinacijo glasu, pogleda, gest in gibanja glave, kar ustvarja bolj realistično in prepričljivo učno izkušnjo. Izsledki študij kažejo, da večja stopnja posebnosti agenta, ki deluje kot navzoč sogovornik, pripomore k boljšim učnim rezultatom, saj učenci agenta zaznajo kot prisotno in odzivno osebo (Ba idr., 2021; Fountoukidou idr., 2019).

Hkrati pa raziskave opozarjajo tudi na omejitve in tveganja. Navidezni agenti, ki ponujajo protislovne informacije, lahko povzročijo začasno zmedo, kar pri nekaterih učencih spodbuja refleksijo, pri drugih pa vodi v preobremenitev in zmanjšano učinkovitost (D'Mello idr., 2011). Dodatna težava je vprašanje nadzora in personalizacije. Učenci namreč lahko dosežejo boljše rezultate, kadar imajo možnost izbrati vrsto ali značaj agenta, s katerim sodelujejo. To nakazuje, da prisilna standardizacija učnih okolij razširjene resničnosti lahko zmanjša občutek avtonomije učenca in s tem odpira etična vprašanja o nadzoru nad učenjem (Behrend in Thompson, 2012).

Te ugotovitve kažejo, da lahko razširjena resničnost prevzame predvsem tiste naloge učiteljev, ki so povezane z razlago, ponazarjanjem, vodenjem vaj in sprotnim prilagajanjem nalog. Težje pa je z njimi nadomestiti vidike učiteljevega dela, ki so močno povezani s človeškim odnosom: mentorstvo, pedagoška presoja, spodbujanje motivacije, reševanje socialnih situacij in ustvarjanje varnega učnega okolja. Ob tem je treba upoštevati tudi, da širšo uporabo takšnih rešitev omejujejo številni praktični dejavniki, med njimi dostopnost opreme, finančni stroški, tehnična podpora, usposobljenost učiteljev in še vedno razmeroma omejena razširjenost tovrstnih oblik izobraževanja. Zato se kot ključno vprašanje ne postavlja le, ali lahko razširjena resničnost prevzame vlogo učitelja, temveč predvsem, kako se ob njenem uvajanju spreminja učiteljeva vloga in katere razsežnosti učiteljevega dela ni mogoče preprosto prenesti na tehnologijo.

5.1.2 Kritični pogledi na uporabo razširjene resničnosti

Kljub velikim pričakovanjem, ki jih vzbuja tehnologije razširjene resničnosti v izobraževanju, se pojavljajo tudi pomembna opozorila in argumenti za zadržan pristop pri njihovi uporabi. Med ključnimi razlogi za previdnost so vprašanja zasebnosti, varnosti, etike in regulacije. Sistemi razširjene resničnosti, podprti z umetno inteligenco (npr. navidezni tutorji, avatarji ali drugi digitalni agenti, ki se odzivajo na uporabnika), pogosto zahtevajo obsežen dostop do osebnih in občutljivih podatkov, kar povečuje tveganja za posege v zasebnost posameznika ter za nepooblaščen dostop ali zlorabo podatkov. Obstaja tudi tveganje, da bi takšni sistemi vplivali na uporabnikovo vedenje, preference ali prepričanja, kar lahko posega v njegovo avtonomijo, identiteto in vrednote. Ti pomisleki vodijo do institucionalnih in zakonodajnih omejitev, katerih cilj je preprečiti nepremišljeno uporabo razširjene resničnosti v učilnicah, dokler niso vzpostavljeni jasni etični in pravni okviri (Liarokapis idr., 2024).

Dodatno raziskave kažejo, da daljša prisotnost v navideznem okolju lahko povzroči fiziološke simptome, kot so slabost, omotica, motnje ravnotežja, ki se v literaturi pojavlja kot pojav, znan kot kibernetska slabost (ang. *Cybersickness*). Zaradi razvojnih značilnosti otrok in mladostnikov je pri tej populaciji potrebna posebna previdnost, saj se lahko odziv na takšne obremenitve razlikuje od odziva pri odraslih (Weech, 2019).

Institucionalno in regulativno gledano se uveljavlja stališče, da uvedba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni kontekst zahteva jasna pravila, politike in etične standarde. Primeri obravnave varnosti in zasebnosti v razširjeni resničnosti dokazujejo, da je tehnična infrastruktura pogosto bolj pripravljena kot institucionalni procesi, ki bi zagotavljali ustrezno zaščito uporabnikov (Dincelli, 2024). Zaradi teh razlogov mnogi predlagajo začasno omejitvev ali usmerjeno pilotno uvedbo razširjene resničnosti s stalnim nadzorom neželenih učinkov in z zagotovitvijo, da učitelji in institucije ostanejo aktivni nosilci učnega procesa – ne zgolj posredniki ali opazovalci.

5.1.3 Uporaba razširjene resničnosti kot dopolnitve

V paradigmi, kjer razširjena resničnost dopolnjuje obstoječe oblike izobraževanja, se tehnologije razširjene resničnosti umeščajo kot podpora učitelju in ne kot njegova zamenjava. Tak pristop temelji na prepričanju, da lahko njihova preiščljena uporaba obogati poučevanje in učenje, saj omogoča raziskovanje, urjenje veščin ter izkustveno učenje v tridimenzionalnih okoljih, varnih simulacijah in v kontekstih, ki bi bili sicer nepraktični, predragi ali neizvedljivi (Avila-Garcón, 2021; Burke idr., 2025). V tem okviru razširjena resničnost služi kot orodje, ki obogati obstoječe učne prakse ter spodbuja sodelovanje, motivacijo in ustvarjalnost učencev. Uporabniki lahko v okoljih razširjene resničnosti manipulirajo s 3D objekti, raziskujejo procese, dostopajo do nevidnih vidikov pojavov in preizkušajo avtentične naloge v varnem, a realističnem kontekstu (Liarokapis idr., 2024).

V okoljih razširjene resničnosti lahko uporabniki neposredno upravljajo z digitalnimi tridimenzionalnimi objekti, raziskujejo kompleksne procese, dostopajo do nevidnih vidikov pojavov, na primer do notranje zgradbe ali poteka dinamičnih sprememb, ter preizkušajo avtentične naloge v varnem okolju, ki je podobno realističnemu (Liarokapis idr., 2024). Posebej obetavna je tudi uporaba navideznih agentov. To so digitalni liki ali računalniško vodeni sogovorniki, ki so umeščeni v navidezno okolje in lahko z uporabnikom komunicirajo na različne načine. Delujejo lahko kot razlagalci, mentorji, vodniki ali sodelujoči partnerji pri reševanju nalog. Kadar dopolnjujejo delo učitelja, na primer pri individualiziranem učenju, ponavljanju ali vajah, ki zahtevajo aktivno sodelovanje, lahko pomembno pripomorejo k učnemu procesu. Raziskave kažejo, da dinamični agenti z več komunikacijskimi modalnostmi, kot so pogled, geste in govor, povečujejo vključenost učencev ter podpirajo prenos znanja v nove situacije (Craig idr., 2015).

Tehnologije razširjene resničnosti, ko so vključene kot dopolnilo h klasičnemu pouku in ne kot popolna zamenjava, pripomorejo k večji motivaciji učencev, večji angažiranosti in boljšemu prenosu znanja. Sistematični pregled razširjene resničnosti v višjih stopnjah izobraževanja je na primer pokazal, da so med glavnimi učnimi nameni uporabe

razširjene resničnosti simulacija, vizualizacija, reševanje problemov in igre, kar podpira didaktično dopolnitev standardnega učnega procesa (Burke idr., 2025).

Med ključno pedagoško vrednostjo modela dopolnitve je tudi to, da tehnologije razširjene resničnosti učitelju omogočajo ohraniti osrednjo vlogo. Učitelj ostaja načrtovalec učnih izkušenj, moderator interakcij in mentor učnih procesov, razširjena resničnost pa prevzame rutinske in pogosto časovno zahtevne naloge, kot so ponavljanje, vizualizacije in simulacije. S tem se učitelju sprost prostor za bolj poglobljeno didaktično delo, na primer za načrtovanje smiselnih učnih dejavnosti, sprotno diagnostično spremljanje ter ciljno podporo posameznikom ali skupinam. Takšna kombinacija podpira tudi prilagajanje učnih poti. Učenci lahko samostojno raziskujejo in napredujejo v svojem tempu, učitelj pa ima boljše pogoje, da učenje spremlja, ga usmerja in pravočasno posreduje tam, kjer je to najbolj potrebno in utemeljeno.

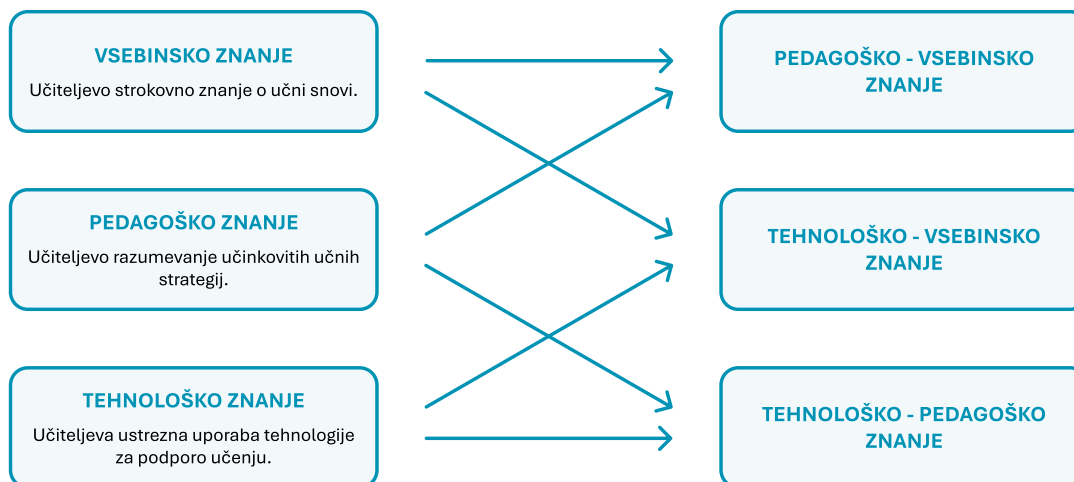
5.2 Modeli uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju

V nadaljevanju poglavja so predstavljeni izbrani modeli, ki pomagajo razumeti in načrtovati uporabo tehnologij razširjene resničnosti v izobraževanju. Modeli se med seboj razlikujejo glede na to, kaj vzamejo za izhodišče; nekateri izhajajo iz učiteljevega znanja in kompetenc, drugi iz stopnje pedagoške preobrazbe učnih nalog, tretji pa iz mehanizmov učenja v različnih digitalnih okoljih. Skupni namen teh okvirov je ponuditi jasnejša merila za presojo, kdaj tehnologije razširjene resničnosti učni proces dejansko izboljšajo in kako jih smiselno povezati z učnimi cilji, vsebino, didaktičnimi pristopi ter kontekstom izvedbe.

5.2.1 Model TPACK

Model integriranega tehnološko-pedagoško-vsebinskega znanja (ang. *Technological Pedagogical Content Knowledge*) je okvir za premišljeno in učinkovito vključevanje tehnologije v izobraževanje. Temelji na starejšem konceptu pedagoško-vsebinskega znanja (ang. *Pedagogical Content Knowledge* – PCK), ki ga je leta 1986 predstavil Lee S. Shulman. Ta koncept povezuje predmetno strokovno znanje s pedagoškim znanjem in opisuje, kako naj učitelj poučevanje organizira, prilagodi in predstavi, da bo čim učinkoviteje poučeval določeno učno vsebino (Shulman, 1986). Ker je informacijsko-komunikacijska tehnologija postajala vse pomembnejši del šolskega okolja, sta dve desetletji kasneje Punya Mishra in Matthew J. Koehler model nadgradila z vključitvijo tehnološkega znanja, s čimer je nastal model TPACK.

Model TPACK v izobraževalno prakso vključuje sposobnost učitelja za učinkovito uporabo digitalnih orodij in virov (programske in strojne opreme) za izboljšanje učnega procesa (Mishra in Koehler, 2006). Poudarja kompleksno prepletanje treh ključnih področij znanja učitelja, ki se prekrivajo na več ravneh in tvorijo tri povezane koncepte (slika 5.1).

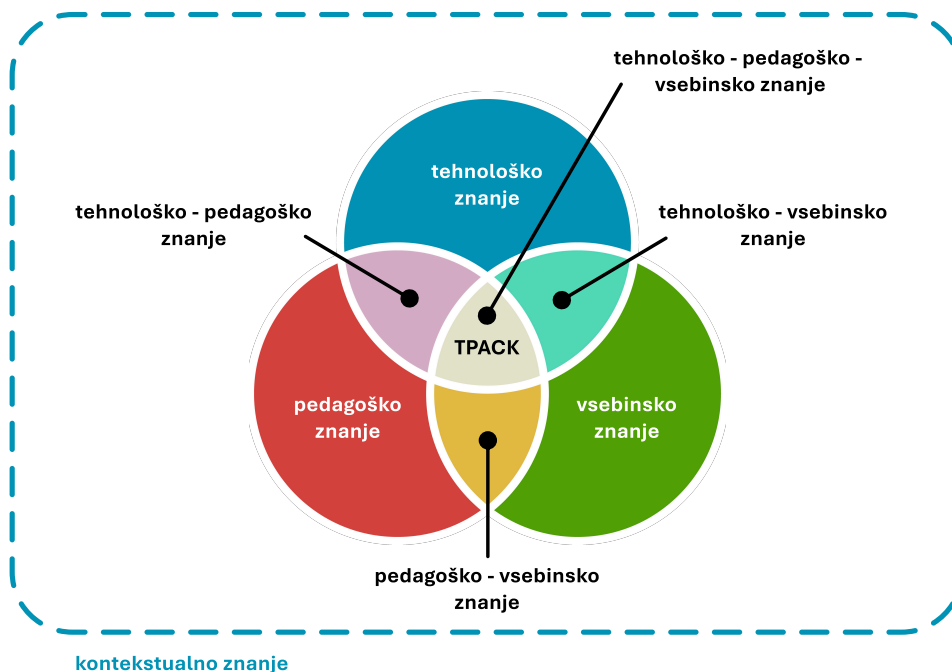


Slika 5.1: Preplet treh ključnih področij učiteljevega znanja in njihove integracije.

V središču prepletanja ključnih področij učiteljskega znanja in izhajajočih konceptov je TPACK, ki s celostnim razumevanjem pojasnjuje, kako smiselno vključiti tehnologijo v poučevanje, da podpre vsebino in pedagoške pristope. Model TPACK je pogosto prikazan kot Vennov diagram (slika 5.2), kjer prekrivajoča se področja ponazarjajo, kako so vsebinsko, pedagoško in tehnološko znanje medsebojno povezana ter kako mora učitelj ta znanja usklajevati za zagotavljanje kakovostnega poučevanja.

Ena ključnih prednosti modela TPACK je, da učiteljem pomaga razumeti pomen smiselnega povezovanja tehnoloških, vsebinskih in pedagoških znanj pri načrtovanju vzgojno-izobraževalnega procesa. Poučevanje je kompleksen proces, v katerem posamezne odločitve redko zahtevajo le eno področje, zato model spodbuja razmislek o tem, kako se ta tri področja prepletajo in vplivajo druga na drugo. S poudarjanjem potrebe po uravnoteženem pristopu TPACK ponuja praktičen in realističen okvir za smiselno vključevanje tehnologije v pouk, kar je bistveno za razvoj učinkovitih in sodobnih pedagoških praks (Koehler in Mishra, 2009). Model TPACK je lahko tudi dragoceno reflektivno orodje, ki učiteljem pomaga premisliti, ali so pri vključevanju razširjene resničnosti ustrezno povezali učno vsebino, pedagoške in didaktične pristope in tehnologijo. Ta vidik modela je posebej koristen pri načrtovanju učnih dejavnosti, saj spodbuja premišljeno uporabo tehnologije, ki resnično podpira učenje in ne moti učnega procesa (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Pri uporabi modela TPACK se v praksi lahko pojavijo nekateri izzivi. Učitelji pogosto ugotavljajo, da so nekateri deli modela preveč splošni, drugi pa preveč natančni, da bi jih preprosto prenesli v konkretne učne situacije. Število različnih vrst znanja (kar sedem) lahko povzroča zmedo, predvsem pri razločevanju med podobnimi področji, na primer med tehnološkim znanjem in tehnološko-vsebinskim znanjem. Model tudi ne upošteva dovolj širšega učnega konteksta, kot so prepričanja učiteljev, šolske kulture ali institucionalne podpore za digitalno preobrazbo. Ti dejavniki močno vplivajo na to, kako in ali bo tehnologija sploh učinkovito vključena v pouk, vendar so v okviru TPACK večinoma spregledani, kar lahko omeji njegovo uporabnost v praksi (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).



Slika 5.2: TPACK-model kot preplet tehnološkega (TK), pedagoškega (PK) in vsebinskega znanja (CK) z upoštevanjem učnega konteksta.

5.2.2 Model SAMR

Model SAMR (kratica za *Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*) je izhodišče za vrednotenje in izboljšanje tehnološke integracije v pouk. Razvil ga je Ruben R. Puentedura z namenom, da učiteljem pomaga razmisliti, kako in zakaj uporabljajo tehnologijo, ter da jih podpre pri pedagoškem napredovanju, ko tehnologijo vse bolj samozavestno vključujejo v svojo prakso (Caukin in Trail, 2019).

Puentedura je stopnje modela SAMR povezal tudi s kognitivnimi domenami revidirane Bloomove taksonomije učnih ciljev (Wahyudi Avadian idr., 2023), ki zajema šest ravni (poznavanje, razumevanje, uporaba, analiza, sinteza oz. vrednotenje, ustvarjanje).

Model opisuje štiri stopnje vključevanja tehnologije v pouk (slika 5.3): zamenjava, nadgradnja, preoblikovanje in redefinicija (Jedrinović idr., 2020). Prvi dve stopnji, zamenjava in nadgradnja, praviloma pomenita izboljšavo trenutnih praks, preoblikovanje in redefinicija pa pomenita transformacijo učnih nalog in učne izkušnje (Beganović Sambolić idr., 2023).

Slika 5.3 prikazuje, da zamenjava in nadgradnja navadno sovpadata z ravnmi pomnjenja, razumevanja in uporabe, medtem ko preoblikovanje in redefinicija bolj ustrežata ravnem analize, vrednotenja in ustvarjanja, ki zahtevajo kompleksnejše miselne procese (Caukin in Trail, 2019).



Slika 5.3: Model SAMR

S - Zamenjava

Zamenjava (ang. *Substitution*) je običajno začetna in najbolj neposredna stopnja v modelu SAMR, saj praviloma ne zahteva večjih sprememb v zasnovi učnega procesa. Na tej ravni tehnologija predvsem nadomesti tradicionalno učno orodje ali metodo, pri čemer učna naloga ostane po svoji strukturi in ciljnih enaka. Učenci na primer namesto pisanja z roko nalogo pripravijo v urejevalniku besedil ali namesto tiskanega gradiva berejo besedilo v spletni obliki (Caukin in Trail, 2019). Ker je zamenjan predvsem medij, zamenjava sama po sebi navadno ne spodbuja novih kognitivnih procesov pri učencih (Jedrinović idr., 2020). Čeprav je to najosnovnejša oblika integracije tehnologije v razredu, je lahko zelo koristna, če jo uporabimo premišljeno. Včasih je preprosta zamenjava tehnologije najprimernejša izbira, če to ustreza učnim ciljem (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Ključno vprašanje, ki si ga učitelj na tej stopnji zastavi, je, kaj konkretno pridobi z zamenjavo naloge ali orodja s tehnologijo (Caukin in Trail, 2019).

A - Nadgradnja

Na drugi stopnji, imenovani nadgradnja (ang. *Augmentation*), tehnologija še vedno neposredno nadomešča tradicionalno orodje, vendar z bistvenimi izboljšavami v izkušnji učenca (Beganović Sambolić idr., 2023) in funkcionalnostmi, ki spodbujajo kognitivne procese učencev (Jedrinović idr., 2020).

Pri tem učitelj presoja, ali nova tehnologija nalogi doda vrednost, ki je z analognim pristopom težje dosegljiva, na primer z možnostjo sprotne povratne informacije, prilagoditve, označevanja, večpredstavnostne podpore ali lažjega sodelovanja. Ključno vprašanje na tej stopnji je, ali na novo vpeljana tehnologija doda nove funkcije, ki izboljšajo nalogo (Caukin in Trail, 2019).

M - Preoblikovanje

Na stopnji preoblikovanja (ang. *Modification*) tehnologija ne deluje več le kot izboljšava obstoječe naloge, temveč omogoči njeno bistveno preureditev. Gre za prehod od nadgradnje k transformaciji, pri čemer se spremeni zasnova učne dejavnosti, pogosto tudi pričakovani učni izidi, s tem pa se praviloma okrepijo višji kognitivni procesi, kot so analiza, presojanje in problemsko reševanje (Jedrinović idr., 2020). Nastane dejanska sprememba zasnove učne ure in njenih rezultatov (Caukin in Trail, 2019).

R - Redefinicija

Stopnja redefinicije (ang. *Redefinition*) je najvišja stopnja v modelu SAMR. Na tej ravni tehnologija ne služi več le izboljšavi ali preoblikovanju obstoječe naloge, temveč omogoča povsem nove vrste učnih dejavnosti, ki jih brez tehnologije ne bi mogli izpeljati. Na tej stopnji si zastavimo vprašanje, ali tehnologija omogoča učne naloge, ki jih brez nje ne bi bilo mogoče izvesti (Caukin in Trail, 2019).

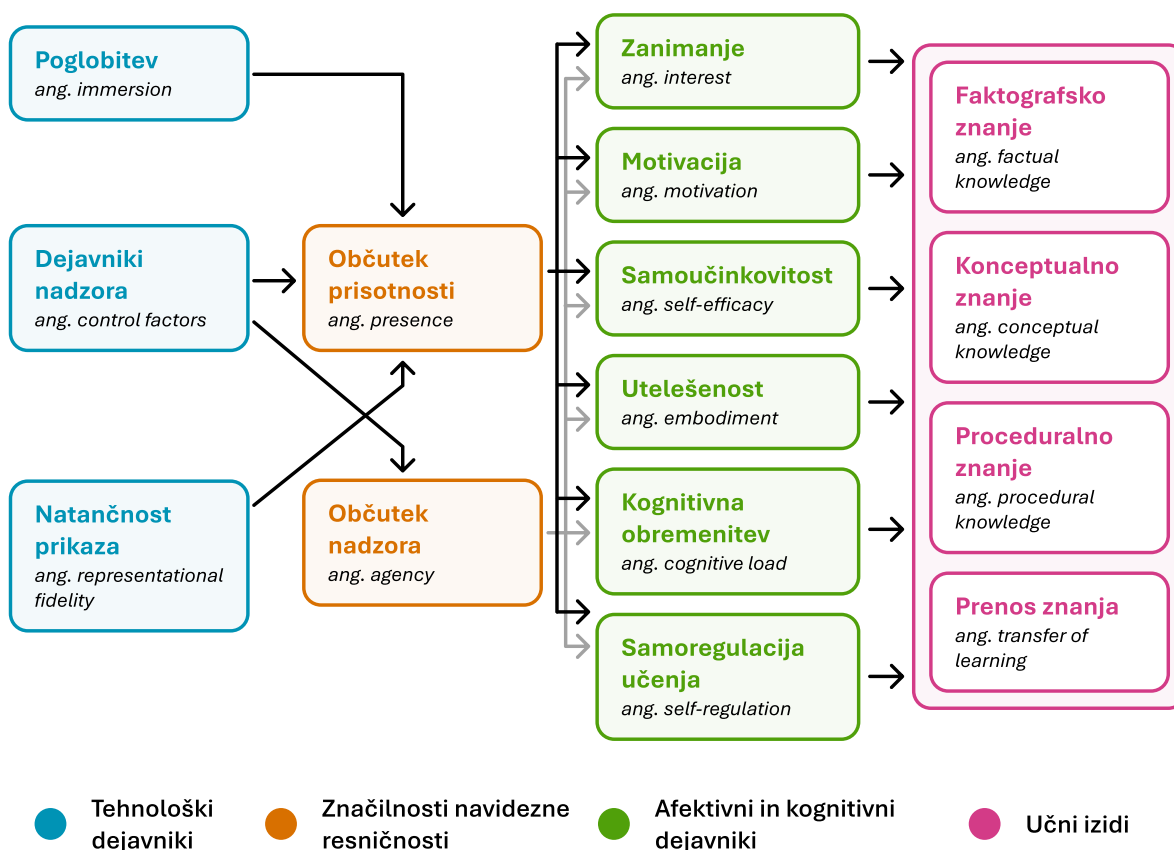
Model SAMR je orodje, ki učiteljem pomaga oceniti in izboljšati uporabo tehnologije pri poučevanju. Spodbuja jih, naj tehnologije ne uporabljajo le kot zamenjavo za tradicionalna orodja (na primer digitalni zvezek namesto papirja), temveč kot sredstvo za razvijanje višjih miselnih procesov učencev, kot so odločanje, presojanje, sklepanje, reševanje problemov in ustvarjalnost (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Namen modela je vzpostaviti skupni jezik med učitelji različnih predmetov, podpreti personalizirano učenje ter pomagati učencem bolje razumeti zapletene pojme z uporabo digitalnih orodij. Še posebej je učinkovit pri pouku na daljavo ali kombiniranem učenju, saj omogoča bolj povezano in prilagodljivo sodelovanje med učitelji in učenci (PowerSchool, 2021).

Ena glavnih prednosti modela SAMR je njegova preprostost in preglednost, saj učiteljem ponuja jasen okvir za vključevanje tehnologije v pouk ter prikazuje njen potencial za izboljšanje učnih izkušenj. Vendar pa je prav ta preprostost lahko tudi njegova šibka točka. Zaradi hierarhične zgradbe se zdi, da so višje ravni vedno boljše, kar pa v praksi ni nujno, saj je ustreznost uporabe tehnologije odvisna od učnega konteksta.

Model se večinoma osredotoča na končni rezultat oziroma končni izdelek uporabe tehnologije, manj pa na pedagoške procese, ki do tega vodijo. Zato je njegova uporabnost pri bolj zapletenih učnih strategijah omejena. Čeprav učinkovito pokaže, kako lahko tehnologija spremeni učne naloge in poveča vključenost učencev, ne upošteva širših dejavnikov, kot so učiteljeva prepričanja, razpoložljivi viri in potrebe učencev. V okoljih z omejenimi tehničnimi sredstvi ali podporo je njegova uporabnost lahko precej omejena (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

5.2.3 Model CAMIL

Model CAMIL, kognitivno-afektivni model izkušnje poglobljenega učenja (ang. *Cognitive Affective Model of Immersive Learning*), predstavlja celovit okvir za razumevanje, kako izkušnja uporabe navidezne resničnosti vpliva na učne procese. Nastal je kot odgovor na hitro naraščajočo uporabo tehnologij navidezne resničnosti v izobraževanju in potrebo po teoretičnem okviru, ki bi usmerjal njeno uporabo (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Model sta leta 2021 razvila Guido Makransky in Gustav Petersen z namenom poenotenja obstoječih raziskav z uporabo navidezne resničnosti na področju izobraževanja ter pojasnitve, kako različni kognitivni in afektivni dejavniki medsebojno vplivajo na učenje (Makransky in Petersen, 2021).



Slika 5.4: Kognitivno-afektivni model učenja v navidezni resničnosti (model CAMIL).

Model CAMIL (slika 5.4) se opira na raziskave, ki kažejo, da je mogoče tradicionalne učne metode prilagoditi okoljem, ki vključujejo izkušnjo uporabe navidezne resničnosti. Hkrati poudarja, da značilnosti tovrstnih tehnologij, predvsem prisotnost in avtonomija, pomembno vplivajo na učne izide.

Prisotnost se nanaša na občutek, da je posameznik dejansko vključen v navidezno okolje, avtonomija pa na možnost, da v njem deluje samostojno ter do določene mere usmerja potek lastne učne izkušnje. Model ima pomembne didaktične implikacije, saj opozarja na potrebo po prilagajanju učnih strategij, ki bodo okrepile prisotnost in udeležbo ter s tem spodbudile motivacijo, angažiranost in prenos znanja v prakso (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Tehnološki dejavniki

Model CAMIL temelji na treh ključnih tehnoloških značilnostih. Prva je **poglobitev** (ang. *Immersion*), ki opisuje stopnjo, do katere sistem ustvari občutek popolne vključenosti v navidezni prostor. Nanjo vplivajo ločljivost, hitrost osveževanja slike in kakovost vizualne predstavitve.

Druga značilnost so **dejavniki nadzora** (ang. *Control Factors* ali *interactivity*), ki določajo, koliko lahko uporabnik vpliva na dogajanje v navideznem okolju. Večja stopnja interakcije praviloma okrepi občutek samostojnosti in udeležbe.

Tretja značilnost je **natančnost prikaza** (ang. *Representational Fidelity*), ki se nanaša na to, kako realističen je prikaz ter kako gladko potekajo premiki in spremembe v simulaciji (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Značilnosti navidezne resničnosti

Poglobitev, dejavniki nadzora in natančnost prikaza skupaj vplivajo na dva osrednja občutka v navidezni izkušnji: **občutek prisotnosti** (ang. *Presence*) in **občutek nadzora** (ang. *Agency*).

Občutek prisotnosti je psihološko stanje, v katerem ima učenec vtis, da se resnično nahaja v navideznem svetu, čeprav je fizično drugje. Občutek prisotnosti je lahko fizičen, kadar predmeti v navideznem okolju delujejo resnično, ali socialen, kadar navidezni akterji delujejo kot resnični ljudje. Občutek nadzora opisuje stopnjo, do katere ima učenec občutek, da lahko sam odloča, deluje in vpliva na potek dogodkov v navideznem okolju (Zhi in Wu, 2023).

Afektivni in kognitivni dejavniki

Občutek prisotnosti in občutek nadzora oblikujeta šest pomembnih kognitivnih in afektivnih dejavnikov učenja. **Zanimanje** spodbuja pozornost in radovednost, **motivacija** pa predstavlja notranjo željo po sodelovanju in napredku. **Samoučinkovitost** pomeni prepričanje učenca, da lahko uspešno opravi nalogo, medtem ko **utelešenost** opisuje občutek, da učenec v navideznem svetu deluje skozi svoje navidezno telo. **Kognitivna obremenitev** se nanaša na količino miselnega napora, potrebnega za obdelavo informacij pri navideznem učenju, **samouravnavanje** pa na sposobnost usmerjanja vedenja, ohranjanja pozornosti in učinkovitega izvajanja učnih nalog (Zhi in Wu, 2023).

Učni izidi

Vsi ti kognitivni in afektivni dejavniki skupaj vplivajo na kakovost učenja. Usmerjajo, kako učenci pridobivajo **faktografsko znanje** (poznavanje posameznih dejstev), **konceptualno znanje** (razumevanje pojmov in odnosov med njimi) ter **proceduralno znanje** (poznavanje postopkov in izvajanje nalog). Hkrati vplivajo na **prenos znanja**, oziroma kako uspešno lahko učenci pridobljeno znanje uporabijo v novih situacijah in v praksi (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

5.2.4 Matrica integracije digitalne tehnologije

Matrica integracije digitalne tehnologije (ang. *Technology Integration Matrix* – TIM) je bila razvita v začetku 21. stoletja na Univerzi Južne Floride v sodelovanju z Ministrstvom za izobraževanje zvezne države Florida. Prva različica je bila objavljena leta 2005, nadgrajena pa leta 2011 (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Njeni avtorji poudarjajo, da ni dovolj, da je tehnologija prisotna v učilnici, temveč je pomembno, kako jo učitelji vključujejo v pouk. Ugotovili so, da tradicionalna uporaba tehnologije, ločena od vsebine in pedagoškega pristopa, ni učinkovita. Učinkovita raba tehnologije mora temeljiti na dobrem razumevanju vsebine, učnih ciljev in pedagoških pristopov, ki jih želi učitelj uporabiti (Craneiro idr., 2022).

Glavni namen matrice TIM je ponuditi jasen in uporaben okvir, s katerim lahko učitelji in vodstvo šol ocenijo stopnjo vključevanja tehnologije v pouk. Deluje kot diagnostično orodje in razvojna podpora, saj učiteljem omogoča prepoznavanje ravni tehnološke integracije ter ponuja smernice za nadaljnji razvoj (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Z uporabo matrice TIM lahko šole spodbujajo učinkovitejše učne prakse, kar prispeva k večji vključenosti učencev in boljšim učnim izidom. Model ponuja teoretsko podlago za načrtovanje nalog, ki vključujejo digitalne tehnologije na način, ki je za učence bolj motivacijsko privlačen (Craneiro idr., 2022). Posebna prednost je prilagodljivost različnim učnim okoljem. S svojo jasno strukturo in konkretnimi primeri v večpredstavnostni obliki učiteljem pomaga razumeti, kako tehnologijo smiselno uporabiti za podporo učnim ciljem, sodelovanju in aktivni vlogi učencev v učnem procesu.

<p>STOPNJE VKLJUČEVANJA IKT V VZGOJNO- IZOBRAŽEVALNI PROCES</p> <p>→</p> <p>ZNAČILNOSTI UČNEGA OKOLJA</p> <p>↓</p>	<p>Stopnja vključevanja</p> <p>Učitelj uporablja IKT za frontalno posredovanje učne vsebine učencem.</p>	<p>Stopnja uvajanja</p> <p>Učitelj vodi učence pri postopkovno usmerjeni in strukturirani uporabi IKT.</p>	<p>Stopnja prilagojene uporabe</p> <p>Učitelj spodbuja učence k samostojni in ustvarjalni rabi IKT.</p>	<p>Stopnja vseprisotne uporabe</p> <p>Učitelj oblikuje učne situacije, kjer učenci samostojno izbirajo in uporabljajo različna IKT orodja glede na potrebe, cilje in naloge.</p>	<p>Stopnja transforma- tivne rabe</p> <p>Učitelj spodbuja inovativno in problemsko rabo IKT, ki omogoča globoko učenje, višje miselne procese in učno izkušnjo, ki brez tehnologije ne bi bila izvedljiva.</p>
<p></p> <p>Aktivno učenje</p> <p>Učenci so dejavno vključeni v uporabo IKT kot orodja za učenje, namesto da bi zgolj pasivno prejeli informacije preko tehnologije.</p>	<p>Učenci informacije sprejemajo večinoma pasivno, brez samostojne interakcije z IKT.</p>	<p>Rutinska in postopkovna uporaba IKT tehnologij.</p>	<p>Običajna samostojna uporaba IKT orodij, nekaj učenčeve izbire in raziskovanja.</p>	<p>Izbira orodij in redna, samousmerjena uporaba.</p>	<p>Obsežna in neobičajna uporaba orodij.</p>
<p></p> <p>Sodelovalno učenje</p> <p>Učenci uporabljajo IKT orodja za sodelovanje z drugimi, namesto da delajo samostojno.</p>	<p>IKT uporablja posamezni učenec samostojno, brez sodelovanja z drugimi.</p>	<p>Sodelovalna uporaba IKT orodij na običajen način.</p>	<p>Sodelovalna uporaba IKT orodij, nekaj učenčeve izbire in raziskovanja.</p>	<p>Izbira orodij in redna uporaba za sodelovanje.</p>	<p>Sodelovanje z vrstniki, zunanji strokovnjaki in drugimi na načine, ki brez tehnologije morda ne bi bili možni.</p>
<p></p> <p>Konstruktivistično učenje</p> <p>Učenci uporabljajo IKT orodja za povezovanje novega znanja s predznanjem, namesto da informacije sprejemajo pasivno.</p>	<p>Informacije so učencem enosmerno posredovane, brez aktivne obdelave ali povezovanja s predznanjem.</p>	<p>Vodena, običajna uporaba IKT orodij za pridobivanje in oblikovanje znanja.</p>	<p>Samostojna uporaba IKT orodij za oblikovanje znanja, nekaj učenčeve izbire in raziskovanja.</p>	<p>Izbira in redna uporaba za oblikovanje znanja.</p>	<p>Obsežna in neobičajna uporaba tehnoloških orodij za oblikovanje znanja.</p>
<p></p> <p>Avtentično učenje</p> <p>Učenci uporabljajo IKT orodja za povezovanje učnih dejavnosti z resničnim svetom, izven šolskega konteksta, namesto da rešujejo naloge brez stvarnega ozadja.</p>	<p>Uporaba IKT ni povezana z zunanjim, resničnim svetom. Dejavnosti so izvenkontekstne.</p>	<p>Vodena uporaba IKT orodij in dejavnosti z določenim smiselnim kontekstom.</p>	<p>Samostojna uporaba IKT orodij v dejavnostih, povezanih s življenjem učencev, nekaj učenčeve izbire in raziskovanja.</p>	<p>Izbira orodij in redna uporaba v smiselnih dejavnostih.</p>	<p>Inovativna uporaba za učne dejavnosti višjega miselnega nivoja, povezane z zunanjim, resničnim svetom.</p>
<p></p> <p>Ciljno usmerjeno učenje</p> <p>Učenci uporabljajo IKT orodja za postavljanje ciljev, načrtovanje aktivnosti, spremljanje napredka in vrednotenje rezultatov, namesto da bi naloge le opravili brez razmisleka ali povratne informacije.</p>	<p>Učencem so podana natančna navodila. Naloge spremljajo po korakih, brez samostojnega načrtovanja ali vrednotenja.</p>	<p>Običajna in postopkovna uporaba orodij za načrtovanje in spremljanje učenja.</p>	<p>Namenjena uporaba IKT orodij za načrtovanje in spremljanje, nekaj učenčeve izbire in raziskovanja.</p>	<p>Prilagodljiva in nemotena uporaba orodij za načrtovanje in spremljanje.</p>	<p>Obsežna in kognitivno zahtevna uporaba orodij za načrtovanje in spremljanje.</p>

Slika 5.5: Matrica TIM vključevanja IKT v vzgojno-izobraževalni proces po dimenzijah učnega okolja in stopnjah pedagoške uporabe tehnologije (povzeto po Craneiro idr., 2022).

Dvodimenzionalna struktura omogoča učiteljem načrtovanje vključevanja tehnologije, spremljanje napredka in prehod k učinkovitejši uporabi tehnoloških orodij v izobraževanju (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Obogatitev učnega procesa z digitalnimi tehnologijami se začne z analizo učne vsebine, ki se je bodo učenci naučili, in veščin, ki jih bodo razvili. Sledi izbira ene ali več izmed petih značilnosti učnega okolja, kot jih predlaga model TIM. Te značilnosti določajo vrsto dejavnosti in interakcij, ki ju želimo spodbuditi pri učencih z zastavljeno nalogo (Craneiro idr., 2022).

Matrica TIM križa pet ravni vključevanja tehnologije: **vstop** (ang. *Entry*), **usvojitve** (ang. *Adoption*), **sprejetje** (ang. *Adaptation*), **ponotranjenje** (ang. *Infusion*) in **transformacija** oziroma **prenos znanja v novo učno situacijo** (ang. *Transformation*), s petimi značilnostmi učnega okolja: aktivnost, ustvarjalnost, sodelovalnost, avtentičnost in ciljna usmerjenost (glej sliko 5.5), kar tvori matrico s 25 polji (Dolinar idr., 2023). Vsaka celica vsebuje podrobne opise tipičnih dejavnosti učencev, dejavnosti učitelja in dejavnikov učnega procesa. Značilnosti matrice TIM se prekrivajo. Na primer, razred z visoko stopnjo tehnološke integracije pogosto dosega tudi visoko kakovost učnega okolja (Craneiro idr., 2022).

V razredih, kjer se digitalni viri uvajajo prvič, učitelji najprej delujejo na vstopni ravni, saj sami izberejo učni vir. Učenci na tej ravni še ne izbirajo orodij. Uporaba tehnologije je na vstopni ravni konvencionalna in usmerjena v učitelja. Poudarek je na postopkih, del učne ure pa je namenjen učenju uporabe tehnologije. Na ravni usvojitve je uporaba tehnologije omejena na določene naloge, ki jih učenci izvajajo pod vodstvom učitelja z uporabo predpisanega orodja. Na ravni sprejetja učenci začnejo tehnologijo uporabljati samostojno, brez neposrednih navodil učitelja, ter raziskujejo različne možnosti uporabe orodij. Ta raven zahteva, da učenci tehnologijo razumejo tudi konceptualno. Na ravni ponotranjenja učenci samostojno odločajo, katera tehnološka orodja bodo uporabili, kdaj in kako. Učitelj lahko usmerja ali svetuje, vendar so učenci vse bolj samoiniciativni. Na najvišji ravni **transformacije** učenci tehnologijo uporabljajo prilagodljivo in ustvarjalno za doseganje ciljev, ki dokazujejo njihovo znanje. To zahteva tako konceptualno razumevanje kot praktično znanje uporabe orodij (Craneiro idr., 2022). Slika 5.5 prikazuje matrico TIM vključevanja IKT v vzgojno-izobraževalni proces po dimenzijah učnega okolja in stopnjah pedagoške uporabe tehnologije.

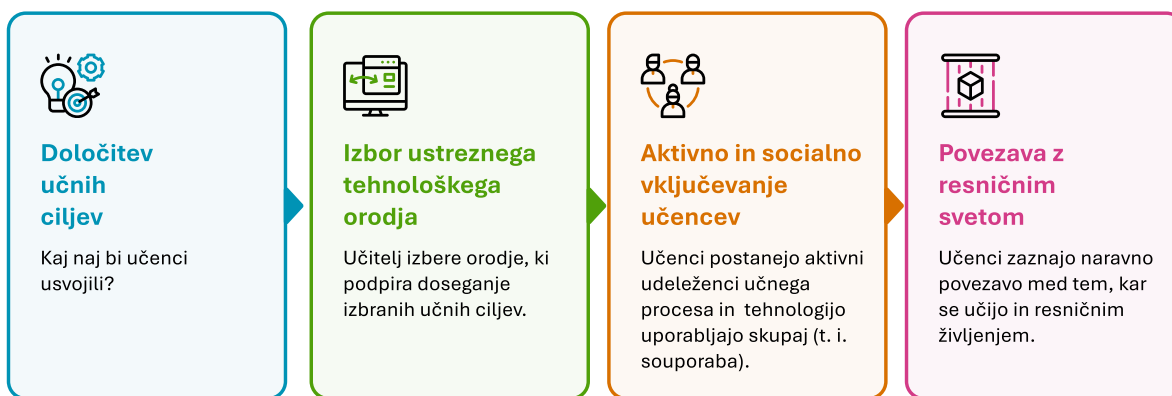
Uporaba tehnologije postaja vse bolj kompleksna, ko se pomikamo proti ravni transformacije. Hkrati je vse bolj osredotočena na učenca, s poudarkom na konceptualnem razumevanju, učitelj pa skoraj ne porabi časa za razlago uporabe orodja. Z didaktično-pedagoškega vidika uporaba enega samega tehnološkega orodja, četudi gre za najsoodnejšo tehnologijo, še ne pomeni višje ravni tehnološke integracije v izobraževalni proces. Brez smiselne umestitve v celovit učni načrt takšna raba ostaja na vstopni oziroma osnovni ravni uporabe tehnologije v poučevanju (Craneiro idr., 2022).

Pomembna omejitev modela TIM je, da predpostavlja, da so učitelji že seznanjeni z matrico in njenimi hierarhičnimi stopnjami, kar pa ni nujno res. Seznanitev zahteva dodatna usposabljanja in vire, ki morda niso dostopni v vseh izobraževalnih okoljih. Poleg tega model morda ne upošteva dovolj širokih pedagoških ali sistemskih dejavnikov, ki lahko vplivajo na vključenost učencev, na primer socialno-ekonomskih izzivov ali do-

stopa do virov. Prav tako ne zajema v celoti drugih možnih vplivov na vključenost učencev, kot so osebna motivacija ali zunanje ovire, in lahko spregleda globlje pedagoške izzive, ki niso neposredno povezani s tehnologijo. TIM je uporaben pripomoček za učitelje, ki želijo okrepiti vključevanje tehnologije, vendar je manj primeren za pedagoge v okoljih z nizko tehnološko opremljenostjo ali za tiste, ki dajejo prednost drugim učnim metodam. Posebej je primeren za šole, ki so zavezane razvoju digitalnega učenja (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

5.2.5 Okvir 3-E

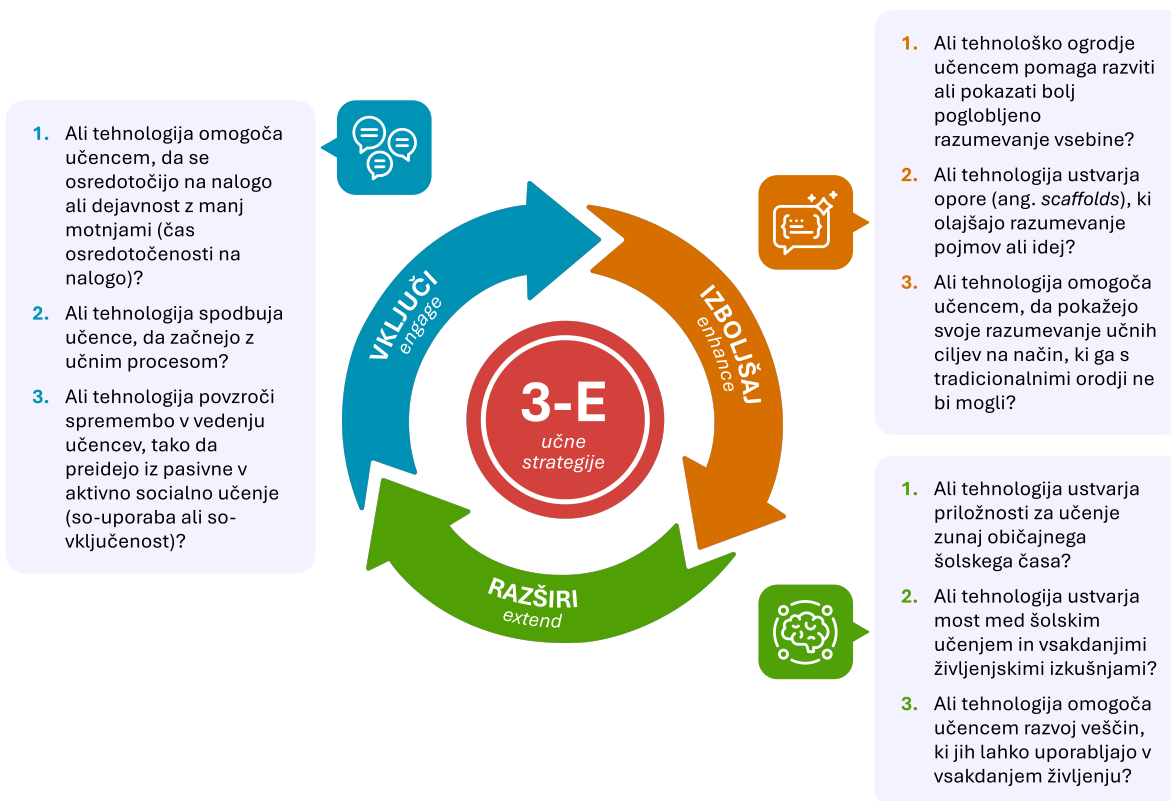
Okvir 3-E (ang. *Triple E model*) je leta 2011 razvila Liz Kolb (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Primarno je bil namenjen osnovnošolskemu in srednješolskemu izobraževanju, vendar je dovolj praktičen in prilagodljiv za širšo uporabo. To orodje učiteljem pomaga kritično presoditi, koliko uporaba tehnologije dejansko podpira učence pri doseganju učnih ciljev (Gaer in Reyes, 2022). Hkrati jim ponuja jasna in strukturirana navodila za usklajevanje tehnologije z učnimi in pedagoškimi cilji (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Okvir 3-E sledi štiristopenjskemu procesu za smiselno vključevanje tehnologije v pouk, kot prikazuje slika 5.6.



Slika 5.6: Štiristopenjski proces uporabe okvira 3-E za vključevanje tehnologije v pouk.

Za uporabo okvirja učitelj najprej določi učne cilje, nato izbere ustrezna tehnološka orodja za podporo doseganju teh ciljev ter oceni njihovo skladnost s tremi komponentami okvira 3-E s pomočjo vodilnih vprašanj (slika 5.7) (Gaer in Reyes, 2022; Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Ključno je, da učenci postanejo aktivni udeleženci učnega procesa in tehnologijo uporabljajo skupaj. Cilj zadnjega koraka je, da učenci zaznajo naravno povezavo med tem, kar se učijo, in resničnim življenjem (Gaer in Reyes, 2022; Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Na sliki 5.7 je prikazan diagram okvira 3-E, ki prikazuje različne stopnje vključevanja tehnologije. Pred vsemi stopnjami je prisotna uporaba tehnologije brez integracije, na primer, ko učenci rešujejo delovni list, ki ga je učitelj natisnil s pomočjo računalnika in tiskalnika.



Slika 5.7: Model 3-E z učnimi strategijami, ki podpirajo vključenost, izboljšanje in razširjanje učenja s tehnologijo.

Vključenost

Prva stopnja okvira 3-E je **vključenost** (ang. *Engagement*), ki nastopi, ko učenci aktivno sodelujejo v učnih dejavnostih, ki so usmerjene v učne cilje in praviloma vključujejo socialno interakcijo. Tehnologija na tej ravni pritegne pozornost, vzbuja zanimanje in podpira aktivno vključevanje v učni proces. Vključenost se kaže v učenčevi osredotočenosti na nalogo, motivaciji ter spremembah vedenja, na primer v večji vztrajnosti ali pogostejšem sodelovanju pri dejavnostih. Tehnologija pritegne pozornost učencev in jih motivira za delo. Za vključenost je pogosto ključna souporaba tehnologij, torej skupna in socialna raba digitalnih orodij, pri kateri učenci z uporabo tehnologije vadijo, ustvarjajo, komunicirajo in sodelujejo. V takšnih dejavnostih učenci niso zgolj pasivni uporabniki, temveč dejavni udeleženci učnega procesa. Kljub temu pa sama vključenost še ne zagotavlja poglobljenega učenja. Učenec je lahko pri individualni uporabi učne programske opreme sicer zelo osredotočen, vendar to samo po sebi še ne pomeni souporabe ali nujno tudi višje kakovosti učenja (Gaer in Reyes, 2022; Pratama, 2022).

Izboljšanje

Naslednja raven okvirja je **izboljšanje** (ang. *Enhancement*), ki nastopi, ko učenci z uporabo tehnologije bolje razumejo učno vsebino, saj jim tehnologija omogoča globlje razumevanje, kot bi ga dosegli s tradicionalnimi pristopi. Ključna je smiselna vključitev tehnologije, pri čemer uporaba izhaja iz učnih ciljev in pripomore k boljšemu razumevanju, ne zgolj k večji zanimivosti pouka.

Na tej ravni tehnologija pomeni dodano vrednost, saj učencem omogoča, da znanje razvijejo na način ali do ravni, ki brez nje ne bi bila dosegljiva. Okvir 3-E poudarja, da tehnologija izboljšuje učenje predvsem na kognitivni ravni z razvojem poglobljenega razumevanja, ustvarjanjem podpore, ki olajša učenje, in uvajanjem inovativnih pristopov. Pomembno je, da tehnologija ni sama sebi namen, temveč didaktično orodje, s katerim učenec razvija in izkazuje razumevanje učne vsebine.

Razlika med vključenostjo in izboljšanjem se pokaže v tem, ali tehnologija učencu omogoča zgolj sodelovanje pri nalogi ali pa ga vodi k poglobljenemu razumevanju. Pri reševanju kviza učenec predvsem prepozna in priključuje informacije, zato takšna dejavnost praviloma sodi na raven vključenosti. Ko pa učenec sam oblikuje kviz, mora učno vsebino najprej razumeti in jo strukturirati. Izbrati mora ključne pojme, razmisliti o tipičnih zmotah, oblikovati kakovostna vprašanja in utemeljiti pravilne ter napačne odgovore. Takšna naloga zahteva višje miselne procese in zato bolj ustreza ravni izboljšanja.

Pri prehodu na raven izboljšanja je pomembna tudi vloga učitelja, ki učencem zagotavlja učno podporo (ang. *Scaffolding*). Na primer, učenci sodelujejo v skupnem dokumentu, si izmenjujejo povratne informacije, učitelj pa sproti spremlja njihov napredek, komentira, popravlja ter postavlja usmerjevalna vprašanja. Tako učitelj dinamično vodi učni proces, intervenira ob težavah in spodbuja poglobljeno učenje (Gaer in Reyes, 2022; Pratama, 2022).

Razširitev

Vključenost tehnologije omogoča **razširitev** (ang. *Extension*) učenja, saj se lahko učenje nadaljuje tudi po pouku zunaj učilnice. Izbrati je treba dejavnost, ki jo učenci dojemajo kot pomembno in povezano z učnimi potrebami na področju tehnologije. Zaradi vključevanja tehnologije v učni proces v razredu učenci naravno vzpostavijo povezavo med šolskim delom in vsakdanjim življenjem. Učenje in uporaba digitalnih orodij se tako nadaljujeta tudi zunaj šole, samostojno, pri čemer so ta orodja pogosto relevantna in uporabna tudi v drugih življenjskih okoliščinah. Tako tehnologija povezuje učenje s pristnimi življenjskimi konteksti in izkušnjami ter omogoča učenje zunaj šolskega okolja. Na primer, namesto da učitelji učencem dajo seznam besedišča za učenje, jim omogočijo, da na svojih telefonih odprejo tematski sklop kartic v aplikaciji Quizlet (Gaer in Reyes, 2022; Pratama, 2022).



Praktična usmerjenost

Okvir ponuja jasna in izvedljiva merila za vrednotenje uporabe tehnologije, kar je še posebej uporabno za učitelje pri načrtovanju posameznih učnih ur.

Učni izidi kot prioriteta

Model postavlja v središče učne cilje učencev, kar zagotavlja, da je tehnologija uporabljena kot sredstvo za doseganje izobraževalnih ciljev, in ne kot cilj sam po sebi.

Spodbujanje aktivnega učenja

Okvir postavlja v središče učne cilje učencev, kar zagotavlja, da je tehnologija uporabljena kot sredstvo za doseganje izobraževalnih ciljev, in ne kot cilj sam po sebi.

Pedagoške strategije

Okvir vključuje konkretne učne strategije in primere dobre prakse, ki učiteljem pomagajo pri učinkovitem vključevanju tehnologije v pouk.

Validirano orodje

Okvir je potrjen kot zanesljivo in učinkovito orodje za načrtovanje učnih ur, ki smiselno vključujejo tehnologijo.

Subjektivna interpretacija

Temelji na presoji učitelja glede vpliva tehnologije na učenje, zato lahko pride do različnih interpretacij in posledično do nedosledne rabe med posamezniki.

Omejen obseg

Osredotoča se predvsem na kratkoročno načrtovanje učnih ur, zaradi česar je manj primeren za dolgoročne strategije vključevanja tehnologije.

Pomanjkanje razvojne poti

Ne ponuja jasnega okvirja napredovanja od osnovne k bolj zahtevni uporabi tehnologije, kar lahko učiteljem otežuje načrtovanje profesionalnega razvoja na tem področju.

Ne naslavlja širših kompetenc

Okvir ne opredeljuje veščin, ki jih morajo učitelji razviti za učinkovito uporabo tehnologije v razredu. Prav tako ne zajema sodobnejših tehnologij, kot so XR.

Ozek fokus na vpliv orodja

Osredotoča se predvsem na to, kako tehnologija vpliva na učne izide, ne pa na aktivnosti učencev ali na njihove predpogoje za učinkovito učenje s pomočjo tehnologije.

Učne strategije so zgolj priporočila

Čeprav ponuja nekatere učne strategije, ne predstavlja celovitega in podrobnega vodnika za njihovo konkretno izvedbo v razredu.

Slika 5.8: Prednosti in slabosti 3E-okvirja povzeto po Rutten in Brouwer-Truijen (2025).

Slika 5.8 prikazuje prednosti in slabosti 3E-okvirja povzeto po Rutten in Brouwer-Truijen (2025). Okvir 3-E dopolnjuje prejšnje pristope vključevanja tehnologij v vzgojno-izobraževalni prostor. V nasprotju z njimi se osredotoča predvsem na to, kaj učenci počnejo s tehnologijo (Gaer in Reyes, 2022).

Če primerjamo do sedaj predstavljene modele s 3E, lahko ugotovimo, da se model TPACK osredotoča na teoretično razumevanje prepleta tehnologije, pedagogike in vsebine, vendar ne ponuja konkretnih smernic, kako specifične lastnosti tehnologije vplivajo na učenje. Kolbova z okvirjem 3-E zapolnjuje to vrzel z bolj pragmatičnim in na rezultate usmerjenim pristopom. V primerjavi z modelom TIM, ki je temeljit in strukturiran, a pogosto preobsežen za vsakodnevno uporabo, model 3-E omogoča enostavnejšo in hitrejšo presojo učinkov tehnologije na vsebinsko specifične učne izide. Model SAMR pogosto daje večjo težo orodju kot učnemu procesu, kar okvir 3-E presega s svojo osredotočenostjo na kakovost učenja (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

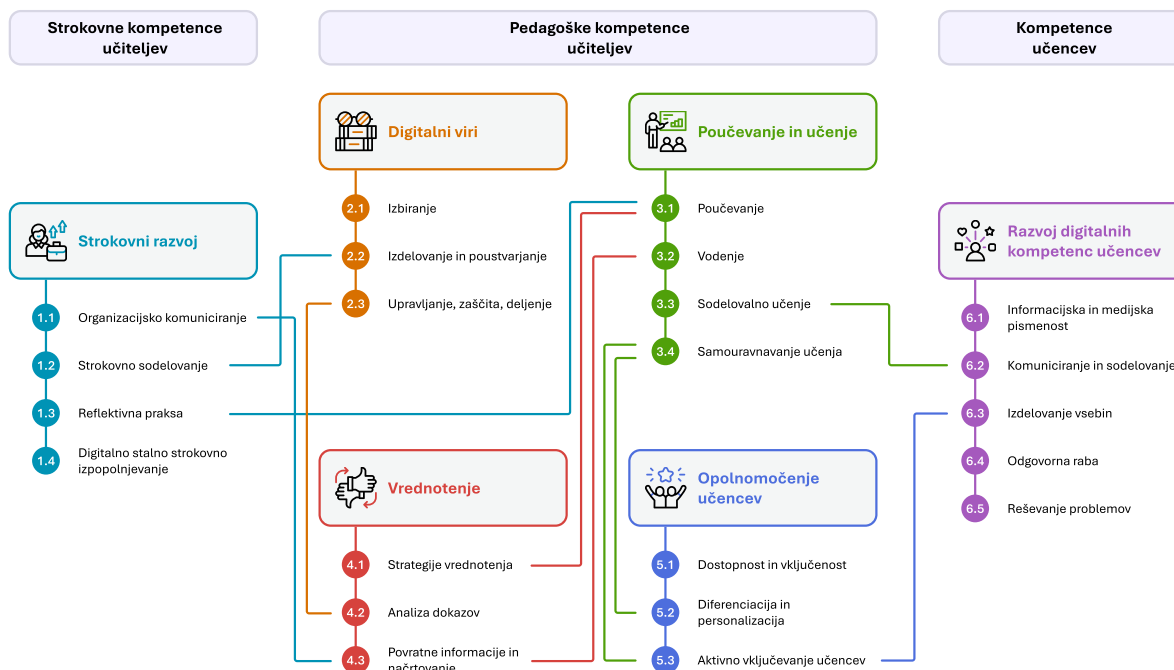
5.2.6 Evropski okvir digitalnih kompetenc izobraževalcev

DigCompEdu je evropski okvir digitalnih kompetenc izobraževalcev, ki ga je razvilo Skupno raziskovalno središče (JRC) Evropske komisije. Nastal je zaradi naraščajoče potrebe po opremljanju učiteljev z digitalnimi spretnostmi, potrebnimi za učinkovito vključevanje tehnologije v izobraževanje. Okvir temelji na znanstvenih spoznanjih in obstoječih modelih digitalnih kompetenc, zlasti na Evropskem okviru digitalnih kompetenc za državljane (DigComp3.0), ter združuje različne nacionalne in regionalne pobude za opredelitev digitalnih kompetenc, specifičnih za pedagoški poklic. Pripravljen je bil z namenom oblikovanja enotne strukture, ki jo lahko učitelji uporabijo za vrednotenje in razvoj svojih digitalno-pedagoških veščin ter spodbujanje inovativne in vključujoče prakse poučevanja in učenja po vsej Evropi (Beganović Sambolić idr., 2023).

Strukturno je okvir razdeljen na šest vsebinskih področij (glej sliko 5.9), ki pokrivajo različne vidike strokovnega delovanja učiteljev (1) poklicno delovanje, (2) digitalni viri, (3) poučevanje in učenje, (4) vrednotenje, (5) opolnomočenje učencev ter (6) vodenje in podpora učencem pri pridobivanju digitalnih kompetenc.

Vsebinska področja zajemajo 22 specifičnih kompetenc, nujnih za učinkovito pedagoško delo z uporabo IKT. Te kompetence se nanašajo na uporabo digitalnih tehnologij za komuniciranje in sodelovanje, ustvarjanje digitalnih učnih gradiv, izvajanje digitalno podprtih učnih strategij ter spodbujanje razvoja digitalnih spretnosti pri učencih (Redecker in Punie, 2018). Okvir DigCompEdu je posebej uporaben pri iskanju odgovorov na vprašanja, kot so: kako lahko učitelji vključijo digitalne tehnologije v svoje učne strategije, kako lahko spodbujajo večjo avtonomijo učencev in kako lahko digitalna orodja omogočajo bolj personalizirano učenje (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Strokovni delavci v vzgoji in izobraževanju so odgovorni za stalno nadgrajevanje svojih digitalnih kompetenc na področju izobraževanja. Okvir DigCompEdu zato predlaga model napredovanja s šestimi ravnmi usposobljenosti, od začetnika (A1) do pobudnika (C2), kar strokovnim delavcem omogoča jasno razvojno pot pri krepitvi digitalnih kompetenc (Redecker in Punie, 2018).

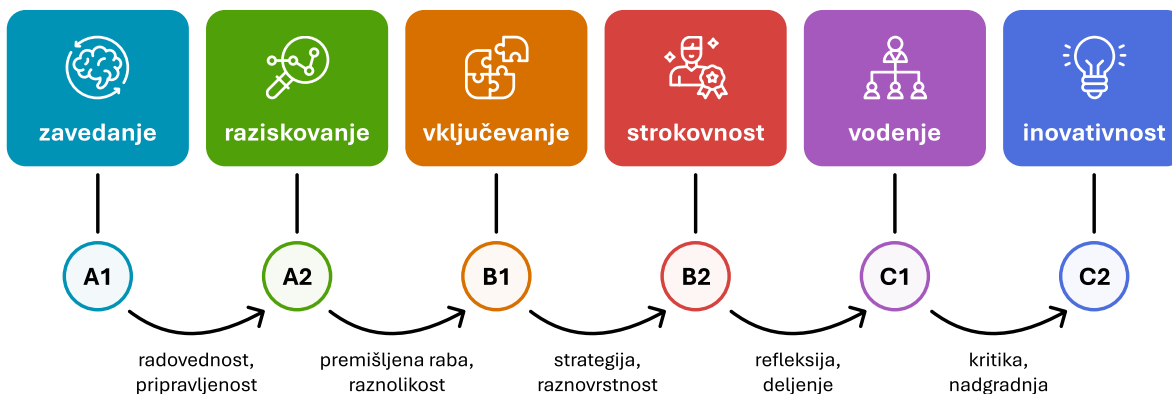


Slika 5.9: Evropski okvir digitalnih kompetenc za izobraževalce po Redecker in Punie (2018).

Model ravni usposobljenosti učiteljem omogoča vključitev v okvir glede na trenutno stopnjo znanja, zaradi česar je dostopen tako začetnikom kot izkušenim uporabnikom (Redecker in Punie, 2018). Je primerno orodje za učitelje na vseh ravneh in stopnjah izobraževanja. Uporaben je v splošnem in poklicnem izobraževanju, pri delu z učenci oziroma dijaki s posebnimi potrebami ter v kontekstu neformalnega izobraževanja (Jedrinič idr., 2020). Model spodbuja strokovni razvoj, saj identificira konkretne potrebe po usposabljanju in usmerja vključevanje digitalnih orodij v poučevanje. Njegov strukturirani pristop učiteljem omogoča sistematičen razvoj spretnosti za uporabo tehnologije z namenom izboljšanja učnega procesa (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Kljub vsemu zapisanemu lahko okvir deloma zgreši ciljno skupino učiteljev, ki delujejo v slabše opremljenih okoljih, kjer so digitalna orodja in možnosti za izobraževanje omejene. Poleg tega se okvir pogosto osredotoča na individualne kompetence, ne pa tudi na potrebne sistemske in institucionalne spremembe, ki so ključne za celostno vpeljavo digitalnih tehnologij v izobraževalne procese (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Še ena ključna pomanjkljivost je njegova nezmožnost naslavljanja širših sistemskih izzivov, kot sta digitalna pravičnost in dostop do virov, ki v strukturo modela nista izrecno vključena. To je še posebej izrazito na področju hitro razvijajoče se tehnologije razširjene resničnosti, saj okvir ne predvideva posebnih kompetenc, potrebnih za učinkovito vključevanje tehnologij razširjene resničnosti v izobraževalno prakso (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025). Z izjemo navideznih okolij drugih oblik razširjene resničnosti okvir ne omenja.



Slika 5.10: Model napredovanja po okvirju DigCompEdu po Redecker in Punie (2018).

Po modelu DigiCompEDU spada kompetenca deljenja ali nalaganja izobraževalnih vsebin z uporabo navideznih učnih okolij na raven vključevanja (B1). Višjo raven predstavlja vzpostavitev sodelovanja med učenci znotraj navideznih okolij, ki dosega raven kompetence B2 (raven strokovnosti). Na raven vodenja (C1) pa sodi raba navideznih učnih okolij za spodbujanje sodelovalnega učenja učencev ter vrstniško vrednotenje (Reecker in Punie, 2018).

Sodobne tehnologije predstavljajo nove pedagoške izzive, ki presegajo tradicionalna digitalna orodja. Te zahtevajo prostorsko orientacijo, sposobnost ustvarjanja 3D vsebin ter oblikovanje poglobljenih, interaktivnih in kontekstualiziranih učnih izkušenj. DigCompEdu se primarno osredotoča na konvencionalna digitalna orodja in strategije, kot so spletne platforme, digitalne vsebine in orodja za sodelovanje, zato ne zajame v celoti izkustvene in poglobljene narave teh tehnologij. Okvir prav tako ne ponuja smernic za vrednotenje učinkovitosti učenja z uporabo XR, ki pogosto zahteva drugačne pristope k ocenjevanju kot tradicionalna digitalna tehnologija. Uporabniki razširjene resničnosti sodelujejo v simulacijskih nalogah z visoko stopnjo interaktivnosti in sprotim reševanjem problemov, kar zahteva nove oblike preverjanja znanja, osredotočene na izkustvene učne izide, ne le na statične metrike. Pomanjkanje inovativnih ocenjevalnih pristopov zmanjšuje uporabnost okvira za učitelje, ki želijo tehnologijo razširjene resničnosti smiselno vključiti v pouk. Poleg tega DigCompEdu ne obravnava etičnih in varnostnih vprašanj, ki se pojavljajo pri uporabi razširjene resničnosti v izobraževanju, kot so varovanje zasebnosti podatkov, psihološki učinki potopnih okolij ter zagotavljanje enakega dostopa do teh tehnologij za vse učence.

Čeprav predstavlja trdno osnovo za opredeljevanje splošnih digitalnih kompetenc, DigCompEdu trenutno ne zadošča za celovito pripravo učiteljev na izzive in priložnosti, ki jih prinašajo tehnologije razširjene resničnosti. Učitelji, ki uporabljajo razširjeno resničnost, morajo razviti posebne spretnosti za delo v potopnih okoljih, vključno z razumevanjem kognitivnih in čustvenih učinkov navidezne ali obogatene resničnosti na učence, usmerjanjem v navidezni prostorih ter obvladovanjem tehničnih izzivov, kot so združljivost strojne opreme in zakasnitve delovanja (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

5.3 Uvajanje razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni proces

Po predstavitvi modelov uporabe tehnologij razširjene resničnosti se naslednje poglavje osredotoča na vprašanje implementacije. Obravnava pogoje, korake in pedagoške odločitve, ki so potrebne, da razširjena resničnost postane smiselno vključena v vzgojno-izobraževalni proces. Poseben poudarek je na možnostih personalizacije učenja ter na vlogi umetne inteligence pri spremljanju napredka, prilagajanju zahtevnosti in zagotavljanju podpore učencem.

5.3.1 Personalizacija učenja z orodji razširjene resničnosti

Ena od pomembnejših obljub razširjene resničnosti v izobraževanju je možnost bolj prilagojenega učenja. Za razumevanje, kaj takšna prilagoditev pomeni v praksi, najprej opredelimo personalizacijo učenja in njeno razmerje do individualizacije ter diferenciacije.

Personalizacija učenja je krovni pojem, ki vključuje diferenciacijo in individualizacijo (Bray in McClaskey, 2012). Opredelimo jo lahko kot lastnost prilagodljivih učnih sistemov, ki omogočajo prilagajanje učnih vsebin glede na osebne značilnosti, učne preference in cilje posameznega učenca (Bajenaru idr., 2016). Hkrati personalizirano učenje označuje izobraževalni pristop, katerega namen je učno izkušnjo prilagoditi posamezniku na podlagi njegovih močnih področij, potreb, spretnosti in interesov (Webb, 2024).

Kadar personalizacijo obravnavamo v kontekstu poučevanja, se ta kaže kot prilagajanje učnega tempa, učnim preferencam in specifičnim interesom posameznemu učencu (Bray in McClaskey, 2012). Personalizirano izobraževanje lahko dodatno opredelimo kot na podatkih temelječo prilagoditev različnih vidikov učne prakse glede na značilnosti učenca, ki so relevantne za učenje. Med pomembne značilnosti štejemo vse spremenljivke, ki pojasnjujejo ali za katere utemeljeno domnevamo, da pojasnjujejo razlike v učnih dosežkih (Mourtzis idr., 2022).

Pri individualizaciji poučevanje ostaja usmerjeno v iste učne cilje za vse učence, vendar se pot do teh ciljev prilagaja posamezniku. Na primer, učenci se skozi učno gradivo pomikajo različno hitro glede na svoje potrebe in predznanje. Nekateri za določen vsebinski sklop potrebujejo več časa, drugi lahko hitreje napredujejo, preskočijo že usvojene teme ali se dodatno posvetijo vsebinam, pri katerih potrebujejo več podpore (Bray in McClaskey, 2012). Tak pristop učencem omogoča več nadzora nad tempom napredovanja in zmanjšuje tveganje, da bi učenci, ki težje sledijo, zaostajali in ob uvajanju novih ciljev doživljali preobremenjenost. Hkrati preprečuje, da bi se učenci, ki napredujejo hitreje, dolgočasili zaradi prepočasnega tempa, saj jim omogoča nadaljevanje ali dodatne izzive, ko dosežejo predvideno raven znanja. Individualizacije se zelo pogosto izvaja pri učencih ali dijakih s posebnimi potrebami (Holmes idr., 2018).

	Individualizacija učitelj	Diferenciacija učitelj	Personalizacija učenec
Usmerjanje učenja in poučevanja	poda navodila posameznemu učencu	poda navodila skupini učencev	usmerja svoje učenje
Prilagajanje učenja učencem	se prilagodi učnim potrebam posameznika	se prilagodi učnim potrebam skupine učencev	povezuje učenje s potrebami, interesi in cilji
Sodelovanje v učnem procesu	neposredno poučuje glede na učne potrebe posameznika	neposredno poučuje glede na učne potrebe skupine učencev	aktivno sodeluje pri načrtovanju lastnega učenja
Izbor vsebin	glede na potrebe posameznega učenca prilagodi vsebino ure in naloge	ustvari ali prilagodi vsebine ter vloge glede na različne potrebe učencev	ima glas in možnost izbire glede učne vsebine
Cilji	zastavi enake cilje za vse učence ter nekaj specifičnih ciljev za posameznike, ki potrebujejo individualno pomoč	zastavi enake cilje za vso skupino učencev	si zastavi lastne cilje, pri čemer ga učitelj usmerja
Izbira tehnologije in gradiv	izbere tehnologijo ali gradivo glede na učne potrebe posameznega učenca, ki omogoča ustrezno podporo	izbere tako tehnologijo ali gradivo, ki omogoča podporo potrebam skupin učencev	sam izbere ustrezno tehnologijo in gradivo za učenje
Podpora pri učenju	posameznemu učencu daje podporo pri učenju glede na individualne potrebe	daje podporo pri učenju razredu oz. skupini učencev	gradi lastno podporno mrežo, sestavljeno iz vrstnikov, učiteljev in drugih strokovnjakov
Preverjanje znanja	oceni znanje posameznega učenca, ugotavlja, kaj zna in česa ne zna, ter zanj načrtuje individualne dejavnosti	preverja znanje in daje povratne informacije posameznemu učencu ali skupini učencev	razvija samostojnost, tako da si postavlja cilje, sproti preverja znanje in spremlja svoj napredek

Tabela 5.1: Temeljne razlike med personalizacijo, diferenciacijo in individualizacijo (povzeto in prirejeno po Bray in McClaskey, 2012).

Diferencirano učenje se nanaša na prilagajanje učnih vsebin, metod in po potrebi tudi tempa poučevanja glede na učenčevo pripravljenost, zanimanja, učne značilnosti in učne cilje (Holmes idr., 2018). Čeprav učni cilji praviloma ostajajo skupni, učitelj prilagodi način dela, izbiro učnih aktivnosti ali podporo tako, da ustreza različnim učencem. Pri tem se lahko opira na izražene potrebe in preference učencev ali na raziskovalna spoznanja o tem, kateri pristopi so učinkovitejši za učence z določenimi značilnostmi (Bray in McClaskey, 2012). V razredni praksi se diferencirano učenje pogosto uresničuje z organizacijo dela v manjših skupinah. Skupine so lahko oblikovane glede na raven predznanja, tempo napredovanja ali trenutno učno potrebo, pri čemer učitelj izbiro praviloma utemelji na spremljanju dela in sproti presoji izkazanih učnih rezultatov (Holmes idr., 2018). Tabela 5.1 prikazuje temeljne razlike med personalizacijo, diferenciacijo in individualizacijo (povzeto in prirejeno po Bray in MacClaskey, 2012).

5.3.2 Tehnološko podprto personalizirano učenje

Personalizirano učenje s tehnologijami omogoča učencem aktivno sodelovanje pri oblikovanju lastnega učnega procesa. V nadaljevanju predstavljamo sedem ključnih vidikov personalizacije, ki jih lahko učitelji upoštevajo pri načrtovanju in izvedbi pouka.



Slika 5.11: Sedem vidikov personaliziranega učenja v tehnološko podprtem okolju po Holmes idr. (2018).

Personalizacija razloga za učenje – učni cilji

Učenci lahko sami postavljajo učne cilje in jih sproti prilagajajo. Tehnologija omogoča refleksijo že med procesom učenja ter širitev učnih dejavnosti zunaj meja tradicionalne učilnice. Končni cilj je omogočiti učencu odločanje o tem, kaj, kdaj, kako in kje se bo učil.

Personalizacija načina učenja – učni pristop

Tehnologija omogoča resnične učne kontekste iz vsakdanjega življenja, podpira samostojno vajo in utrjevanje ter strukturirano vadbo v okviru učnega načrta. Učencem nudi izbiro vsebin, spodbuja kritično mišljenje, sodelovanje in samouravnavanje učenja. Hkrati lahko zmanjša operativne naloge (npr. ocenjevanje), kar učiteljem omogoča več časa za ustvarjalne in socialne vidike pouka.

Personalizacija tega, kar se bo učilo – učna vsebina

Učna vsebina se lahko prilagodi interesom, predznanju in izbiri učenca, pri čemer različne vsebinske poti vodijo do enakih učnih ciljev. Učenci lahko izbirajo med različnimi temami, primeri ali učnimi vsebinami, ki so zanje bolj relevantni ali motivacijsko privlačni. Na ta način omogočamo večjo povezanost učne vsebine z individualnimi interesi posameznika.

Personalizacija tega, kako učenec napreduje – učne poti

Tehnologija omogoča oblikovanje različnih učnih poti, prilagoditev tempa in dinamično oblikovanje skupin. Algoritmi lahko na podlagi učenčevih podatkov predlagajo nadaljnje učne korake, da je pot bolj prilagojena posameznikovim potrebam pri napovedovanju učenja.

Personalizacija časovne dinamike – učni tempo

Napredovanje med učnimi področji je lahko določeno za cel razred ali pa ga določi vsak učenec sam. V slednjem primeru tehnologija omogoča stalno posodabljanje učenčevega individualnega profila in sprotno spremljanje ciljev, kar povečuje preglednost tako za učenca kot za učitelja.

Individualizacija udeležencev v učnem procesu – posameznik ali učna skupina

Učne dejavnosti se lahko izvajajo individualno, v manjših skupinah ali z vsem razredom. Tehnologija najbolj podpira individualizacijo, delno pa tudi sodelovalno učenje v manjših skupinah.

Personalizacija kraja učenja – učni kontekst

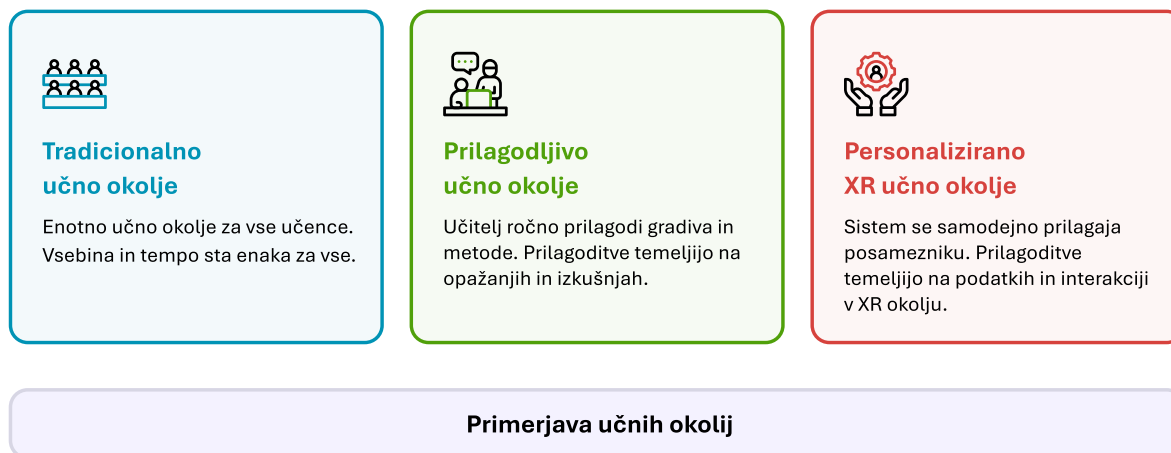
Učenje lahko poteka v učilnici, zunaj nje ali na daljavo. Personalizirane tehnologije je mogoče uporabljati pri posameznih predmetih in medpredmetno, znotraj rednega pouka ali izven njega.

V naslednjih podpoglavjih obravnavamo koncept personaliziranega učenja v navideznih učnih okoljih, preučujemo izbrane tehnike, ki pripomorejo k oblikovanju personalizirane uporabniške izkušnje v VR okoljih ter odkrivamo možnosti uresničevanja personalizacije z uporabo razširjene resničnosti.

5.3.3 Personalizirana navidezna učna okolja

Personalizacija se lahko uresničuje tudi na ravni učnega okolja. Ta okolja so raznolika, spodbudna in usmerjena na učenca (slika 5.12). Personalizirana in individualizirana navidezna učna okolja so digitalno zasnovani učni prostori, ki se lahko prilagajajo učen-

cem glede na njihovo predznanje, napredovanje in učne potrebe. Njihov namen je ustvariti pogoje, v katerih lahko vsak učenec dosega učne cilje na njemu ustrezen način, pri čemer okolje ponuja dodatne izzive učencem, ki napredujejo hitreje, in več podpore tistim, ki imajo pri učenju težave (Grah idr., 2019).



Slika 5.12: Primerjava tradicionalnega, prilagodljivega in personaliziranega učnega okolja

V primerjavi s prilagodljivimi učnimi okolji, kjer mora učitelj gradiva in metode večinoma prilagajati ročno, personalizirana navidezna učna okolja delujejo bolj sistemsko in deloma avtomatizirano. Gre za digitalne sisteme, ki učno izkušnjo sproti prilagajajo posameznemu učencu na podlagi njegovih interesov, predznanja, zmožnosti, učnih preferenc ali posebnih potreb. Takšna zasnova lahko učenje naredi učinkovitejše, saj podpira aktivno mišljenje, olajša pomnjenje, poglobi razumevanje in pripomore k boljšim učnim dosežkom (Maroukcas idr., 2021; Maroukcas idr., 2024).

Poleg tega lahko personalizirana navidezna učna okolja naslovijo nekatere pogoste težave tradicionalnega poučevanja in nepersonaliziranih digitalnih okolij. Z ustrežnejšim ujemanjem med zahtevnostjo nalog in zmožnostmi učenca zmanjšujejo tveganje za preobremenjenost in frustracije ter lahko povečajo zanimanje za učenje, kar se pogosto pokaže tudi v večji vztrajnosti in boljšem uspehu (Maroukcas idr., 2021).

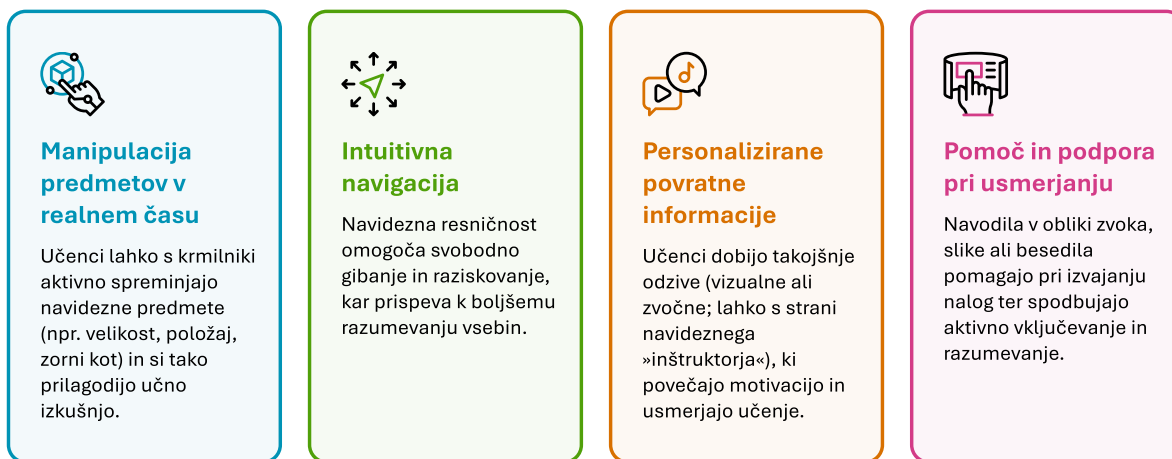
5.3.4 Personalizacija učenja z orodji razširjene resničnosti

Ena od prednosti razširjene resničnosti je možnost ustvarjanja personaliziranih učnih izkušenj. To lahko omogočajo podatki, ki jih zbirajo sledilne funkcije naprav razširjene resničnosti (npr. navidezna očala). Gibanje in interakcije učencev v navideznem okolju lahko nakazujejo njihovo pozornost in vključenost, ti podatki pa bi lahko učiteljem pomagali prepoznati vrzeli v znanju ter prilagoditi pouk potrebam posameznega učenca ali skupine (Mourtzis idr., 2022). Hkrati pa je treba upoštevati, da gre za podrobne podatke o vedenju v učnem procesu, zato njihova uporaba ni zgolj tehnično, temveč tudi pedagoško in etično vprašanje, povezano z namenom zbiranja, obsegom podatkov in načinom njihovega upravljanja, hkrati pa pomeni tudi večjo delovno obremenitev učitelja.

Razširjena resničnost lahko personalizacijo podpre tudi na ravni učne poti oziroma zahtevnosti. Učenec lahko napreduje skozi vsebino po korakih, najprej na osnovni ravni, nato pa postopoma prehaja k zahtevnejšim nalogam, pri čemer tempo in zaporedje nekoliko prilagodi svojim potrebam. Takšno stopnjevanje spominja na logiko zasnove računalniških iger, kjer se uporabnik uči postopno in napreduje glede na uspešnost. Personalizirana navidezna okolja pogosto vključujejo mentorje ali digitalne vodiče, ki učencu ponudijo razlago, odgovorijo na vprašanja ali ga usmerjajo med raziskovanjem. Učenci se lahko k vsebini vračajo, ponavljajo izkušnje in postopoma poglobljajo razumevanje, kar podpira trajnejše usvajanje znanja (Webb, 2024).

5.3.5 Načini doseganja personalizacije v razširjeni resničnosti

Personalizacija v okoljih razširjene resničnosti se pogosto uresničuje prek naprednih interaktivnih tehnik, ki učencu omogočajo aktivno, samo usmerjeno in prilagojeno učno izkušnjo. Med ključne pristope sodijo manipulacija predmetov v realnem času, intuitivna navigacija, personalizirane povratne informacije ter podpora in pomoč pri usmerjanju (glej sliko 5.13).



Slika 5.13: Načini doseganja personalizacije v VR-okoljih povzeto po Maroungkas idr. (2023).

Manipulacija predmetov v realnem času

Manipulacija predmetov v realnem času omogoča, da učenec v navideznem prostoru samostojno posega v učne situacije, spreminja predmete, eksperimentira z njihovimi lastnostmi in neposredno opazuje posledice svojih dejanj.

Intuitivna navigacija

Druga tehnika, intuitivna navigacija, se nanaša na oblikovanje uporabniških vmesnikov, ki omogočajo naravno gibanje brez zapletenih navodil.

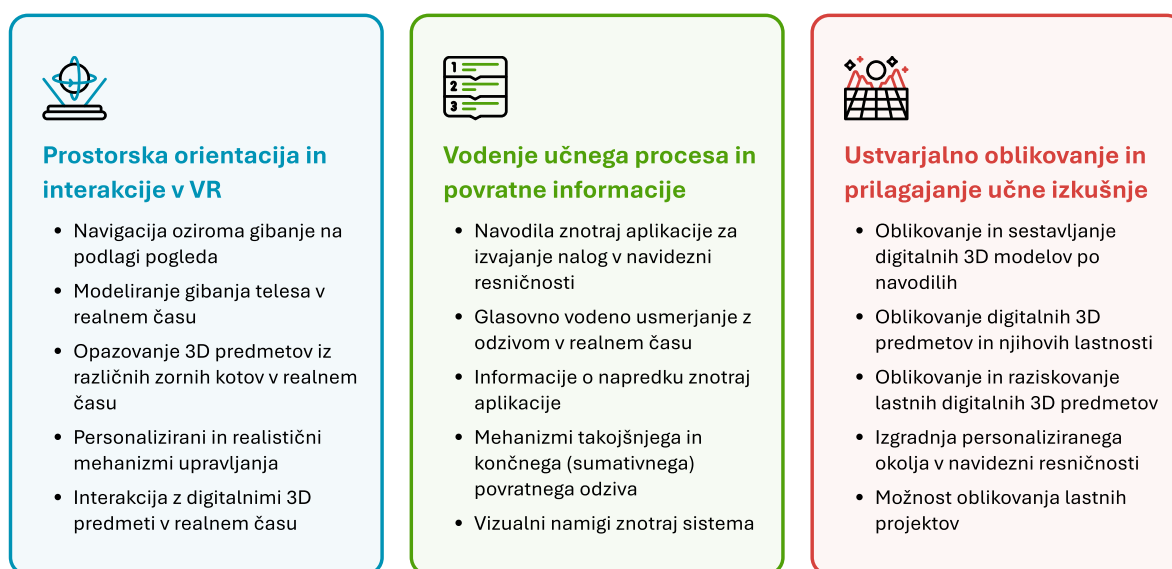
Personalizirane povratne informacije

Personalizirane povratne informacije so ključni element prilagodljivega učenja v navideznem prostoru. Sistem spremlja učenčevu aktivnost, uspešnost in strategije ter na podlagi teh podatkov sproti generira povratne informacije, prilagojene posameznikovemu znanju in potrebam. Povratne informacije so lahko vizualne, zvočne ali besedilne ter se prilagajajo učnemu kontekstu in stopnji zahtevnosti nalog.

Podpora in pomoč pri usmerjanju

Zadnja tehnika, podpora in pomoč pri usmerjanju, vključuje uporabo navideznih pomočnikov ali mentorjev, ki učencu ponudijo sprotno podporo in namige med učenjem. Takšni navidezni spremljevalci omogočajo individualizirano pomoč, usmerjajo učni proces in zmanjšujejo občutek negotovosti, kar pripomore k večji samostojnosti in boljšemu razumevanju učenja (Marougkas idr., 2023).

Poleg štirih temeljnih tehnik personalizacije v navidezni resničnosti so v literaturi opisani tudi drugi pristopi (glej sliko 5.14), ki naj bi pripomogli k bolj individualizirani učni izkušnji. Mednje sodijo prilagajanje učnega okolja, spremljanje napredka uporabnika, uporaba podatkov o uspešnosti, analiza vzorcev interakcije, prilagajanje kompleksnosti nalog, dinamično prilagajanje vsebine, uporaba umetne inteligence pri podpori odločanju ter analitično spremljanje in vrednotenje učnih procesov. Nekateri avtorji omenjajo tudi možnosti čustveno odzivne prilagoditve ter uporabo biometričnih kazalnikov, vendar so ti pristopi praviloma povezani z dodatnimi metodološkimi in etičnimi vprašanji, zlasti glede zanesljivosti interpretacije, zasebnosti in upravljanja podatkov.



Slika 5.14: Druge oblike in tehnike personalizacije v navidezni resničnosti v izobraževanju povzeto po Marougkas idr. (2023).

Opisane tehnike lahko omogočajo natančnejši vpogled v učenčevo napredovanje in odzive ter potencialno podpirajo oblikovanje učnih okolij, ki se prilagajajo uporabniškovim potrebam. Pri tem pa je pomembno poudariti, da je učinek takšnih prilagoditev odvisen od kakovosti didaktične zasnove, veljavnosti uporabljenih kazalnikov ter jasne utemeljitve, katere podatke je smiselno vključevati in za kakšen namen (Marouğkas idr., 2023).

5.3.6 Umetna inteligenca in personalizirano učenje

Inteligentni sistemi za učenje (tudi inteligentni učni sistemi) so računalniški programi, ki uporabljajo umetno inteligenco za izboljšanje učenja in poučevanja. Omogočajo prilagoditev učne vsebine glede na različne stopnje predznanja ali interesov posameznih učencev (personalizacija poučevanja), hitro generiranje raznolikih vsebin za poenostavljeno razlago (povzetki zahtevnejših vsebin po meri) ter hitro povratno informacijo (ocenevalne lestvice za vrednotenje nalog). S tem povečujejo uspešnost (razvoj) kot tudi motivacijo posameznikov, saj je proces učenja prilagojen njihovim potrebam in predstavlja bolj personalizirano izkušnjo. Pri tem pa je ključno, da se zaščiti zasebnost učencev in zagotovi varovanje podatkov. Splošno sprejeto je, da je posamično poučevanje bistveno bolj učinkovito kot poučevanje v skupini (razredu), vendar je običajno predrago. Delno to rešujemo s poučevanjem z računalniki, predvsem z delno avtomatizirano (in s tem cenejšo) gradnjo inteligentnih poučevalnih sistemov (ITS), ki pa še vedno zahtevajo vključevanje področnih ekspertov.

Sistemi umetne inteligence, zasnovani za personalizirano učenje, lahko delujejo kot individualizirani mentorji, ki se dinamično prilagajajo tempu, znanju in učnemu stilu vsakega posameznega dijaka. Umetna inteligenca prevzema vse več rutinskih in administrativnih nalog, od priprave osnutkov učnih gradiv in generiranja kvizov do analize učnih podatkov in avtomatiziranega sledenja napredku, s tem se učiteljem sprošča dragocen čas in kognitivni viri.

Astra AI, slovenski start-up, ustanovljen leta 2023, je prejemnik naziva Slovenski start-up leta 2025. Aplikacija deluje kot osebni tutor, ki z umetno inteligenco pomaga dijakom pri hitrejšem učenju ter izboljšanju ocen. Platforma je na voljo 24/7 in uporabnikom omogoča, da fotografirajo nalogo, umetna inteligenca pa jih nato z natančnimi razlagami vodi skozi postopek reševanja, namesto da bi ponudila zgolj končni odgovor. Čeprav je poudarek na matematiki, Astra AI pokriva širok spekter predmetov, vključno s kemijo, fiziko, biologijo in družboslovjem, hkrati pa ponuja tudi personalizirane učne načrte za pripravo na izpite. S trditvijo, da jim zaupa več kot 439.000 uporabnikov, in z garancijo na uspeh se predstavlja kot cenovno ugodna ter dostopna alternativa tradicionalnim inštrukcijam (Tracxn, b. d.; Astra AI, b. d.; Start:up Slovenija, 2025). Ta premik od informacijsko-centričnega k izkustveno-centričnemu pristopu in individualizaciji učnih vsebin ni zgolj tehnološka nadgradnja, ampak ontološka sprememba v razumevanju, kaj pomeni učenja učenja v 21. stoletju.

Učitelji učence usposobijo pri uporabi umetne inteligence tako, da jo postavijo v vlogo **sogovornika za razvijanje kritičnega mišljenja**, ne pa kot orodje za iskanje končnih odgovorov, da se premakne od »sogovornika za debato« k »osebnemu inteligentnemu tutorju«. To lahko dosežemo pri učencih tako, da jih spodbujamo k pogovoru z umetno inteligenco in kreiranju vaj, kjer kritično ocenjujejo znanje umetne inteligence, s pomočjo znanstvenega gradiva, v obliki učbenikov. Ključna ideja je, da umetna inteligenca ne ponudi rešitve, ampak nudi prilagojene namige in izzive, ki učenca spodbujajo k samostojnemu razmišljanju in popravljanju napak. Ta partner ne vodi učenca le skozi reševanje posamezne naloge z namigi, temveč tudi »inteligentno« izbira in prilagaja celotno učno pot glede na učenčevo znanje, napredek in interese. Cilj je ustvariti popolnoma personalizirano in optimizirano učno izkušnjo. S tem učenec ohranja aktivno vlogo in razvija globlje razumevanje (Aref, b. d.).

Potreben je celovit pedagoški okvir za usposabljanje učencev pri uporabi umetne inteligence in razširjene resničnosti, ki temelji na dveh komplementarnih teoretičnih stebrih. Prvi je sociokulturna teorija Leva Vygotskega, natančneje njegov koncept »kompetentnejšega drugega« (ang. *More-Knowledgeable Other*). V sodobnem kontekstu vlogo kompetentnejši drugi ne prevzema več zgolj človeški mentor, temveč tudi tehnologija, ki učencu ponudi prilagojeno vodstvo znotraj njegovega območja bližnjega razvoja.

Koncept »kompetentnejšega drugega« Leva Vygotskega tradicionalno opisuje osebo, kot je učitelj, starš ali vrstnik, ki učenca vodi skozi nalogo, zanj pretežko, vendar jo zmore opraviti s pomočjo tutorja. Ta proces poteka znotraj »območja bližnjega razvoja«, dinamičnega prostora med tem, kar učenec že zna, in tem, kar lahko doseže z vodenjem. Vendar pa Vygotsky ni omejil kompetentnejšega drugega zgolj na človeške interakcije. Sodobne interpretacije njegove teorije razširjajo ta koncept na katerikoli vir, človeški ali stvaren, ki zagotavlja potrebno vodstvo za učenje (Abtahi, 2017). Umetna inteligenca je v kombinaciji z razširjeno resničnostjo v tem pogledu paradigmatična primera tehnološkega kompetentnejšega drugega.

Po Vygotskem je kompetentnejši drugi lahko ne le oseba, temveč tudi pripomoček, saj je znanje vgrajeno v fizično zasnovano orodje, ki uporabnika naravno vodi k razumevanju koncepta. Kompetentnejši drugi je torej vsak vir, človeški ali stvaren, ki zagotavlja potrebno vodenje za učenje znotraj območja bližnjega razvoja. Čeprav umetna inteligenca v tej vlogi služi kot orodje za izboljšanje procesa, človeški dejavnik ostaja ključen in tehnologija ne nadomešča mentorjev. S konceptom so povezani tudi izzivi, kot sta strah pred izgubo delovnih mest in nezaupanje v tehnologijo, so pa omejitve, vključno s potrebo po tehničnem znanju koordinatorjev in tveganjem, da so učni podatki, uporabljeni za urjenje umetne inteligence, pomanjkljivi (Abtahi, 2017; Łuczak idr., 2024).

Hiter razvoj tehnologije neposredno sili izobraževalni sistem k preusmeritvi. Naloge, ki temeljijo na pomnjenju in reprodukciji informacij, postajajo vse manj relevantne v svetu, kjer imajo stroji takojšen dostop do praktično celotnega človeškega znanja. Namesto tega postajajo ključne veščine višjega reda: kritično mišljenje, ustvarjalnost, reševanje kompleksnih problemov in čustvena inteligentnost. Neuspeh pri tej prilagoditvi ne bo pomenil zgolj zaostanka, temveč aktivno pripravo dijakov na zastarele metode. Zato integracija umetne inteligence in razširjene resničnosti ni več izbira, ampak nuja,

ki zahteva redefinicijo samih ciljev izobraževanja. Usposabljanje učiteljev se posledično ne sme osredotočiti le na to, kako uporabljati nova orodja, ampak predvsem na to, zakaj in kako na novo zasnovati kurikulum, ki bo učence opremil za prihodnost, v kateri bo sodelovanje z inteligentnimi sistemi postalo norma. Povezava z idejami o umetni inteligenci v izobraževanju, kot jih zagovarja Salman Amin Khan, je neposredna: premišljeno zasnovana umetna inteligenca lahko deluje kot orodje, ki sistematično spodbuja in podpira delovanje analitičnega mišljenja (Khan, 2024).

Drugi steber je delo nobelovca Daniela Kahnemana o dvojnih kognitivnih procesih, ki ločuje med hitrim, intuitivnim načinom razmišljanja (t.i. »Sistemom 1«) in počasnim, analitičnim razmišljanjem (t. i. »Sistemom 2«). Če Vygotsky pojasnjuje socialni in podporni mehanizem učenja, Daniel Kahneman v svoji knjigi *Razmišljanje, hitro in počasi* ponuja vpogled v notranjo arhitekturo človeškega mišljenja (Kahneman, 2016). Kahneman ločuje med dvema sistemoma:

- **Sistem 1** deluje avtomatsko, hitro, intuitivno in čustveno;
- **Sistem 2** je njegov antipod: je zavesten, logičen, analitičen in zahteva miselni napor.

Povezava z idejami Salmana Khana je v tem, da lahko umetna inteligenca, kot jo opisuje Khan, deluje kot orodje, ki podpira in izboljšuje delovanje našega analitičnega mišljenja. Namesto da bi študenti avtomatično ugibali ali iskali hitre rešitve, jih lahko UI-mentor (kot je Khanmigo) vodi skozi proces reševanja problema z zastavljanjem vprašanj, kar jih sili v uporabo analitičnega mišljenja. Na ta način se učenci izognejo kognitivnim bližnjicam in pristranskostim, o katerih piše Kahneman. Medtem ko Kahneman pojasnjuje, da se naš um pogosto zanaša na hiter, a nezanesljiv Sistem 1, tehnološke rešitve, kot je umetna inteligenca, posameznikom omogočajo učinkovitejšo uporabo logičnega Sistema 2 za doseganje boljših učnih rezultatov.

V nasprotju s tem se specializirani modeli umetne inteligence že kažejo za zelo uspešne, saj uporabnikom ponudijo osebno pomoč pri razumevanju kompleksnih vsebin in zmanjšujejo obremenitev mentorjev. Projekti, kot je SMARTA, pa z uporabo specializiranih klepetalnih robotov rešujejo »problem dveh sigem«, to je vprašanje, kako prednosti individualnega mentorstva prenesti v širše izobraževalno okolje, kjer individualna podpora za vsakega študenta običajno ni izvedljiva. Z zagotavljanjem podpore, primerljive z individualnim mentorstvom, izboljšujejo motivacijo in učne rezultate velikega števila študentov, s čimer se odpira priložnost za zmanjšanje razlik v izobraževanju (Stojanov, 2023; Bieletzke, 2024; Umer idr., 2025).

Umetna inteligenca v izobraževanju ponuja izjemne prednosti, kot so prilagojeno učenje, stalen dostop do znanja in neomejena razpoložljivost, vendar ključne pomanjkljivosti, saj ji primanjkuje empatije, izvirne ustvarjalnosti in transparentnosti, kar so lastnosti odličnega človeškega učitelja. V tem okviru umetna inteligenca in razširjena resničnost nista razumljeni kot vir takojšnjih odgovorov, ki bi spodbujal kognitivno pasivnost, temveč kot orodji, ki strateško spodbujata in podpirata napornejše, a globlje procese kritičnega mišljenja, značilne za analitično mišljenje.

Glavno tveganje predstavlja generiranje napačnih informacij, kar nekateri avtorji imenujejo »halucinacije« (Lewis idr., 2020). Rešitev za te izzive je vzpostavitev ekosistema zaupanja, ki temelji na dveh stebrih: prvi je »Nacionalna baza znanja za izobraževanje« (NBZI), centraliziran in preverjen vir učnih vsebin, ki preprečuje uvoz kulturnih pristranskosti (Adam idr., 2022), drugi pa je tehnična implementacija protokola *Retrieval-Augmented Generation* (RAG). RAG sistem prisili umetno inteligenco, da odgovore oblikuje izključno na podlagi preverjenih informacij iz NBZI in jih opremi s citati, s čimer postane zanesljiv in transparenten pomočnik (NVIDIA, 2025a). Takšna arhitektura omogoča individualizirano podporo vsakemu dijaku, v nasprotju s splošnimi orodji, kot je ChatGPT, ki lahko spodbujajo miselne bližnjice in ustvarjajo lažen občutek razumevanja, zaradi česar jih Stojanov (2023) opisuje kot »potencialno pomanjkljivo interaktivno Wikipedijo«.

V nasprotju s trenutnimi orodji, ki od učencev zahtevajo, da sami poiščejo pomoč, se uvaja koncept **agentov v ozadju** (ang. *Overhearing Agents*). Ti agenti niso aktivni udeleženci v učnem procesu, temveč pasivno spremljajo delo učenca in mu neopazno ponudijo pomoč, ko zaznajo težave (Zhu in Callison-Burch, 2025).

Njihovo delovanje v razredu lahko opredelimo z dvema ključnima dimenzijama (Zhu in Callison-Burch, 2025):

- **Stanje:** agent deluje zgolj informativno (npr. ob reševanju matematične naloge na tablici prikaže pozabljen obrazec) ali pa aktivno posega v delo (npr. po skupinskem dogovoru o projektu samodejno ustvari možnost oddaje naloge v e-učilnici z rokom oddaje).
- **Pravočasnost:** ali je pomoč potrebna takoj (npr. med navideznim kemijskim poskusom agent opozori na napačen korak) ali pa se lahko izvede kasneje (npr. po koncu ure generira povzetek ključnih poudarkov za dijaka, ki je bil odsoten).

Prototip sistema, kot je Googlov »Sensible Agent«, ponazarja izjemen potencial v izobraževanju (Du in Lee, 2025). S kamero in mikrofonom bi sistem lahko zaznal, da je učenec zmeden ali je obtičal pri nalogi. Namesto da bi učenec moral dvigniti roko in prekiniti pouk, bi mu sistem diskretno ponudil namig na njegovem zaslonu. Takšen pristop bi precej zmanjšal kognitivno obremenitev in strah pred spraševanjem, hkrati pa bi učitelju omogočil, da se osredotoči na poučevanje, medtem ko umetna inteligenca skrbi za individualizirano podporo. Ob tem se porajajo tudi vprašanja o tveganju, in sicer ali bo agent zares ustrezno prepoznal učenčevo potrebo, mu ponudil ustrezne namige in podobno.

Tehnologija proaktivnih agentov prinaša **priložnosti in tveganja za šolstvo:**

- **Priložnost za zmanjšanje razlik:** z avtomatizirano in personalizirano pomočjo lahko izboljša učenje in ponudi podporo vsem učencem, še posebej tistim s posebnimi potrebami ali tistim, ki si ne morejo privoščiti inštrukcij.
- **Tveganje za poglobitev razlik:** nenehno zbiranje podatkov o uspešnosti in vedenju učencev ustvarja ogromno tveganje za zasebnost, vgradnjo pristranskosti in

ustvarjanje novega razkoraka med šolami, ki si takšno tehnologijo lahko privoščijo, in tistimi, ki ne.

Soočenje s temi izzivi zahteva celostno, **nacionalno strategijo za UI v izobraževanju**. Digitalni razkorak ni več le vprašanje dostopa do računalnikov, temveč vprašanje dostopa do varnih, zanesljivih in pedagoško preverjenih orodij umetne inteligence. Razvoj nacionalnih modelov, usklajenih z učnimi načrti, je lahko ključna naložba za zmanjšanje odvisnosti od tujih rešitev in zagotovitev, da umetna inteligenca v naših šolah deluje kot zanesljiv in pravičen pomočnik. Digitalne vključenosti ni mogoče doseči s pasivnim sprejemanjem globalnih rešitev, temveč z aktivnim oblikovanjem digitalne prihodnosti, ki bo usklajena z našimi družbenimi in izobraževalnimi vrednotami.

Končni cilj uvajanja umetne inteligence in razširjene resničnosti v šole ni ustvariti generacijo učencev, ki bodo znali zgolj tehnično upravljati novo tehnologijo, to bi bila nevarno kratkovidna in nizka ambicija. Cilj je bistveno globlji: uporabiti to tehnologijo kot kognitivno orodje, ki razširja naše miselne zmožnosti in omogoča sistematično kultivacijo tistih sposobnosti, ki v dobi avtomatizacije ostajajo izključno in nenadomestljivo človeške: **globokega kritičnega mišljenja, divergentnega mišljenja, ustvarjalnosti in prilagodljivosti**.

V tem novem ekosistemu umetna inteligenca prevzame vlogo neutrudnega, personaliziranega in potrpežljivega inteligentnega tutorja. Sposobna je v realnem času diagnosticirati vrzeli v znanju, prilagoditi zahtevnost nalog in voditi vsakega dijaka posebej skozi njegovo individualno območje bližnjega razvoja. S tem ko prevzame nase mehanični del učenja, kot so ponavljanje, utrjevanje osnov, preverjanje razumevanja, se zgodi ključni premik: sprosti se najdragocenejši vir v izobraževanju, kot je čas za **pristno človeško interakcijo med učiteljem in učencem**.

Učitelj, osvobojen bremena rutinskih in administrativnih nalog, se lahko prelevi iz posredovalca informacij v **arhitekta kompleksnih učnih izkušenj**. Njegova vloga postane vloga mentorja, ki navdihuje z zastavljanjem provokativnih vprašanj, ki jih umetna inteligenca ne more. Postane moderator, ki vodi etične debate o posledicah tehnologije. Postane trener, ki prepozna in spodbuja čustveno inteligenco, empatijo in sposobnost sodelovanja in veščin, ki jih nobena računalniška koda ne more simulirati. Tehnologija tako ne nadomešča človeka; nasprotno, z avtomatizacijo rutine ga opolno-moči in povzdigne njegovo vlogo na višjo, bolj človeško raven.

Zato se uspeh te izobraževalne preobrazbe na koncu ne bo meril v tehničnih specifikacijah, ne v hitrosti procesorjev, gigabajtih pomnilnika ali številu parametrov v nevronskih mrežah. Pravo merilo uspeha bo vidno v zmožnosti prihodnjih generacij, da vstopijo v simbiotično partnerstvo s tehnologijo. Merilo bo njihova sposobnost, da UI uporabijo ne kot orodje za iskanje lahkih odgovorov, temveč kot sogovornika za postavljanje težjih vprašanj. Uspeh bo v tem, da bodo postali premišljeni gospodarji tehnologije, ne njeni pasivni, nekritični uporabniki.

5.4 Usposobljenost strokovnih delavcev za uporabo tehnologij razširjene resničnosti

Razvoj usposobljenosti učiteljev in drugih pedagoških delavcev je eden ključnih pogojev za smiselno vključevanje tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno izobraževalni proces. Ko učitelji razumejo didaktične možnosti in omejitve teh tehnologij ter jih znajo povezati z učnimi cilji, lahko razširjena resničnost postane orodje za bolj aktivno in izkustveno učenje, na primer z interaktivnimi simulacijami, manipulacijo tridimenzionalnih modelov ali navideznimi ekskurzijami. Ciljno razvite kompetence lahko pripomorejo k večji vključenosti in motivaciji učencev ter, ob ustrezni pedagoški zasnovi, tudi k izboljšanju učnih dosežkov (Rutten in Brouwer-Truijen, 2025).

Za sistematično opredelitev teh kompetenc je smiselno izhajati iz obstoječih okvirov digitalnih kompetenc, zlasti modela DigCompEdu (2017), ki ponuja strukturiran pregled področij strokovnega delovanja učiteljev. Ker ta okvir ne vključuje specifičnih zahtev tehnologij razširjene resničnosti, je v nadaljevanju predstavljena razširjena in prilagojena različica kompetenc, ki izhaja iz njegove strukture, vendar jo nadgrajuje z vidiki, značilnimi za okolja razširjene resničnosti. Kompetence so razvrščene po področjih strokovnega delovanja ter zajemajo organizacijske, pedagoške, tehnične in etične razsežnosti uporabe tehnologij razširjene resničnosti.

UČENJE IN POUČEVANJE	
Pedagoške kompetence	Učitelji morajo
poučevanje	razširjeno resničnost integrirati v pouk tako, da ustvarja poglobljena učna okolja, omogoča interaktivne simulacije, diferencirano poučevanje, sprotno ocenjevanje in razvoj novih pedagoških pristopov.
vodenje	znati voditi učence v okoljih razširjene resničnosti z individualno pomočjo, prilagodljivimi tutorji ter sprotimi povratnimi informacijami, na primer pri vajah iz medicine ali tehničnih spretnostih.
sodelovalno učenje	razširjeno resničnost uporabljati za spodbujanje sodelovalnih projektov, simulacij vlog in problemskega učenja, kjer učenci skupaj rešujejo kompleksne naloge v navideznih okoljih.
samouravnavanje učenja	znati spodbujati samostojno učenje z razširjeno resničnostjo, na primer z interaktivnimi dnevniki, osebnimi učnimi potmi in refleksijo ob poglobljenih simulacijah.

Tabela 5.2: Kompetenca učenja in poučevanja po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

POKLICNO DELOVANJE	
Strokovne kompetence	Učitelji morajo
organizacijsko komuniciranje	znati uporabljati razširjeno resničnost za izboljšanje komunikacije v šoli in z zunanjimi deležniki. Omogoča pripravo navideznih dni odprtih vrat, srečanj s starši, simulacij učnih izzivov, sodelovanje s kolegi ter navideznih ogledov dogodkov.
strokovno sodelovanje	znati sodelovati v okoljih razširjene resničnosti, kjer z drugimi razvijajo učne vire, izmenjujejo prakse ter izvajajo delavnice ali simulacije, ki podpirajo mednarodno in interdisciplinarno povezovanje.
reflektivna praksa	biti sposobni uporabljati razširjeno resničnost za samorefleksijo. Razširjena resničnost omogoča snemanje lastnega poučevanja, simulacijo zahtevnih situacij ter eksperimentiranje z različnimi pedagoškimi pristopi v varnem navideznem okolju.
digitalno stalno strokovno izpopolnjevanje	razširjeno resničnost uporabljati kot orodje za stalno strokovno rast, dostop do interaktivnih treningov, sodelovanje na navideznih konferencah, izmenjavo dobrih praks ter oblikovanje lastnih učnih vsebin.

Tabela 5.3: Kompetenca poklicnega delovanja po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

VREDNOTENJE	
Pedagoške kompetence	Učitelji morajo
strategije vrednotenja	resničnost vključiti v ocenjevanje z uporabo realistično zasnovanih simulacij in aktivnosti, ki omogočajo preverjanje praktičnih spretnosti, odločanja in reševanja problemov.
analiza dokazov	znati zbirati in analizirati podatke iz okolij razširjene resničnosti ter jih povezovati z drugimi viri za boljše spremljanje napredka učencev.
povratne informacije in načrtovanje	uporabljati razširjeno resničnost za dajanje personaliziranih povratnih informacij, sprotno spremljanje napredka, diferencirano učenje in skupno načrtovanje naslednjih korakov.

Tabela 5.4: Kompetenca vrednotenja po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

DIGITALNI VIRI	
Pedagoške kompetence	Učitelji morajo
izbiranje digitalnih virov	kritično izbirati vire glede na interaktivnost, dostopnost, cilje pouka in možnosti integracije v obstoječe sisteme, da se zagotovi pedagoško ustrezna uporaba tehnologije.
izdelovanje in poustvarjanje digitalnih virov	biti sposobni načrtovati in razvijati lastne učne vire, jih prilagajati potrebam učencev ter sodelovati pri soustvarjanju dostopnih in etično deljenih vsebin.
upravljanje, zaščita in deljenje digitalnih virov	znati varno deliti vsebine prek ustreznih platform, upravljati dostop ter upoštevati avtorske pravice in etične smernice pri uporabi občutljivih podatkov v okoljih razširjene resničnosti.

Tabela 5.5: Kompetenca digitalnih virov po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

OPOLNOMOČENJE UČENCEV	
Pedagoške kompetence	Učitelji morajo
dostopnost in vključenost	zagotavljati, da razširjena resničnost povečuje dostopnost. Z navideznimi sprehodi lahko spodbujamo dostop do težje dostopnih prostorov. Razširjena resničnost omogoča tudi prevajanje v različne jezike ter podporo za gibalno ali senzorno ovirane učence.
diferenciacija in personalizacija	uporabljati razširjeno resničnost za prilagajanje učnih poti, na primer zahtevnejše naloge za napredne učence ali AR-pomoč korak za korakom za tiste, ki potrebujejo dodatno podporo.
aktivno vključevanje učencev	vključiti razširjeno resničnost za povečanje angažiranosti. To lahko dosežejo na primer z dinamičnimi simulacijami in navideznimi laboratoriji, terenskimi simulacijami.

Tabela 5.6: Kompetenca opolnomočenja učencev po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

VODENJE IN PODPORA UČENCEM PRI PRIDOBIVANJU DIGITALNIH KOMPETENC	
Kompetence učiteljev	Učitelji morajo
informacijska in medijska pismenost	razširjeno resničnost uporabljati za razvijanje kritičnega vrednotenja informacij, ustvarjanje lastnih vsebin ter spodbujanje razumevanja digitalnih medijev skozi poglobljene izkušnje.
digitalno komuniciranje in sodelovanje	uporabljati razširjeno resničnost za razvoj sodelovalnih in komunikacijskih spretnosti učencev, vse od skupinskih projektov v VR do javnih nastopov v simuliranih okoljih in razprav z vrstniki iz različnih kultur.
izdelovanje digitalnih vsebin	biti usposobljeni za oblikovanje vsebin, kot so 3D okolja, simulacije in interaktivne zgodbe, ter znati vključevati učence v proces ustvarjanja.
odgovorna raba	znati obravnavati etične, varnostne in zdravstvene vidike uporabe razširjene resničnosti, od zaščite zasebnosti in digitalnih sledi do ozaveščanja o tveganjih in družbeni odgovornosti.
digitalno reševanje problemov	razširjeno resničnost uporabljati kot orodje za reševanje tehničnih težav, ustvarjanje inovativnih rešitev, vizualizacijo podatkov in mentorstvo kolegom.
izkustveno učenje	razširjeno resničnost uporabljati za podporo učenju, ki vključuje telesno gibanje, senzorične odzive in kombinacijo fizičnega ter navideznega sveta.

Tabela 5.7: Vodenje in podpora učencem pri pridobivanju digitalnih kompetenc po zgledu modela DigCompEdu, prirejene po Rutten & Brouwer-Truijen, 2025.

V zgornjih tabelah so predstavljene specifične kompetence po zgledu modela DigCompEdu, ki jih učitelji potrebujejo za učinkovito vključevanje tehnologij razširjene resničnosti v izobraževalni proces.

Pregled kompetenc kaže, da usposobljenost za uporabo tehnologij razširjene resničnosti ni omejena na tehnično rabo naprav, temveč vključuje celoten spekter pedagoških, organizacijskih in etičnih odločitev. Učitelj mora znati tehnologijo povezati z učnimi cilji, jo smiselno vključiti v učne strategije ter hkrati upravljati z digitalnimi viri, podatki in tveganji, ki so značilna za okolja razširjene resničnosti. Zato je razvoj teh kompetenc neločljivo povezan s sistematičnim strokovnim izpopolnjevanjem in s podporo na ravni institucije.

POGLAVJE 6

Izzivi pri uvajanju tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni proces

6.1 Tehnološki izzivi

V tem prispevku se omejujemo le na eno od naštetih prednostnih področij strategije Digitalna Slovenija 2030 (Vlada Republike Slovenije, 2023), in sicer na razsežnost digitalne kompetence in vključenost ter na primer dobre prakse – raziskovanje in uvajanje naprednih tehnologij razširjene resničnosti v izobraževalnem procesu v osnovnih in srednjih šolah v okviru izvajanja projekta TeachXR – Navidezna, obogatena in razširjena resničnost v izobraževanju (več na TeachXR.si).

Trg razširjene resničnosti doživlja hitro rast, ki jo spodbuja nenehen tehnološki napredek in vse širša uporaba v različnih sektorjih, vključno z zdravstvenim in izobraževalnim sistemom, finančnim sektorjem, zabavno industrijo in igrami na srečo. K rasti pripomorejo tudi številne pobude, kot je npr. projekt Muzeji v metaverzumu, da bi z uporabo tehnologije razširjene resničnosti omogočili navidezni dostop do muzejskih zbirk (Grand View Research, 2024).

Poleg tega številne (prebojne) inovacije dodatno pospešujejo združevanje razširjene resničnosti z drugimi naprednimi tehnologijami, kot sta umetna inteligenca in povezljivost 5G. Medtem ko umetna inteligenca omogoča bolj realistične simulacije in personalizirane izkušnje, 5G zagotavlja hitro in odzivno prenašanje vsebin, kar je ključno za nemoteno sodelovanje v navideznih okoljih.

Namen projekta TeachXR – Navidezna, obogatena in razširjena resničnost v izobraževanju je preoblikovati izobraževalni proces in učnim okoljem prinesiti sodobne tehnologije, ki bodo učencem in učiteljem omogočile bolj interaktivno, dinamično in poglobljeno učenje ter raziskovanje novih dimenzij učenja in razvijanje ustvarjalnosti kot tudi pridobitev potrebnih digitalnih znanj in sposobnosti, ki jih potrebuje vsak digitalno svereren posameznik. Za ta namen se v okviru projekta TeachXR izvajajo strokovna usposabljanja in delavnice, kjer se učitelji seznanijo z orodji in metodami za uporabo teh-

nologij razširjene resničnosti v razredu. Za zagotavljanje trajnosti in dostopnosti je bilo vzpostavljenih šest učnih laboratorijev v Ljubljani, Novem mestu, Slovenskih Konjicah in Markovcih. Ti učni laboratoriji udeležencem delavnic v okviru projekta TeachXR omogočajo uporabo, testiranje in nadaljnji razvoj orodij razširjene resničnosti tudi po zaključku projekta (Fakulteta za elektrotehniko UL, 2025).

V Sloveniji že obstajajo metode učenja (aplikacije) v okolju navidezne resničnosti, ki nimajo omejitve halucinacij, kot jih ima umetna inteligenca. Halucinacije umetne inteligence so postale eden najbolj poudarjenih problemov ob razmahu generativnih modelov, ko umetna inteligenca ustvari izdelek, ki je videti povsem prepričljiv, v resnici pa je lahko napačen ali celo izmišljen (Lewis idr., 2020; Satyadhar, 2025). Na primer, program LingoVerse, ki ga je razvil Laboratorij za računalniško grafiko in multimedije na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani (UL FRI), je igra v navidezni resničnosti, zasnovana za učenje nemščine v interaktivnih, realističnih dialogih in scenarijih. Jedro izkušnje je vadba pogovorne nemščine z realističnimi liki v polno glasovno podprtih okoljih, kjer napredno prepoznavanje govora uporabnikom omogoča naravno izboljšanje tekočnosti govora. Igra vključuje različna dinamična okolja, kot so mesto, podeželje in kuhinja, ter zabavne mini igre, kot je iskanje predmetov, za utrjevanje besedišča (Laboratorij za računalniško grafiko in multimedije na UL FRI, 2025).



Slika 6.1: Uporabniški vmesnik za izdelavo učnih scenarijev in končna rešitev LingoVerse (Laboratorij za multimedijo na UL FE, 2026; Laboratorij za računalniško grafiko in multimedije na UL FRI, 2025).

V tem kontekstu prizadevanja Slovenije za razvoj lastnega jezikovnega modela in uvajanje naprednih tehnologij v izobraževanje preko projektov, kot je TeachXR in v njegovem okviru delavnice za program LingoVerse, presegajo zgolj zastavljene tehnološke cilje, pomenijo tudi krepitev lastne digitalne suverenosti. In korak k »dekolonizaciji« izobraževalne tehnologije (EdTech), ki pomeni postopno razgradnjo hierarhij moči in znanja, ki se reproducirajo skozi tehnologije (Koole idr., 2024). Analiza digitalnega razkoraka razkriva, da tehnologija nikoli ni nevtralna. Globalni razvoj umetne inteligence in razširjene resničnosti je pretežno v rokah peščice korporacij iz dominantnih kulturnih okolij (Adam idr., 2022).

Vzpon globalnih tehnoloških platform je sprožil širšo razpravo o digitalni suverenosti, ki se nanaša na zmožnost posameznih držav, da ohranijo avtoriteto nad svojimi digi-

talnimi sredstvi in s tem svojo strateško avtonomijo. Država brez suverene tehnološke osnove, kot so veliki jezikovni modeli, in uporabo naprednih tehnologij v izobraževanju in usposabljanju, postane zgolj pasivni sopotnik, ki se zanaša na tuje tehnologije, in je potrošnik tujih storitev ter prepušča ustvarjanje vrednosti globalnim velikanom (Pohle in Thiel, 2020; Manuri in Sanna, 2022; Bondarenko idr., 2025).

Izobraževalni projekti z vključevanjem sodobnih digitalnih tehnologij (TeachXR) imajo pomembno vlogo pri zmanjševanju digitalnega razkoraka, saj sistemsko naslavlja več ključnih področij. Z opremljanjem šol po različnih regijah z najsodobnejšo tehnologijo in vzpostavljanjem učnih laboratorijev zagotavljajo, da učenci iz različnih socialno-ekonomskih okolij dobijo enakopraven dostop do naprednih izobraževalnih orodij. Hkrati z izobraževanjem učiteljev krepijo digitalne kompetence pedagoškega kadra, kar je ključno za učinkovito uporabo sodobnih digitalnih tehnologij v razredu. Ustvarjanje prosto dostopnih digitalnih učnih vsebin pa omogoča, da kakovostni izobraževalni viri dosežejo širši krog uporabnikov in niso omejeni le na tiste, ki si drago programsko opremo lahko privoščijo. Tako ne le izboljšujejo kakovost pouka, temveč tudi aktivno pripomorejo k večji digitalni vključenosti in enakim možnostim za vse udeležence v izobraževalnem sistemu.

Končni cilj digitalne preobrazbe v pametno družbo 5.0 (Bertoncel, 2020) zato ne sme biti zgolj implementacija digitalnih orodij, temveč tudi opolnomočenje prebivalstva. V tem kontekstu se opolnomočenje nanaša na razvijanje digitalnih kompetenc posameznikov s ciljem, da sodelujejo v procesih, ki določajo njihovo vsakdanje življenje, in na odločitve, ki jih zadevajo (Mandič, 2015). Le s postavljanjem človeka, njegovih potreb, jezika in kulture v središče tehnološkega razvoja lahko zagotovimo, da bo digitalna prihodnost vključujoča, pravična in da bo služila celotni družbi, ne le njenim tehnološko in ekonomsko najmočnejšim segmentom.

Investicijska banka Morgan Stanley je analizirala, kako bo svet financiral ogromno infrastrukturo, ki je potrebna za razvoj umetne inteligence. Ocenjujejo, da bo v naslednjih petih letih za podatkovne centre in strojno opremo porabljenih približno 3 milijarde evrov, kar bo zahtevalo šestkratno povečanje zmogljivosti in je sprožilo razpravo o »UI balonu« in »veliko stavo na UI«. Polovica teh sredstev (1,5 milijarde evrov) naj bi prišla iz lastnih virov velikih tehnoloških podjetij, druga polovica pa s finančnih trgov, predvsem z izdajo podjetniških obveznic. To tehnološkemu podjetjem omogoča večjo prožnost pri naložbah v zgodnjih, bolj tveganih fazah razvoja umetne inteligence. Nahajamo se na začetku enega največjih ciklov kapitalskih naložb, kjer imajo kreditni trgi ključno vlogo pri omogočanju te tehnološke revolucije (Sheets, 2025; Roberts, 2025).

Veliki jezikovni modeli so vrsta umetne inteligence, ki se osredotočajo na razumevanje in generiranje človeškega jezika. Gre za računalniške jezikovne modele, sestavljene iz nevronske mreže z ogromnim številom parametrov, ki so jih usposabljali (strojno učili) z zelo obsežno količino besedil (Peykani idr., 2025). Če želimo velik jezikovni model integrirati v tehnologije navidezne resničnosti, je potrebna močna strojna oprema. Vendar če že imamo naučen velik jezikovni model, postanejo stroški takšne vpeljave precej manjši.

Hitro rast globokega učenja, še posebej velikih jezikovnih modelov (ang. *Large Language Models* – LLM), ovirajo njihove ogromne računske in pomnilniške zahteve, ki narekujejo uporabo dragih in zmogljivih grafičnih procesnih enot (ang. *Graphics Processing Unit* – GPU). Kvantizacija rešuje ta izziv z zmanjšanjem numerične natančnosti modela, na primer s pretvorbo 32-bitnih števil s plavajočo vejico v učinkovitejša 8-bitna cela števila. Ta postopek bistveno zmanjša velikost modela, kar vodi do manjše porabe pomnilnika, hitrejšega sklepanja in zmanjšane porabe energije, s čimer se omogoča uporaba na širšem naboru strojne opreme z omejenimi viri, kot so posamezni GPU-ji in vgrajene naprave. Za to obstajata dva glavna pristopa: kvantizacija po učenju, ki optimizira model, potem ko je bil ta že naučen, in učenje zavedajoče se kvantizacije, ki postopek vključi med samo učenje, da bi bolje ohranil natančnost modela (Lang idr., 2024).

Razvoj strojne opreme z napredkom, kot je 4-bitna kvantizacija, omogoča »demokratizacijo« umetne inteligence in izvajanje naprednih modelov na lokalni infrastrukturi, kar je ključno za digitalno suverenost, ostaja pa največji dolgoročni izziv izjemna energetska potratnost sedanjega pristopa, saj podatkovni centri porabijo gigavate energije, kar ustvarja nevzdržno oviro za nadaljnje skaliranje in spodbuja iskanje novih, učinkovitejših računalniških paradigem, kot je nevromorfno računalništvo (Javanshir idr., 2022).

Nacionalni projekt velikega jezikovnega modela za slovenščino GaMS-1B-Chat, ki ga od leta 2024 gradijo Center za jezikovne vire in tehnologije, Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, Inštitut za novejšo zgodovino in Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti, neposredno naslavlja ta izziv z zmanjševanjem jezikovnih ovir in postaja temelj za razvoj prilagojenih aplikacij, kar krepi digitalno vključenost in razvojno neodvisnost. Slovenski veliki jezikovni model GaMS-1B-Chat je vrsta umetne inteligence, zasnovana za obdelavo, razumevanje in ustvarjanje besedila, podobnega človeškemu, in bo poznal slovensko kulturo, navade in znanje. GaMS-1B-Chat, ki je po ocenah tisočkrat manjši od največjih modelov, kot je ChatGPT, bo omogočal razvoj varne, kakovostne in odprto dostopne umetne inteligence v slovenščini (PoVeJMo, 2025).

Velika podjetja, kot so GitHub, Google, Microsoft, Hugging Face, Facebook in Salesforce, poleg komercialnih modelov razvijajo tudi odprtokodne modele in so pomembno prispevala k arhitekturi ter odprtokodnim platformam za strojno učenje, čeprav so ti nabori podatkov večinoma v angleškem jeziku. Uvedba umetne inteligence bi lahko do leta 2050 zmanjšala porabo energije in emisije ogljika za približno 8 do 19 %. V kombinaciji z energetskimi politikami in nizkoogljično proizvodnjo električne energije pa bi lahko porabo energije zmanjšala za 40%, emisije ogljika pa celo za 90 % v primerjavi s scenariji brez sprememb (Ding idr., 2024; Liu idr., 2024; Naveed idr., 2024). Umetna inteligenca je tako paradoks: čeprav njen razvoj in delovanje trenutno zahtevata znatno porabo energije ter prispevata k ogljičnemu odtisu, hkrati ponuja potencial za zmanjšanje porabe energije in emisij v prihodnosti.

Po drugi strani pa tehnologije razširjene resničnosti ponujajo zmogljiva orodja za zmanjšanje globalnih emisij ogljika s preoblikovanjem industrijskih procesov in sodelovanja. Tehnologija razširjene resničnosti lahko optimizira dobavne verige preko načrtovanja poti z obogateno resničnostjo, kar zmanjšuje porabo goriva in odpravlja potrebo

po ogljično intenzivnih poslovnih potovanjih. V oblikovalskem in proizvodnem sektorju navidezno prototipiranje in uporaba digitalnih dvojčkov znatno zmanjšujeta fizične odpadke in porabo energije z zmanjšanjem ustvarjanja fizičnih modelov. Poleg tega navidezne platforme omogočajo globalno sodelovanje brez potovanj, kar vodilnim omogoča simulacijo različnih scenarijev in sprejemanje bolj informiranih trajnostnih odločitev (Novosel in McCrone, 2024). Uspeh te tehnologije je torej povezan tako z okoljskim izzivom kot tudi z njihovimi rešitvami.

Vzročna veriga, v kateri kapitalske naložbe poganjajo energetske neučinkovito infrastrukturo, katere nevzdržna poraba sili v prehod iz paradigme surove računske moči v paradigmo energetske učinkovitosti, uteleša dve obetavni področji: nevromorfno računalništvo, ki s solokacijo pomnilnika in procesiranja odpravlja potratnost klasičnih arhitektur, in dolgoročno kvantno računalništvo, ki kljub zgodnji fazi in strojnim izzivom z izkoriščanjem kvantnih pojavov obljublja reševanje danes nerešljivih problemov in je že prepoznano kot ključno strateško področje (Bärtschi in Eidenbenz, 2023; Acampora idr., 2025).

Za uporabo umetne inteligence v razširjeni resničnosti je glavni tehnološki izziv strojna oprema za prvotno treniranje velikih jezikovnih modelov. Modeli, ki so trenutno v razvoju, kot na primer najzmogljivejši slovenski veliki jezikovni model GaMS-1B-Chat (besedila v obsegu 40 milijard besed), zahteva ogromno računsko moč superračunalnikov. Ko se modeli naučijo, pa se za končno izvajanje in uporabo teh modelov potrebuje le dostopnejše platforme, vključno z osebni računalniki (PoVeJMo, 2025). Ta premik omogočajo inovacije na področju grafičnih procesnih enot in specializiranih platform, hkrati pa se v prihodnosti obetajo popolnoma novi računski pristopi, kot sta nevromorfno in kvantno računalništvo.

Za lokalno izvajanje velikih jezikovnih modelov na osebni računalniku je ključna komponenta zmogljiva grafična kartica z zadostno količino video pomnilnika. Trenutna generacija kartic, kot je NVIDIA GeForce RTX 5090, bo z lahkoto poganjala modele z devetimi milijardami parametrov. Poleg pomnilnika, napredna arhitektura Blackwell s Tensor jedri nove generacije in hitrim pomnilnikom GDDR7 zagotavlja izjemno hitrost generiranja odgovorov, kar omogoča odzivno uporabniško izkušnjo (NVIDIA, b. d.; Lang idr., 2024)

NVIDIA DGX Spark je kompakten superračunalnik z umetno inteligenco, zasnovan za razvijalce in raziskovalce, njegova glavna prednost pa je 128 GB koherentnega enotnega pomnilnika (z opcijo da se združi več DGX Sparkov skupaj). Ta edinstvena lastnost mu omogoča nalaganje in poganjanje izjemno velikih modelov umetne inteligence (do 200 milijard parametrov), zaradi česar je idealen za prototipiranje in eksperimentiranje, kjer je surova hitrost sklepanja (inference) drugotnega pomena. Čeprav je njegova zmogljivost v primerjavi z diskretnimi grafičnimi procesorji polne velikosti omejena s pasovno širino pomnilnika, se DGX Spark odlično izkaže v svoji namenski vlogi, saj zagotavlja razvijalcem prijazno in toplotno učinkovito platformo, ki poganja enak programski paket NVIDIA industrijske kakovosti kot večji sistemi. Na koncu zamenja vrhunsko hitrost za dostopnost in priročnost razvoja ogromnih modelov neposredno na mizi (NVIDIA, 2025a; NVIDIA, 2025b; Zhou in Chen, 2025).

Takšne novodobne rešitve, ki omogočajo poganjanje velikih jezikovnih modelov lokalno, bi se lahko tudi uporabile za kombinacijo opreme razširjene resničnosti in umetne inteligence. Takšni kompaktni prenosni superračunalniki so trenutno šele v zametkih, v prihodnosti pa bodo verjetno postali bolj cenovno ugodni in del vsake izobraževalne institucije. Podobno velja za velike jezikovne modele, ki postajajo bolj zmogljivi v vse bolj kompaktnih in energetsko učinkovitih oblikah.

Poleg izboljšav konvencionalne strojne opreme se razvijajo tudi novi računski pristopi, ki obljublajo revolucijo na področju umetne inteligence. Nevromorfno računalništvo je pristop k oblikovanju strojne opreme in algoritmov, ki temelji na navdihu iz delovanja človeških možganov in je usmerjen v učinkovito izvajanje umetnih nevronske mreže (Javanshir et al., 2022). Namesto tradicionalnega merjenja napredka z gostoto tranzistorjev (Moorov zakon) ali številom operacij s plavajočo vejico na sekundo (FLOPS) se pri nevromorfni sistemih pogosto uporablja merilo števila simuliranih nevronov, ki je intuitivna metrika in ne zajame v celoti edinstvenih prednosti nevromorfnega računalništva (Aimone, 2025).

Nevromorfni sistemi se že uporabljajo na področjih, kot so znanstveno računalništvo, umetna vizija, robotika in obdelava biosignalov. Vendar izzivi ostajajo, predvsem potreba po višjih nivojih abstrakcije pri programiranju, standardizaciji platform ter razvoju orodij za lažjo uporabo, kot so optimizatorji sklepanja in rešitve za integracijo v oblak (Davies idr., 2024).

Napredek na tem področju je hiter: sistem SPINNAKER2 je že dosegel simulacijo 5,2 milijarde nevronov, do leta 2026 pa se pričakujejo sistemi z več kot 10 milijardami nevronov. To je približno 10 % nevronov človeških možganov, saj naj jih bi imeli približno 86 milijard (Davies idr., 2024), verjetno v razponu nekje med 60 in 100 milijardami.

Na stičišču umetne inteligence in kvantnega računalništva nastaja novo področje, imenovano kvantna umetna inteligenca. To področje obsega vse poddiscipline umetne inteligence, vključno s kvantnim strojnim učenjem, kvantnim procesiranjem naravnega jezika in drugimi. Čeprav so obsežni, na napake odporni kvantni računalniki še vedno dolgoročni cilj, že zgodnji rezultati kažejo na potencial kvantne prednosti pri hitrosti računanja, doseganju boljših rezultatov ali potrebi po manjšem obsegu podatkov za učenje pri specifičnih problemih (Acampora idr., 2025). Eden od praktičnih pristopov je uporaba kvantnih procesorjev za predhodno obdelavo klasičnih podatkov, ki se nato uporabijo v klasičnih metodah strojnega učenja. To lahko izboljša hitrost, natančnost in zmanjša količino potrebnih podatkov za učenje (Memon idr., 2024). Strateška vlaganja v raziskave in inovacije na tem področju so ključna za gospodarsko konkurenčnost, saj bodo napredki v kvantni umetni inteligenci omogočili preboje na področjih, kot so zdravstvo, finance, odkrivanje novih materialov in varnost (Acampora idr., 2025).

Sedanja pot razvoja umetne inteligence, zgrajena na kapitalsko intenzivni in energetsko potratni infrastrukturi, ustvarja ekološki in ekonomski dolg, ki ga prihodnje generacije ne bodo mogle odplačati. Ne gre zgolj za abstraktno porabo elektrike, gre za konkreten pritisk na energetska omrežja, enormno porabo vode za hlajenje podatkovnih centrov ter rabo redkih mineralov za izdelavo specializirane strojne opreme. Ta model,

ki temelji na paradigmi »več podatkov, večja moč«, je kratkovidna strategija, ki v svoji neusmiljeni tekmi za zmogljivostjo ignorira trajnostne vidike razvoja našega planeta.

Zato je tekma za prevlado na področju umetne inteligence postala neločljivo povezana s tekmo za energetske učinkovitost. Ne gre več le za vprašanje družbene odgovornosti, temveč za temeljni pogoj nadaljnega napredka. Države in podjetja, ki bodo prva obvladala nove, učinkovitejše računske paradigme, si ne bodo zagotovila le tehnološke, temveč ključno strateško in gospodarsko nadvlado.

Na obzorju se že kažejo rešitve, ki obljublajo prelom s to nevzdržno spiralo:

- **Nevromorfno računalništvo**, ki posnema arhitekturo in delovanje človeških možganov, ponuja pot do drastično manjše porabe energije. Z odpravo ločnice med procesorjem in pomnilnikom ter z delovanjem po principu »na zahtevo« namesto s konstantnim taktom, lahko nevromorfni čipi opravljajo kompleksne naloge, kot je prepoznavanje vzorcev, z delčkom energije, ki jo potrebujejo klasične arhitekture.
- **Kvantno računalništvo** pa predstavlja še bolj radikalen preskok. Čeprav je v zgodnji fazi, njegov potencial za reševanje danes nerešljivih optimizacijskih problemov – od razvoja novih materialov in zdravil do optimizacije logističnih verig – obljublja ne le hitrejše, ampak fundamentalno drugačne rešitve, ki so po svoji naravi bolj učinkovite.

Naložbe v te tehnologije tako niso več zgolj oddaljeni raziskovalni projekti ali strošek v bilancah. Postajajo nujni koraki za zagotavljanje prihodnje konkurenčnosti in temelj za trajnostni razvoj. Družba, ki bo svojo digitalno prihodnost gradila na zastarelih, potratnih temeljih, bo kmalu ugotovila, da je zgradila kolosa na glinenih nogah – impresivnega, a obsojenega na propad.

V novi dobi, ki prihaja, se spreminjajo merila uspeha. Inovativnost ne bo merjena le v številu parametrov modela ali hitrosti sklepanja, temveč predvsem v vatih, potrebnih za eno operacijo. Genialnost ne bo več v ustvarjanju največjega modela, temveč v oblikovanju najelegantnejšega in najučinkovitejšega. Končni izziv je jasen: digitalna inteligenca mora postati tudi ekološko inteligentna, saj je njena končna vrednost odvisna od zmožnosti reševanja problemov na planetu z omejenimi viri.

6.2 Etični izzivi

Tehnologije razširjene, navidezne in mešane resničnosti v izobraževalnih kontekstih odpirajo kompleksna etična vprašanja, ki presegajo tehnično implementacijo in segajo na področje temeljnih pravic, profesionalne odgovornosti ter pedagoške integritete. Čeprav razširjena resničnost ponuja pomembne didaktične potenciale (npr. vizualizacijo abstraktnih konceptov, simulacijo nevarnih situacij, izkustveno učenje), hkrati generira nove oblike podatkov, nove režime nadzora ter nove oblike vplivanja na zaznavanje, čustva in vedenje učencev (Mangina, 2021; Zaman idr., 2024).

6.2.1 Zasebnost, biometrični podatki in podatkovna ekonomija

Tehnologije razširjene resničnosti temeljijo na obsežnem zajemanju podatkov iz uporabnikovega okolja in telesa. Poleg standardnih uporabniških podatkov sistemi beležijo prostorske koordinate, smer pogleda, mikrogibe, držo, gestikulacijo, obrazno mimiko ter v nekaterih primerih tudi fiziološke odzive. Takšne podatkovne sledi omogočajo izjemno granularno analitiko vedenja (OECD, 2025). Posamezni sistemi navidezne resničnosti lahko zabeležijo gibanje telesa 90-krat na sekundo, da ustrezno prikažejo prizor, medtem ko napredni sistemi beležijo do 18 vrst gibanja glave in rok. Tako lahko že 20 minut uporabe VR naprave ustvari skoraj 2 milijona edinstvenih zapisov telesne govornice (OECD, 2025).

Dodatno etično tveganje je dejstvo, da številni sistemi razširjene resničnosti temeljijo na stalno aktivnih senzorjih (npr. kamere, mikrofoni, prostorski senzorji), ki jih uporabnik pogosto ne more v celoti in trajno onemogočiti, ne da bi s tem bistveno omejil delovanje sistema (Gottschalk in Weise, 2023). Tako se vprašanje zasebnosti ne nanaša zgolj na to, katere podatke sistem zbira, temveč tudi na vprašanje upravljanja z viri zaznavanja. Pogosto ni jasno, kdo ima dostop do surovih podatkov, kje se obdelujejo, ali se obdelava izvaja lokalno ali na spletu v t. i. oblaku ter kako transparentno so ti procesi predstavljeni izobraževalnim ustanovam in uporabnikom.

Gre za kvalitativno drugačno obliko podatkov, saj vključuje biometrične in vedenjske vzorce, ki lahko služijo identifikaciji posameznika ali sklepanju o njegovem zdravstvenem stanju, čustvenih odzivih in interesih (Mangina, 2021; Skulmowski, 2023). V kontekstu izobraževanja to odpira vprašanje sorazmernosti in minimizacije podatkov: ali je obseg zbiranja nujen glede na pedagoški cilj?

Dodatno tveganje je sekundarna raba podatkov. Ponudniki tehnologije lahko zbrane podatke uporabijo za razvoj algoritmov, komercialno analitiko ali personalizirano oglaševanje. Takšna logika podatkovne ekonomije, značilna za platformni kapitalizem, je lahko v nasprotju z javnim interesom izobraževanja. Posebej ranljivi so mladoletniki, ki pogosto nimajo možnosti informiranega in avtonomnega soglasja (OECD, 2025).

6.2.2 Nadzor, analitika učenja in avtonomija

Razširjena resničnost omogoča podrobno spremljanje učnih interakcij: sledenje pogleda, merjenje odzivnega časa, beleženje izbire poti v simulacijah in avtomatizirano ocenjevanje uspešnosti. Takšni sistemi se pogosto utemeljujejo kot podpora personaliziranemu učenju in podatkovno podprtemu odločanju (ang. *Learning Analytics*) (Williamson, 2017). Čeprav se takšni sistemi lahko utemeljujejo kot podpora personaliziranemu učenju, hkrati utrujejo kulturo merjenja in nadzorovanja.

Foucaultov koncept disciplinarne moči in sodobne razprave o upravljanju s podatki opozarjajo, da stalno merjenje in primerjanje vedenja lahko vpliva na samopodobo, motivacijo ter občutek avtonomije učencev (Selwyn, 2019). Empirične raziskave v izobraževalnih kontekstih kažejo, da visoka stopnja nadzora zmanjšuje občutek pripadnosti in lahko negativno vpliva na dosežke (Mangina, 2021).

Ključno vprašanje je torej, ali razširjena resničnost podpira samoregulirano učenje ali utrjuje kulturo performativnosti, kjer je vsaka interakcija merljiva in potencialno sankcionirana.

V okoljih razširjene resničnosti se pojavlja tudi tveganje zlorabe identitete. Razširjena resničnost omogoča ustvarjanje prepričljivih navideznih reprezentacij oseb (npr. avatarjev ali digitalnih dvojnikov), ki lahko posnemajo videz, vedenje ali govor resničnih posameznikov. Takšne prakse povečujejo možnost širjenja dezinformacij ter ustvarjanja vtisa, da je posameznik izrekel ali storil nekaj, česar dejansko ni (Skulmowski, 2023). V izobraževalnem prostoru je to posebej občutljivo, ker lahko vpliva na ugled, medosebno zaupanje in občutek varnosti udeležencev, hkrati pa odpira vprašanja dokazovanja in odgovornosti v primerih spletnega nasilja ali obrekovanja.

6.2.3 Manipulacija zaznavanja in epistemološka vprašanja

Razširjena resničnost omogoča prepričljivo konstruiranje ali preoblikovanje zaznane realnosti. Sistemi lahko dodajajo, odstranjujejo ali transformirajo elemente fizičnega okolja ter ustvarjajo navidezne reprezentacije oseb (npr. avatarje ali digitalne dvojnike). Takšne zmožnosti odpirajo vprašanja epistemološke zanesljivosti in možnosti manipulacije (Heller in Bar-Zeev, 2021; Skulmowski, 2023).

V izobraževalnem kontekstu, kjer je cilj oblikovanje zanesljivega znanja, lahko manipulativni ali nezadostno kontekstualizirani prikazi vodijo v napačne predstave ali utrjevanje stereotipov. Rekonstrukcije zgodovinskih ali družbenih dogodkov, predstavljene iz perspektive druge osebe, lahko sicer spodbujajo empatijo, vendar hkrati ustvarjajo iluzijo popolnega razumevanja kompleksnih izkušenj, ki jih ni mogoče v celoti posredovati vizualno ali senzorično.

6.2.4 Razvojna in psihološka tveganja

Raziskave dolgoročnih učinkov razširjene resničnosti na razvoj otrok so še omejene, zlasti zaradi metodoloških izzivov in etičnih omejitev raziskovanja mlajših populacij (Bexson idr., 2024). Obstoječe izsledke raziskav natančneje obravnavamo v poglavju 3. Koristi in tveganja uporabe tehnologij razširjene resničnosti.

Z etičnega vidika je zato posebej pomembno načelo previdnosti: implementacija naj bo postopna, razvojno prilagojena in podprta z neodvisnimi evalvacijami.

6.2.5 Komercializacija, prikrito oglaševanje in kakovost vsebin

Vzgojno-izobraževalne ustanove so za ponudnike tehnologije pomemben trg. Pomanjkanje javnih sredstev lahko vodi v odvisnost od komercialnih vsebin ali sponzoriranih aplikacij. V okoljih razširjene resničnosti je oglaševanje lahko subtilno integrirano v samo izkušnjo, kar povečuje njegovo prepričljivost (Skulmowski, 2023). Takšne prakse lahko ogrozijo nevtralnost učnega prostora in spodkopljejo pedagoško integriteto. Poleg tega se pojavljajo množično proizvedena gradiva vprašljive kakovosti, ki niso nujno usklajena z učnimi načrti ali razvojnimi značilnostmi učencev (Mangina, 2021).

Etika uporabe razširjene resničnosti zato vključuje tudi vprašanje strokovne presoje vsebin ter jasne ločitve med izobraževalnimi in tržnimi interesi.

6.2.6 Pravičnost, dostopnost in digitalne neenakosti

Razširjena resničnost zahteva ustrezno infrastrukturo, tehnično podporo in usposobljen kader. Neenaka razpoložljivost virov med šolami lahko poglobi obstoječe socialne in regionalne razlike. Raziskave o digitalnih neenakostih opozarjajo, da tehnološke inovacije pogosto najprej koristijo privilegiranim skupinam, medtem ko marginalizirane skupine zaostajajo zaradi omejenega dostopa do infrastrukture, podpore ali ustreznega usposabljanja strokovnega kadra (Selwyn, 2019). UNESCO poudarja, da tehnologija sama po sebi ne zmanjšuje neenakosti, temveč jo lahko ob neustrezni implementaciji tudi okrepi, zlasti kadar sistemi predpostavljajo enake materialne in kompetenčne pogoje za vse učence (Antoninis idr., 2023). Če razširjena resničnost postane del kurikularnih zahtev ali standardov ocenjevanja, lahko tehnološka neenakost neposredno privede v izobraževalno neenakost. OECD izrecno poudarja, da digitalna pravičnost vključuje tako dostop do orodij kot tudi razlike v digitalnih spretnostih, saj oboje vpliva na možnost polne participacije in kakovost učenja (Gottschalk in Weise, 2023).

Pravičnost pa ne obsega le dostopa do naprav, temveč tudi vprašanje dostopnosti in vključujoče zasnove. Če aplikacije razširjene resničnosti niso prilagojene otrokom s posebnimi potrebami ali učnimi težavami, lahko tehnologija reproducira ali celo poglobi izključenost (Skulmowski, 2023).

Etična implementacija razširjene resničnosti v izobraževanju je torej utemeljena šele takrat, ko je podprta z ukrepi za zmanjševanje strukturnih neenakosti: z minimalnimi infrastrukturnimi standardi, s ciljnim financiranjem in podporo ranljivim skupinam, z načeli univerzalnega oblikovanja ter s sistematičnim razvijanjem digitalnih kompetenc učiteljev in učencev. V nasprotnem primeru obstaja realno tveganje, da razširjena resničnost postane mehanizem reprodukcije neenakosti namesto orodje za širitev učnih priložnosti.

6.2.7 Okvir zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju

Razprava o etičnih izzivih razširjene resničnosti v izobraževanju vodi k vprašanju, kako lahko izobraževalne ustanove tveganja sistematično prepoznajo, zmanjšujejo in upravljajo. Vzpostavitev kodeksa ravnanja ter jasnih politik varstva podatkov, varnosti in zaščite pred dezinformacijami in manipulacijo je temelj za etično in odgovorno implementacijo razširjene resničnosti, zlasti zaradi občutljivosti populacije in zaradi podatkovno intenzivne narave potopnih tehnologij (Mangina, 2021). Kodeks ravnanja je smiselno razumeti kot operativni okvir, saj opredeljuje dopustne načine uporabe, minimalne standarde, porazdelitev odgovornosti med deležniki ter postopke za presojo pedagoške ustreznosti in skladnosti z regulativnimi okvirji.

Slika 6.2 prikazuje okvir za krepitev zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju, ki so ga razvili Zaman idr. (2024). V nadaljevanju sledi opis razsežnosti okvira zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju.



Slika 6.2: Okvir za krepitev zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju povzeto po Zaman idr. (2024)

Zasebnost in varnost podatkov

Razširjena resničnost je podatkovno intenzivna in pogosto vključuje prostorske, vedenjske in včasih biometrične podatke, zato je varstvo podatkov osrednja dimenzija zaupanja. Razsežnost vključuje načelo minimizacije podatkov, jasno opredeljen življenjski cikel podatkov (zajem – obdelava – hramba – deljenje – brisanje), upravljanje dostopov, varnostne kontrole ter skladnost z regulativo (npr. GDPR). Zaupanje je odvisno tudi od integritete sistemov: preprečevanja nepooblaščenega dostopa, uhajanja podatkov in manipulacije z vsebinami ali meritvami.

Etična uporaba in vsebinski standardi

Ta razsežnost zadeva normativno in pedagoško upravičenost rabe razširjene resničnosti. Tehnologija mora biti uporabljena sorazmerno in smiselno glede na učne cilje, brez praks, ki bi neupravičeno posegale v avtonomijo učencev ali uvažale manipulativne oblike vplivanja.

Vsebinski standardi vključujejo didaktično ustreznost, razvojno primernost, strokovno točnost in preprečevanje pristranskosti, stereotipov ter zavajajočih reprezentacij. Zaupanje se gradi, kadar so merila kakovosti vsebin jasna, postopki presoje sistematični, odgovornost za vsebino pa določena.

Usposabljanje in podpora uporabnikom

Zaupanje v razširjeno resničnost ni mogoče brez kompetentne rabe. Razsežnost vključuje profesionalni razvoj učiteljev (didaktična integracija, kritična presoja vsebin, razumevanje podatkovnih praks), usposabljanje učencev za odgovorno rabo in digitalno državljanstvo ter razpoložljivost tehnične in pedagoške podpore. Pomemben element je organizacijska pripravljenost: jasne vloge, časovni in kadrovske viri, podporni protokoli in pomoč v primeru težav.

Raziskave in evalvacija

Gre za dokazno podprtost odločitev o uvedbi in rabi razširjene resničnosti. Razsežnost vključuje sprotno spremljanje učinkov na učenje, vključenost, pravičnost in morebitna tveganja ter uporabo evalvacijskih rezultatov pri prilagajanju praks. Zaupanje se krepi, kadar se odločitve opirajo na podatke in raziskave, evalvacija pa je metodološko ustrezna, neodvisna, kontekstualno občutljiva in transparentno komunicirana.

Sodelovanje in vključevanje skupnosti

Razširjena resničnost vpliva na več skupin z različnimi interesi, zato je participativno upravljanje ključni pogoj zaupanja. Razsežnost vključuje vključevanje učiteljev, učencev (razvojno primerno), staršev/skrbnikov, strokovnjakov in tehničnega osebja pri opredelitvi ciljev, pravil rabe, standardov kakovosti ter postopkov varovanja podatkov. Sodelovanje zmanjšuje tveganje tehnološkega determinizma in povečuje legitimnost odločitev.

Neprestano izboljševanje in iteracija

Ker se tehnologije, vsebine in tveganja hitro spreminjajo, okvir predpostavlja iterativen pristop: pilotno uvajanje, zbiranje povratnih informacij, revizijo pravil, posodabljanje vsebin ter postopno širjenje. Zaupanje se gradi skozi zmožnost sistema, da se uči iz prakse, prepozna neželene učinke in jih pravočasno odpravi, namesto da bi se problematične prakse institucionalizirale.

Dostopnost in vključenost

Zaupanje je tesno povezano z digitalno pravičnostjo: ali razširjena resničnost širi izobraževalne priložnosti ali jih krči. Razsežnost obsega infrastrukturno dostopnost (naprave, povezljivost, vzdrževanje) ter vsebinsko in funkcionalno dostopnost (prilagoditve za učence z oviranostmi, jezikovna podpora, alternativni načini interakcije, upoštevanje različnih učnih potreb). Etika vključevanja zahteva, da uporaba razširjene resničnosti ne postane pogoj, ki izključuje ali sistematično prikrajša določene skupine.

Upravljanje tveganj in načrti za nepredvidene okoliščine

Razsežnost se nanaša na organizacijsko pripravljenost na tehnične okvare, varnostne incidente, zlorabe, neprimerne vsebine ali druge izredne dogodke. Ključni elementi so protokoli ukrepanja, poti eskalacije, odgovorne osebe, dokumentiranje incidentov ter mehanizmi podpore uporabnikom. Zaupanje se krepi, kadar obstajajo jasni postopki za preprečevanje tveganj in odzivanje nanje, ne pa zgolj reaktivno "gašenje požarov".

Trajnostni razvoj

Trajnostna razsežnost zajema dolgoročno izvedljivost in odgovorno upravljanje virov: financiranje, upravljanje naprav, posodobitve programske opreme, tehnično podporo, kadrovske kapacitete in načrtovanje življenjskega cikla tehnologije. Zaupanje je težko vzpostaviti, če je implementacija ad hoc, projektno kratkoročna ali odvisna od nestabilnih virov, saj takšne okoliščine povečujejo tveganje varnostnih kompromisov, neenakega dostopa in zmanjševanja kakovosti.

Preglednost in informiranje

Ključni pogoj zaupanja je razumljiva, pravočasna in celovita komunikacija o namenu uporabe razširjene resničnosti, vrstah zbranih podatkov, varnostnih ukrepov ter pričakovanih koristih in tveganjih. Informacije morajo biti prilagojene različnim deležnikom (učenci, starši/skrbniki, učitelji, vodstvo) in omogočati informirano odločanje.

6.2.8 Deležniki, razmerja moči in odgovornost pri uvajanju razširjene resničnosti v izobraževanje

Etična uporaba razširjene resničnosti v izobraževanju ni odvisna zgolj od lastnosti tehnologije ali od formalno sprejetih smernic, temveč od načina, kako se odločitve o njeni uvedbi sprejemajo in izvajajo v praksi. Razširjena resničnost je umeščena v obstoječe institucionalne strukture, v katerih imajo različne skupine deležnikov različno stopnjo vpliva, avtonomije in odgovornosti. Prav ta porazdelitev moči pomembno določa, ali bo tehnologija uporabljena premišljeno, sorazmerno in v skladu s pedagoškimi cilji (Selwyn, 2016; Williamson, 2017).

V izobraževalnih sistemih so odločitve praviloma razporejene po hierarhičnih ravneh. **Državni ali regijski organi** določajo regulativni okvir, standarde varstva podatkov ter pogoje financiranja in nabave opreme. Njihove odločitve neposredno vplivajo na to, katere tehnologije so dostopne in pod kakšnimi pogoji se lahko uporabljajo. Če so smernice nejasne ali preveč splošne, lahko šole ostanejo brez ustrezne podpore pri presoji tveganj in kakovosti (OECD, 2021).

Na ravni posameznega **vzgojno-izobraževalnega zavoda** ima vodstvo ključno vlogo pri oblikovanju strategije digitalnega razvoja, razporejanju virov ter izbiri ponudnikov. Od njihove strokovne presoje in kritične distance do komercialnih obljub je pogosto odvisno, ali bo razširjena resničnost uvedena kot premišljena pedagoška inovacija ali kot odziv na tržne pritiske. Posebno tveganje nastane, kadar tehnološke rešitve obljublajo hitre izboljšave rezultatov, ne da bi bile njihove pedagoške in etične posledice ustrezno preverjene (Selwyn, 2016).

Pomemben vpliv imajo tudi **ponudniki strojne in programske opreme ter vsebin**. Ti ne oblikujejo zgolj tehničnih orodij, temveč posredno določajo, katere funkcionalnosti so na voljo, kako se zbirajo in obdelujejo podatki ter kakšne vsebine so vključene v aplikacije. Ker so izobraževalne ustanove za tehnološka podjetja pomemben trg, obstaja nevarnost, da komercialni interesi prevladajo nad pedagoškimi merili (Williamson, 2017). Šole pogosto nimajo primerljive strokovne ali pogajalske moči, zato je njihova zmožnost kritične presoje ponudb omejena.

V okviru vzgojno-izobraževalne ustanove imajo pomembno vlogo tudi **informacijsko-tehnične službe**, ki skrbijo za varnost in stabilnost infrastrukture. Njihova odgovornost je varovanje podatkov in zagotavljanje nemotenega delovanja sistemov, kar je ključno za zaščito učencev in učiteljev. Hkrati pa lahko strogi varnostni režimi omejujejo fleksibilnost in eksperimentiranje z novimi pedagoškimi pristopi, zato je potrebno sodelovanje med tehničnim in pedagoškim osebjem (OECD, 2021).

Učitelji imajo neposreden vpliv na to, kako in zakaj se razširjena resničnost uporablja v razredu. Čeprav delujejo znotraj institucionalnih omejitev, odločajo o konkretnem didaktičnem namenu, pogostosti in načinu uporabe tehnologije. Raziskave kažejo, da je njihova stopnja avtonomije povezana z odnosom do tehnologije in z digitalno pismenostjo (Mangina, 2021). Kadar so učitelji postavljeni pred zahteve po uporabi tehnologije brez ustreznega usposabljanja in podpore, se tveganje neustrezne ali zgolj formalne rabe poveča (OECD, 2021).

Učenci so osrednji naslovniki teh praks, vendar imajo, zlasti v nižjih izobraževalnih ravneh, omejen vpliv na odločitve o uporabi razširjene resničnosti. Prav oni pa so tisti, ki nosijo največje posledice morebitnih tveganj, povezanih z zasebnostjo, nadzorom ali neustreznimi vsebinami. V visokošolskem okolju je stopnja njihove avtonomije večja, vendar se s tem odpirajo dodatna vprašanja odgovornosti in enakosti dostopa (Iqbal idr., 2023).

Starši in skrbniki imajo formalno pomembno vlogo pri soglasjih in varovanju interesov otrok, vendar pogosto nimajo zadostnega vpogleda v konkretne podatkovne in pedagoške prakse. Pomanjkanje jasne komunikacije lahko oslabi zaupanje in poveča občutek izključenosti iz odločanja (OECD, 2021).

Etična implementacija razširjene resničnosti zahteva jasno opredelitev odgovornosti na posameznih ravneh, pregledne postopke odločanja ter mehanizme, ki omogočajo kritično presojo in sprotno prilagajanje praks. Brez takšne systemske ureditve obstaja nevarnost, da tehnološke odločitve prehitujejo pedagoško in etično refleksijo, kar lahko oslabi zaupanje v uporabo razširjene resničnosti v izobraževanju (Iqbal idr., 2023).

6.3 Digitalni razkorak

Digitalni razkorak je bil v javnem diskurzu prvič predstavljen sredi devetdesetih let prejšnjega stoletja za opis vrzeli med posamezniki z dostopom do informacijskih tehnologij in tistimi brez njih (Hargittai, 2002; van Dijk, 2020). V današnjem času je dobil nov pomen, saj se je sprva nanašal zgolj na lastništvo računalnika med posamezniki ali etičnimi skupinami, sedaj pa se nanaša na ločnico med posamezniki, ki uporabljajo računalnik ter internet in imajo dostop do informacij, in tistimi, ki tega nimajo (Park, 2017). Pogosto se izraz digitalni razkorak uporablja tudi v povezavi z digitalno vrzeljo v širokopasovnem internetnem dostopu ali s pojavom koncepta metaverzum (Salles in Roth, 2023).

Digitalni razkorak predstavlja enega izmed večjih izzivov sodobne informacijske družbe (pametne družbe 5.0), saj ustvarja neenakost med posamezniki v družbi, ki jo povzroči nezmožnost dostopa ali nezmožnost uporabe informacijsko-komunikacijskih tehnologij kot naboru računalniških, informacijskih in komunikacijskih naprav (strojna oprema), programov (programska oprema), omrežij (internet) in storitev. Novi načini dela in novi načini druženja nas spodbujajo k stalni in intenzivni uporabi računalniške opreme in spleta. Ob tem pa pogosto pozabimo na nevarnosti, ki jih prinašata vseprisotna tehnologija in internet, saj digitalna pozaba ne obstaja, za sabo puščamo digitalne sledi, podatki se namreč trajno shranijo (Bertoncel, 2020).

Digitalni razkorak pa ni zgolj tehnološki problem, temveč in predvsem družbeni in ekonomski problem, ki odraža in pogosto pogloblja obstoječe strukturne neenakosti. Globalni tehnološki razvoj, ki ga poganjajo veliki jezikovni modeli in razširjena resničnost, razviti pretežno za angleško govorečo populacijo, še pogloblja to vrzel. Uporabniki, ki niso večji tujih jezikov, med njimi so pogosto starejši, prebivalci oddaljenih območij in druge ranljive skupine, so postavljeni v neenakopraven položaj, saj je njihova zmožnost

za polno izrabo digitalnih orodij za izobraževanje in usposabljanje kot tudi vsakdanje življenje bistveno omejena (van Dijk, 2020).

Med digitalno pismenimi mladimi je delež uporabnikov interneta veliko večji kot med pomanjkljivo digitalno pismenimi ali celo digitalno nepismenimi starejšimi (starostna digitalna ločnica), digitalni razkorak je večji na podeželju kot v urbanih središčih (geografska digitalna ločnica) (Salles in Roth, 2023; Združenje za informatiko in telekomunikacije, 2025; Bizjak Ferjan idr., 2025). Digitalno suveren posameznik je lahko zgolj digitalno pismen posameznik, ki ima ustrezne sposobnosti (digitalne kompetence) za samostojno odločanje o uporabi digitalnih orodij, kot so spletne storitve ter strojna in (odprtokodna) programska oprema in sam v skladu z lastnimi potrebami izvaja svojo digitalno preobrazbo. Digitalno suveren posameznik je tudi zmožen varne uporabe osebnih podatkov v digitalnem okolju (Fratini idr., 2024). Vendar pa digitalna suverenost ni zgolj politični ali socialni cilj, je tudi ekonomski imperativ. Številne študije kažejo, da bosta generativna umetna inteligenca in razširjena resničnost pomembno pripomogli k rasti svetovnega gospodarstva v prihodnosti (McKinsey Global Institute, 2023; Grand View Research, 2024).

Sodobne informacijske tehnologije so eden izmed glavnih vzvodov za povečevanje produktivnosti in s tem ustvarjanja večje dodane vrednosti v gospodarstvu, tako v proizvodnem kot tudi v storitvenem sektorju. Večja ustvarjena dodana vrednost povečuje blaginjo, ki pa se ne razporeja enakomerno med posamezniki v družbi. Prednost imajo tisti posamezniki, ki imajo digitalna znanja in veščine, s katerimi uspešno tekmujejo in se uveljavljajo v razvitih informacijskih družbah, pred tistimi, ki te primerjalne prednosti (digitalne pismenosti) nimajo. Zaradi razlik v stopnji digitalne pismenosti ali razlik v dostopu do informacijskih tehnologij se možnosti poklicnega delovanja in družbenega uveljavljanja posameznikov razlikujejo, kar ustvarja neenakosti v družbi in s tem neželjeno družbeno razslojenost (Evropska komisija, 2025).

Evropska komisija kot tudi vlade držav članic v Evropski uniji izvajajo številne ukrepe za zmanjševanje digitalnega razkoraka na prvem nivoju: dostopu in uporabi interneta ter na drugem nivoju digitalnega razkoraka: pogostosti spletne dejavnosti (Evropska komisija, 2020; Kovač idr., 2021; Gomes in Dias, 2024). Digitalni razkorak v Evropski uniji še ni odpravljen, ta namreč obstaja ne le med posameznimi območji, temveč tudi med posamezniki in organizacijami, ki digitalni prostor zmorejo izkoristiti, in tistimi, ki pri tem ne uspevajo.

Evropska komisija je proces digitalne preobrazbe Evrope do leta 2030, in v tem okviru zmanjševanje digitalnega razkoraka po posameznih državah članicah, opredelila z okvirjem za upravljanje in spremljanje napredka – digitalnim kompasom. **Digitalni kompas** naslavlja štiri digitalne cilje do leta 2030: digitalno usposobljeno prebivalstvo in visoko kvalificirani strokovnjaki na digitalnem področju, varne, učinkovite in trajnostne digitalne infrastrukture, digitalna preobrazba podjetij in digitalizacija javnih storitev (Evropska komisija, 2021).

Evropska komisija od leta 2014 spremlja digitalni napredek držav članic prek poročil indeksa digitalnega gospodarstva in družbe (ang. *Digital Economy and Society Index – DESI*), od leta 2023 dalje pa je indeks digitalnega gospodarstva in družbe vključen v poročilo o stanju digitalnega desetletja in se uporablja za spremljanje napredka pri doseganju digitalnih ciljev. Slovenija ima dobro razvito digitalno infrastrukturo, vendar zaostaja pri digitalnih znanjih in spretnostih. Država je dejavna v več najsodobnejših tehnoloških projektih, zlasti na področju kvantne tehnologije, polprevodnikov, računalništva v oblaku in umetne inteligence (Evropska komisija, 2025).

Relativni napredek države je na povprečju EU, nekoliko zaostajamo pri razsežnostih človeški kapital in povezljivost, smo nad povprečjem pri razsežnosti integracija digitalnih tehnologij in smo boljši pri razsežnosti digitalne javne storitve (Evropska komisija, 2025).

	2018	2023
Centralna in vzhodna Evropa	65 %	78 %
Zahodna Evropa	82 %	87 %

Tabela 6.1: Digitalni razkorak na prvem nivoju: dostop do interneta v Evropi (Cisco Annual Internet Report 2018–2023).

Za uresničitev zastavljenih digitalnih ciljev se je oblikoval strateški program na ravni celotne Evropske skupnosti z imenom »Pot v digitalno desetletje« do leta 2030. V skladu s tem strateškim programom bi do leta 2030 morale vsaj 80 % odraslih imeti osnovna digitalna znanja in spretnosti, v Evropski skupnosti pa bi morale biti zaposlenih 20 milijonov strokovnjakov za IKT (Evropska komisija, 2021).

Navedeno pomeni veliko priložnost in hkrati velik izziv za izobraževalne sisteme v vseh državah članicah od primarnega, sekundarnega do terciarnega izobraževanja. Za povečevanje digitalne pismenosti oziroma zmanjševanje digitalnega razkoraka pri vseh generacijah prebivalstva bo treba v kompetenčno zasnovane izobraževalne programe, pri njihovi pripravi ali prenovi, v ospredje postavljati razvoj poklicnih in ključnih kompetenc (Mali, 2024; Makovec Radovan, 2025; Pečnik, 2025). V širšem smislu pa bomo morali v našem prostoru več vključevati tudi napredne in strateško premišljene izobraževalne projekte na področju umetne inteligence in razširjene resničnosti.

In kje je Slovenija? Tudi Slovenija je načrtala in opredelila svojo pot v digitalno desetletje do leta 2030 s krovno strategijo digitalne preobrazbe države »Digitalna Slovenija« (Vlada Republike Slovenije, 2023). Digitalizacija že danes, še bolj pa jutri, ni več izbira, ampak postaja nujnost.

V Sloveniji opažamo skrb zbujajoče neskladje: obstoj sodobnih digitalnih tehnologij in dobro dostopnostjo teh tehnologij na eni strani in sistemskim zaostajanjem pri splošni digitalni vključenosti na drugi strani zaradi pomanjkljive digitalne usposobljenosti (digitalne pismenosti) in neenakopravne vključenosti v razvijajočo se digitalno družbo (Vlada Republike Slovenije, 2023).

Neskladje je med napredno digitalno infrastrukturo in pomanjkljivim razvojem di-

gitalnih kompetenc ter (pre)počasno digitalizacijo gospodarstva, kar ustvarja sistemski zaostanek. Kljub vrhunskim dosežkom v specializiranih raziskovalnih institucijah ta odličnost ne pronica v širšo družbo, saj manjkajo mehanizmi in usposabljanje, ki bi inovacije povezali z vsakdanjo prakso. Zato zaostajamo pri digitalnih veščinah prebivalstva in uporabi ključnih informacijskih tehnologij v podjetjih, kot so umetna inteligenca in storitve v oblaku (Gospodarska zbornica Slovenije, 2025). Iz Poročila digitalnega desetletja 2025 je razvidno, da je stanje na področju digitalizacije v Sloveniji skrb zbujujoče, opazen je upad števila IKT strokovnjakov in tudi počasna digitalizacija malih in srednjih podjetij, kar dodatno zavira napredek in ogroža konkurenčnost države (Evropska komisija, 2025).

Neskladje med načrti Slovenije na področju digitalizacije in dejanskim stanjem je ogromno, trend v zadnjih letih pa negativen. Slovenija je pri digitalizaciji gospodarstva padla močno pod povprečje Evropske unije. Še pred zgolj tremi leti smo bili na področju digitalizacije gospodarstva nad povprečjem EU, na 9. mestu, zdaj pa smo padli na 18. ali 19. mesto. Iz Načrta za okrevanje in odpornost je bilo zgolj 20 odstotkov namenjeno digitalizaciji, od tega kar približno 80 odstotkov za digitalizacijo javnega sektorja, razlika – minimum – pa za gospodarstvo (Gospodarska zbornica Slovenije, 2025).

Za odpravo pomanjkanja digitalnih znanj in pospešitev tehnološkega razvoja Slovenija uvaja celostno strategijo, usklajeno z vizijo Digitalna Slovenija 2030. Predvideva se korenita krepitev izobraževanja z več vpisnimi mesti, novimi programi za področja, kot sta umetna inteligenca in kibernetika varnost, ter fleksibilnimi spletnimi moduli za prekvalifikacijo. Glavni cilj je pospešiti integracijo naprednih tehnologij v gospodarstvo do leta 2030, pri čemer se poudarjajo etika, zaupanje in preglednost sistemov umetne inteligence. Uspeh strategije temelji na zagotavljanju strokovnega kadra, spodbujanju raziskav, dostopu do podatkov in kakovostne infrastrukture ter na močni podpori podjetjem. Uspešna implementacija v izobraževanju pa bo služila kot model za digitalizacijo celotne družbe in utrdila prihodnost Slovenije na znanju, inovativnosti ter digitalni suverenosti (Združenje za informatiko in telekomunikacije, 2025).

Zmanjševanje pomanjkljive digitalne vključenosti posameznikov, da dostopajo do razpoložljivih digitalnih tehnologij, rešitev in storitev in jih hkrati znajo kompetentno in varno uporabljati, naslavlja država z opredelitvijo šestih prednostnih področij s številnimi strateškimi dokumenti, kot so Nacionalni program spodbujanja razvoja in uporabe umetne inteligence v Republiki Sloveniji do leta 2025, Strategija digitalne transformacije gospodarstva, Načrt razvoja gigabitne infrastrukture, Strategija digitalnih javnih storitev (Vlada Republike Slovenije, 2023). Sprejet je bil tudi Zakon o spodbujanju digitalne vključenosti, ki ureja to specifično zadevo ter določa načrtovanje in ukrepe za spodbujanje digitalne vključenosti prebivalstva Republike Slovenije (Zakon o spodbujanju digitalne vključenosti (ZSDV), 2022).

Prednostna področja strategije Digitalna Slovenija 2030 so gigabitna infrastruktura, digitalne kompetence in vključenost, digitalna preobrazba gospodarstva, pot v pametno družbo 5.0, digitalne javne storitve in kibernetika varnost (Vlada Republike Slovenije, 2023).

Stopnja digitalne vključenosti v Sloveniji je visoka, vsaj 93 % prebivalcev ima dostop do interneta od doma in ga uporablja večkrat na dan (SURs, 2022), hkrati pa ima zelo dobro razvite (napredne) digitalne veščine le 20 % prebivalstva (SURs, 2021). Razmeroma majhen je tudi 50 % delež prebivalstva z vsaj osnovnimi digitalnimi veščinami, kar je pod evropskim povprečjem (SURs, 2021). Posameznikom s šibkimi digitalnimi znanji in spretnostmi v Sloveniji, predvsem gre za starejšo populacijo, že grozi digitalna izključenost (Gottschalk in Weise, 2023), kar pomeni, da potrebujemo več ciljnih programov usposabljanja za razvoj digitalnih sposobnosti, da bodo lahko kompetentno in varno uporabljali sodobne digitalne tehnologije.

Predvsem pa moramo v procesih organiziranega izobraževanja na primarni in sekundarni ravni razvijati ne le osnovne digitalne kompetence, ampak tudi in predvsem »napredna digitalna znanja in spretnosti, ki pomenijo znanja in spretnosti ter poklicne kompetence, strokovno usposobljenost, ki zahtevajo znanje in izkušnje, potrebne za razumevanje, zasnovanje, razvoj, upravljanje, preskušanje, uvajanje, uporabo in vzdrževanje digitalnih tehnologij, izdelkov in storitev« (Vlada Republike Slovenije, 2023, str. 28).

Umetna inteligenca, kot področje računalništva, razvija inteligentne sisteme za izvajanje nalog, ki običajno zahtevajo človeško inteligenco, kot so prepoznavanje vzorcev, učenje, obdelava naravnega jezika in odločanje (Russell in Norvig, 2021). Generalni direktor UNESCO je opredelil umetno inteligenco celo kot »največjo invencijo od paleolitika dalje« (UNESCO, 2019).

Vpeljava in uporaba tehnologij umetne inteligence v procese izobraževanja v visokem šolstvu, razširjene resničnosti in v procese usposabljanja nedvomno omogoča izboljšanje več vidikov teh procesov in pomeni veliko priložnost, ki pa zahteva od uporabnikov tehten premislek, saj gre za večplasten proces z velikim potencialom za povečanje dostopnosti znanja in hkrati previdnost zaradi vpliva na udeležence in etičnih dilem v izobraževalnem procesu in procesu usposabljanja (Jedrinović idr., 2020).

Poiskati bomo morali odgovore na vprašanja, kako lahko umetna inteligenca in nove tehnologije izboljšajo izobraževalni proces in kako naj ta ostane vključujoč in etičen. Vstopili smo namreč v obdobje, ko umetna inteligenca in nove tehnologije (razširjene resničnosti) nista več zgolj koncepta iz znanstvene fantastike, temveč postajata vseprisotni sili, ki preoblikujeta temelje naše družbe, od gospodarstva in zdravstva do vsakodnevne komunikacije.

Umetna inteligenca neizogibno posega v samo bistvo procesa izobraževanja, kjer ne prinaša le novih orodij, temveč sproža tudi temeljni premislek o izzivih obstoječega načina poučevanja in učenja, spremenjeni vlogi učitelja in ciljnih izobraževalnega sistema. Integracija umetne inteligence in novih tehnologij v učilnice ni zgolj tehnična nadgradnja, temveč prinaša številne prednosti, kot je izboljšana personalizacija učenja, kar pa zahteva nov miselni okvir in poglobljeno razumevanje digitalnih orodij (Jedrinović, 2025).

6.4 Regulativni okvir uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju

Razširjena resničnost kot ena izmed naprednih oblik digitalne tehnologije odpira pomembne pedagoške možnosti, hkrati pa odkriva številne pravne in regulativne izzive. Tehnološki razvoj na področju sistemov razširjene resničnosti praviloma prehiteva zakonodajne procese, zato se regulativni okvirji pogosto oblikujejo retroaktivno, kot odziv na že uveljavljene prakse (OECD, 2025). V izobraževalnem prostoru to pomeni, da se uporaba razširjene resničnosti umešča v obstoječe pravne režime, ki niso bili nujno zasnovani z mislijo na biometrične podatke, prostorske analitike ali potopne učne izkušnje. Regulativni okvir uporabe razširjene resničnosti zato ne obstaja v obliki enotnega dokumenta, temveč kot skupek zakonodajnih aktov, podzakonskih predpisov, smernic in strateških dokumentov, ki skupaj določajo pogoje zakonite, varne in odgovorne rabe.

6.4.1 Varstvo osebnih podatkov in informacijska varnost

Osrednje regulativno področje pri uporabi razširjene resničnosti je varstvo osebnih podatkov. Tehnologije razširjene resničnosti lahko vključujejo obdelavo slikovnih, zvočnih, lokacijskih in vedenjskih podatkov, ki so lahko neposredno ali posredno povezani s posameznikom (Evropska unija, 2016). Na ravni Evropske unije je temeljni pravni okvir Splošna uredba o varstvu podatkov (GDPR), ki določa načela zakonitosti, sorazmernosti, minimizacije podatkov ter omejitve namena obdelave. Za uporabo razširjene resničnosti sta posebej pomembni dve določbi, 25. in 35. člen. Prva je načelo vgrajenega in privzetega varstva podatkov (25. člen), ki zahteva, da so zaščitni ukrepi vključeni že v zasnovano tehnologijo in da so privzete nastavitve usmerjene v najvišjo možno raven varstva podatkov. Druga je obveznost izvedbe ocene učinka v zvezi z varstvom podatkov (35. člen), kadar obdelava pomeni visoko tveganje za pravice in svoboščine posameznikov. V kontekstu razširjene resničnosti je takšna presoja posebej relevantna, saj lahko sistemi vključujejo obsežno spremljanje vedenja ali obdelavo biometričnih podatkov (Mangina, 2021).

V Sloveniji področje varovanja podatkov in zasebnosti urejata dva zakona, ki veljata tudi v šolah. Zakon o varstvu osebnih podatkov (ZVOP-2), ki je v veljavi od 26. 1. 2023, določa starostno mejo za veljavno digitalno soglasje pri 15 letih. To pomeni, da je za obdelavo osebnih podatkov otrok, mlajših od 15 let, potrebno soglasje staršev (Zakon o varstvu osebnih podatkov (ZVOP-2), 2023).

Poleg tega Zakon o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (ZOFVI) (1996) v členu 135a določa, katere osebne podatke je šola upravičena zbirati. Leta 2021 so bile izdane tudi Smernice za skladno uporabo informacijskih rešitev v šolstvu, ki naslavljajo področje varstva osebnih podatkov ob uporabi informacijske tehnologije v šolah (Informacijski pooblaščenec, 2021). Če uporaba razširjene resničnosti vključuje snemanje ali obdelavo slike ali zvoka v prostorih šole, je treba upoštevati smernice glede izvajanja videonadzora, ki dodatno razlagajo in se sklicujejo na Zakon o varstvu osebnih podatkov (Informacijski pooblaščenec, 2023).

Pomemben vidik regulacije je tudi informacijska varnost. Od 19. junija 2025 je v uporabi Zakon o informacijski varnosti, ki uvaja obveznost evidentiranja kibernetских incidentov, rednega usposabljanja odgovornih oseb ter ocenjevanja skladnosti z varnostnimi zahtevami. Za šole in druge izobraževalne ustanove to pomeni okrepljeno skrb za IKT varnost in zaščito podatkovnih sistemov (Zakon o informacijski varnosti (ZInfV-1), 2025).

Primerljivi regulativni mehanizmi obstajajo tudi zunaj Evropske unije. V Združenih državah Amerike področje zbiranja osebnih podatkov otrok, mlajših od 13 let, ureja Children's Online Privacy Protection Act (COPPA), ki zahteva preverljivo soglasje staršev pred zbiranjem, uporabo ali razkritjem podatkov njihovih otrok (Mangina, 2021). To kaže, da varstvo podatkov otrok predstavlja mednarodno prepoznano regulativno prioriteto, čeprav se konkretne starostne meje in postopki razlikujejo.

6.4.2 Avtorske pravice in intelektualna lastnina

Uporaba razširjene resničnosti v izobraževanju odpira kompleksna vprašanja avtorskih pravic in intelektualne lastnine, saj potopna okolja pogosto združujejo različne vrste zaščitenih del: besedila, slike, video in zvočne posnetke, tridimenzionalne modele, animacije ter programsko opremo. Posebnost razširjene resničnosti je v tem, da te elemente povezuje v enotno interaktivno izkušnjo, pri čemer se meja med uporabnikom, ustvarjalcem in posrednikom vsebine lahko zabriše.

V slovenskem pravnem prostoru področje ureja Zakon o avtorskih in sorodnih pravicah (ZASP-1), ki določa, da je za uporabo avtorsko zaščitenih del praviloma potrebno dovoljenje imetnika pravic, razen v primerih zakonsko določenih omejitev in izjem, med katere sodi tudi uporaba za namen pouka (Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o avtorski in sorodnih pravicah (ZASP-I), 2022). Vendar so te izjeme omejene in ne pomenijo splošnega dovoljenja za prosto reproduciranje, prilagajanje ali reproduciranje, prilagajanje ali javno prikazovanje in deljenje vsebin v digitalnih okoljih. Pri razširjeni resničnosti je zato posebej pomembno preverjanje licenčnih pogojev, zlasti kadar se uporabljajo komercialne platforme ali digitalne zbirke 3D modelov, interaktivnih simulacij in multimedijskih gradiv.

Dodatno vprašanje je ustvarjanje lastnih potopnih vsebin v okviru učnega procesa. Če učitelji ali učenci soustvarjajo tridimenzionalne modele, scenarije ali interaktivne predstavitve, se postavlja vprašanje avtorstva in imetništva pravic. Pravna ureditev določa, da avtorska pravica pripada ustvarjalcu dela, vendar se lahko v institucionalnem okolju pojavijo posebne ureditve glede uporabe in objave nastalih vsebin. Zato je pomembno, da imajo izobraževalne ustanove jasno opredeljena notranja pravila glede uporabe, shranjevanja in deljenja digitalnih gradiv.

Na ravni Evropske unije področje dodatno urejajo direktive o avtorskih pravicah na enotnem digitalnem trgu, ki skušajo uravnotežiti zaščito ustvarjalcev z javnim interesom izobraževanja. Kljub temu ostajajo določene interpretativne nejasnosti, zlasti v primerih interaktivnih in generativnih orodij, kjer je določanje avtorstva in obsega pravic lahko kompleksno. Za izobraževalne ustanove to pomeni, da mora biti uporaba razširjene re-

sničnosti pravno pregledna, licenčno skladna in usklajena z nacionalno ter evropsko zakonodajo. Hkrati pa je pomembno razvijati zavest o spoštovanju intelektualne lastnine kot delu digitalne etike, ki dopolnjuje formalni regulativni okvir (Mangina, 2021).

6.4.3 Varstvo temeljnih pravic v izobraževalnem digitalnem okolju

Uporaba razširjene resničnosti v izobraževanju ne odpira zgolj vprašanj varstva podatkov in avtorskih pravic, temveč posega tudi na področje varstva temeljnih pravic. Potopne digitalne tehnologije lahko vplivajo na uresničevanje pravice do zasebnosti, varstva osebnih podatkov, svobode izražanja, enakosti in nediskriminacije ter na posebno varstvo otrok kot ranljive skupine.

Na ravni Evropske unije normativni okvir predstavlja Listina Evropske unije o temeljnih pravicah (Evropska unija, 2009). Dokument v 7. členu poudarja pravico do spoštovanja zasebnega in družinskega življenja, v 8. členu pa pravico do varstva osebnih podatkov kot samostojno temeljno pravico. Uporaba razširjene resničnosti v šolah mora biti zato skladna z načelom sorazmernosti: obseg zbiranja in obdelave podatkov mora biti omejen na tisto, kar je nujno za doseg legitirnega izobraževalnega cilja. Pri tem ni dovolj zgolj formalna skladnost z zakonodajo o varstvu podatkov, temveč tudi vsebinska presoja, ali tehnologija posega v zasebnost v obsegu, ki je upravičen glede na pedagoško vrednost.

Listina v 21. členu prepoveduje diskriminacijo na različnih podlagah, vključno s spolom, etničnim poreklom, vero, invalidnostjo ali drugimi osebnimi okoliščinami. V kontekstu razširjene resničnosti to pomeni, da morajo biti tehnologije in vsebine oblikovane na način, ki ne reproducira stereotipov ali sistematično izključuje določenih skupin. Če dostop do tehnologije ali kakovost vsebin nista enakomerno porazdeljena, lahko nastanejo posredne oblike neenakosti, kar ima tudi pravne implikacije (OECD, 2025).

Posebno pozornost zahteva varstvo otrok. Listina Evropske unije o temeljnih pravicah v 24. členu določa, da je treba pri vseh dejavnostih, ki zadevajo otroke, upoštevati načelo največje koristi otroka. V izobraževalnem okolju to pomeni, da mora biti uporaba razširjene resničnosti razvojno primerna, da ne sme povzročati neupravičenega nadzora ali psihološkega pritiska ter da mora zagotavljati ustrezne varovalke glede zbiranja in obdelave podatkov mladoletnikov. Tudi OECD (2025) poudarja, da potopne tehnologije zaradi svoje intenzivne in podatkovno bogate narave zahtevajo posebno previdnost pri uporabi v okoljih, kjer sodelujejo otroci.

Pomemben vidik temeljnih pravic je tudi svoboda izražanja (Evropska unija, 2009, čl. 11), ki vključuje pravico do sprejemanja in posredovanja informacij. Uporaba komercialnih platform razširjene resničnosti lahko vpliva na to, katere vsebine so dostopne, pod kakšnimi pogoji in znotraj katerih tehničnih omejitev. Če platforme uvajajo avtomatizirano moderiranje ali omejitve dostopa, se postavlja vprašanje transparentnosti in nadzora nad takšnimi praksami. V izobraževalnem kontekstu je zato pomembno, da uporaba tehnologije ne omejuje pluralnosti informacij ali kritične razprave.

6.4.4 Strateški in razvojni dokumenti

Poleg zavezujoče zakonodaje pomembno vlogo pri oblikovanju pogojev za uporabo razširjene resničnosti v izobraževanju igrajo strateški in razvojni dokumenti na nacionalni in evropski ravni. Ti dokumenti ne določajo neposrednih pravnih obveznosti, vendar pomembno vplivajo na usmerjanje financiranja, razvoj infrastrukture, krepitev digitalnih kompetenc ter oblikovanje prioritet na področju digitalnega izobraževanja.

Na ravni Evropske unije Digital Education Action Plan 2021–2027 poudarja razvoj visoko zmogljive digitalne infrastrukture, spodbujanje digitalnih kompetenc ter odgovorno vključevanje naprednih tehnologij v učne procese (Evropska komisija, 2020). Dokument poudarja potrebo po varni, etični in vključujoči digitalni transformaciji izobraževanja, pri čemer se posebej poudarja varstvo podatkov, digitalna pismenost in odpornost na dezinformacije. Čeprav razširjena resničnost ni vedno izrecno navedena, se umešča med tehnologije, ki podpirajo inovativne učne pristope.

Na ravni Evropske unije dokument Digital Education Action Plan 2021–2027 poudarja razvoj visoko zmogljive digitalne infrastrukture, spodbujanje digitalnih kompetenc ter odgovorno vključevanje naprednih tehnologij v učne procese (Evropska komisija, 2020). Dokument izpostavlja potrebo po varni, etični in vključujoči digitalni transformaciji izobraževanja, pri čemer se posebej poudarja varstvo podatkov, digitalna pismenost in odpornost na dezinformacije. Čeprav razširjena resničnost ni vedno izrecno navedena, se umešča med tehnologije, ki podpirajo inovativne učne pristope.

6.4.5 Regulativne vrzeli in prihodnji izzivi

Kljub obstoju razmeroma razvitega pravnega okvira na področju varstva osebnih podatkov, informacijske varnosti in avtorskih pravic regulacija uporabe razširjene resničnosti v izobraževanju ostaja fragmentirana. Veljavna zakonodaja je bila praviloma oblikovana za širši digitalni kontekst in ne naslavlja specifičnih značilnosti potopnih tehnologij, kot so zajem biometričnih podatkov visoke frekvence, prostorsko mapiranje okolja ali sledenje vedenjskim vzorcem v realnem času (OECD, 2025).

Ena izmed ključnih vrzeli se nanaša na obdelavo biometričnih in vedenjskih podatkov, ki jih razširjena resničnost generira kot del svoje osnovne funkcionalnosti. Čeprav GDPR določa stroge pogoje za obdelavo posebnih vrst osebnih podatkov, ni vedno jasno, koliko se podatki o gibanju telesa, smeri pogleda ali mikro-interakcijah uvrščajo med biometrične podatke v pravnem smislu. Interpretacija teh določb je pogosto prepuščena posameznim upravljavcem in nadzornim organom, kar lahko vodi v neenotno prakso.

Dodatno vprašanje je razmerje med javnim interesom izobraževanja in komercialnimi interesi ponudnikov tehnologije. Platforme razširjene resničnosti so pogosto razvite v okviru globalnih tehnoloških podjetij, katerih poslovni modeli temeljijo na zbiranju in analizi podatkov. Čeprav zakonodaja določa načela minimizacije podatkov in omejitve namena obdelave, je v praksi nadzor nad dejansko uporabo podatkov otežen, zlasti kadar se podatki prenašajo izven nacionalnih oblasti (OECD, 2025).

Regulativne vrzeli se kažejo tudi na področju pedagoške kakovosti in standardov vsebin. Medtem ko obstajajo smernice za varstvo podatkov in informacijsko varnost, manjka enoten okvir, ki bi sistematično presojal razvojno primernost, didaktično utemeljenost in etično sprejemljivost potopnih izobraževalnih vsebin. V praksi je zato presoja pogosto prepuščena posameznim šolam ali učiteljem, kar lahko vodi v neenotne standarde uporabe.

Prihodnji razvoj regulacije bo moral upoštevati večplastnost razširjene resničnosti kot tehnologije, ki hkrati posega na področje podatkovne ekonomije, človekovih pravic, varstva otrok in izobraževalne politike. OECD (2025) opozarja, da bodo države morale razviti bolj specifične smernice za uporabo tehnologij razširjene resničnosti v javnih storitvah, vključno z izobraževanjem, ter okrepiti mednarodno sodelovanje pri oblikovanju standardov.

Za izobraževalne ustanove to pomeni, da zgolj formalna skladnost z obstoječo zakonodajo ne zadostuje. Potrebna je proaktivna presoja tveganj, interdisciplinarno sodelovanje pravnih, pedagoških in tehnoloških strokovnjakov ter razvoj notranjih politik, ki presegajo minimalne zakonske zahteve. Regulativni okvir uporabe razširjene resničnosti tako ostaja v razvoju, njegova učinkovitost pa bo odvisna od sposobnosti sistemov, da tehnološke inovacije uskladijo z varstvom temeljnih pravic in javnim interesom izobraževanja.

POGLAVJE 7

Smernice za uporabo tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu

Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu zahteva pedagoško premišljen in varnostno utemeljen pristop. Obstoječa literatura opozarja, da so učinki tehnologij razširjene resničnosti odvisni od starosti uporabnikov, trajanja izpostavljenosti, zasnove izkušnje ter stopnje nadzora in organizacije dejavnosti. Ker dolgoročni vplivi pri otrocih in mladostnikih še niso v celoti raziskani, številni avtorji zagovarjajo previdnostno načelo ter postopno in nadzorovano uvajanje teh tehnologij v šolski prostor (Marks, 2025).

Starostna skupina	Priporočena omejitev časa uporabe	Priporočen nadzor	Priporočila
Manj kot 7 let	Uporaba ni priporočljiva zunaj kliničnih ali raziskovalnih okolij.	<ul style="list-style-type: none">• Priporočan je strog nadzor.• Ni priporočena uporaba funkcij za socialno interakcijo.	<ul style="list-style-type: none">• Uporabite nepoglobitvene ali delno poglobitvene izkušnje, da zmanjšate zmedo med realnim in navideznim svetom.• Vsebina mora biti preprosta in primerna za starost.• V vsebini naj ne bo elementov, ki so preveč potopitveni ali preveč stimulatívni.• Izogibajte se zapletenim interakcijam in daljši uporabi.• Onemogočite zbiranje podatkov, da zaščitite zasebnost otrok.

Starostna skupina	Priporočena omejitev časa uporabe	Priporočen nadzor	Priporočila
7 do 12 let	10–15 minut naenkrat. Spodbujajte redne odmore, da zmanjšate fizično obremenitev.	<ul style="list-style-type: none"> • Priporočan skrben nadzor z aktivnim vodenjem odraslih, vključno z morebitnim projiciranjem zaslona. • Uporabite konzervativne omejitve okolja, dejavnosti v sedečem položaju. 	<ul style="list-style-type: none"> • Za otroke primerna vsebina brez nasilja. • Manj senzorične stimulacije, da preprečimo senzorično preobremenitev. • Omejene funkcije za socialne interakcije oz. brez njihove uporabe. • Onemogočeno zbiranje podatkov za zaščito zasebnosti.
13 do 17 let	10–15 minut naenkrat. Spodbujajte redne odmore, da zmanjšate fizično obremenitev.	<ul style="list-style-type: none"> • Priporočljiv nadzor, zlasti v VR-okoljih, ki vključujejo socialne interakcije. • Omogočite nastavitve zasebnosti in varnosti s konzervativnimi privzetimi nastavitvami. • Neposreden nadzor in preverjanje družbenih interakcij. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vsebina, prilagojena najstnikom, primerna za njihovo kognitivno in psihosocialno razvojno stopnjo. • Vsebina mora spodbujati pozitivne socialne interakcije. • Izogibajte se preveč intenzivnim VR-izkušnjam, da zmanjšate slabost zaradi gibanja. • Onemogočite zbiranje podatkov, da zaščitite zasebnost.

Tabela 7.1: Razvojno diferencirana priporočila, prirejena po Marks, 2025

Tabela 7.1 povzema razvojno diferencirana priporočila glede časovne omejitve uporabe, stopnje nadzora in vsebinskih usmeritev. Predstavljena priporočila niso normativna pravila, temveč strokovne smernice, ki naj služijo kot orientacija pri načrtovanju varne in odgovorne rabe tehnologij razširjene resničnosti v različnih starostnih skupinah. Njihova uporaba mora biti vedno povezana s presojo konkretnega pedagoškega konteksta, individualnih značilnosti učencev ter institucionalnih pogojev izvajanja (Marks, 2025).

V nadaljevanju predstavljamo nabor smernic, ki smo jih oblikovali z namenom obravnave širših pogojev pedagoške in varne implementacije. Smernice združujejo razvojno, didaktično, organizacijsko in podatkovno-etično perspektivo ter lahko služijo kot okvir za načrtovanje, izvedbo in vrednotenje učnih dejavnosti z razširjeno resničnostjo.

Smernica 1: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem kontekstu mora biti razvojno ustrezna in prilagojena starostni skupini ter individualnim značilnostim učencev.

Tehnologije razširjene resničnosti niso zgolj dodatni vizualni medij, temveč spreminjajo zaznavne, prostorske in telesne možnosti učenja. V primerjavi z drugimi digitalnimi orodji vključujejo veččutno senzorno stimulacijo, omejujejo zaznavanje realnega okolja in ustvarjajo občutek prisotnosti, ki lahko vpliva na orientacijo, pozornost in regulacijo vedenja. Prav zaradi te poglobitvene narave je vprašanje razvojne ustreznosti ključnega pomena.

Otroci in mladostniki so razvojno heterogena populacija. Njihovi sistemi ravnotežja, multisenzorne integracije, izvršilnih funkcij in presoj tveganja se razvijajo postopno, zato se lahko na intenzivne poglobitvene izkušnje odzivajo drugače kot odrasli. Marks idr. (2025) opozarjajo, da so težave, povezane s fizično prilagojenostjo opreme, senzorično preobremenitvijo, slabostjo ob gibanju ter zmanjšanim razlikovanjem med realnim in navideznim okoljem, pri mlajših še izrazitejše. Sistematični pregled varnosti navidezne resničnosti pri otrocih dodatno poudarja, da so učinki odvisni od starosti, trajanja in zasnove izkušnje, pri čemer so podatki o dolgoročnih vplivih še omejeni (Bexson idr., 2024).

Razvojna psihologija hkrati kaže, da se sposobnosti abstraktnega mišljenja, metakognicije in stabilne samoregulacije krepijo šele v poznem otroštvu in adolescenci, medtem ko je v zgodnejših obdobjih mišljenje praviloma bolj konkretno, delovni spomin omejen, pozornost pa bolj ranljiva za distrakcije (Papalia idr., 2008; Piaget, 1954, 1972). Ker okolja razširjene resničnosti pogosto povečajo zaznavno in kognitivno obremenitev, je njihova uporaba smiselna le, če je zahtevnost izkušenj usklajena z razvojnimi zmožnostmi učencev. V šolskem kontekstu to pomeni, da se o uporabi tehnologij razširjene resničnosti presoja razvojno diferencirano, z upoštevanjem starosti, individualnih posebnosti ter narave konkretne učne situacije.

Smernica 2: Izbor in nastavitev naglavnih prikazovalnikov morata zagotavljati ustrezno fizično prileganje in optično prilagoditev uporabniku.

Naglavni prikazovalniki, ki se uporabljajo v izobraževalnem okolju, so praviloma zasnovani za odrasle uporabnike, zato njihova uporaba pri otrocih zahteva dodatno pozornost glede ergonomije in optične prilagoditve. Marks idr. (2025) poudarjajo, da je ustrezno prileganje opreme ključni pogoj za varno in predvidljivo uporabo, saj fizične značilnosti otrok pomembno vplivajo na udobje, stabilnost naprave in kakovost zaznave. V šolskem kontekstu je zato izbor opreme treba presojati tudi z vidika prilagodljivosti različnim velikostim glave ter enostavnosti individualne nastavitve.

Optična prilagoditev vključuje predvsem ustrezno nastavitev interpupilarne razdalje in položaja zaslona glede na uporabnika. Variabilnost interpupilarne razdalje pri otrocih je v literaturi prepoznana kot pomemben dejavnik uporabniške izkušnje v navidezni resničnosti (Hibbard idr., 2020), zato mora biti možnost individualne nastavitve standardni del šolske rabe. Marks idr. (2025) dodatno opozarjajo, da neustrezna optična nastavitev vpliva na zaznavno jasnost in lahko zmanjša kakovost sodelovanja pri učni dejavnosti. V vzgojno-izobraževalnem okolju to pomeni, da morata biti preverjanje prileganja in nastavitve optičnih parametrov standardiziran del priprave na izvedbo dejavnosti.

Smernica 3: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalnem procesu mora biti časovno omejena in vključevati načrtovane prekinitve.

Časovno doziranje uporabe je v literaturi obravnavano kot temeljni element odgovorne rabe razširjene resničnosti pri otrocih in mladostnikih, saj trajanje pomembno sooblikuje uporabniško izkušnjo in verjetnost neželenih učinkov. Sistematični pregled varnosti uporabe navidezne resničnosti pri otrocih poudarja, da so učinki večinoma prehodni, vendar heterogeni in odvisni od parametrov uporabe, med katerimi ima ključno vlogo prav trajanje (Bexson idr., 2024). Marks idr. (2025) v razvojno utemeljenih priporočilih zagovarjajo konservativne časovne omejitve ter poudarjajo, da naj se trajanje v mlajših starostnih skupinah načrtuje restriktivno, dokler ne bo na voljo več longitudinalnih dokazov.

V vzgojno-izobraževalnem kontekstu časovna omejitev in načrtovane prekinitve pomenijo, da se tehnologije razširjene resničnosti vključujejo kot kratka, vnaprej strukturirana učna dejavnost, ki jo je mogoče varno umestiti v potek učne ure. Prekinitve omogočajo ponovno orientacijo v realnem prostoru in sprotno preverjanje počutja, hkrati pa učitelju omogočajo prilagajanje tempa, zahtevnosti in nadaljnjega poteka dejavnosti. Takšna organizacija je posebej relevantna pri mlajših učencih, kjer so odzivi na potopitvene izkušnje bolj variabilni in je potreba po sprotnem vodenju večja (Marks idr., 2025).

Smernica 4: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora potekati v prostorsko in organizacijsko varnem okolju.

Poglobitvena narava tehnologij razširjene resničnosti lahko zmanjša zaznavanje realnega okolja ter oslabi sprotno presojanje telesnih tveganj, kar povečuje verjetnost nenamernih trkov, padcev ali drugih fizičnih poškodb. Marks idr. (2025) opozarjajo, da zmanjšano zavedanje realnega prostora ter razvojno še ne povsem stabilna inhibicija vedenja pri mlajših uporabnikih povečujeta potrebo po skrbni organizaciji prostora in jasnih varnostnih protokolih. V izobraževalnem kontekstu to pomeni, da je treba več pozornosti nameniti fizični ureditvi prostora, oddaljenosti ovir in nadzoru gibanja.

Raziskave o uporabi navidezne resničnosti pri otrocih dodatno poudarjajo, da so varnostni izidi močno odvisni od načina izvedbe, nadzora ter nastavitve zaščitnih mehanizmov, kot so digitalne omejitve gibanja in vidna opozorila (Bexson idr., 2024). Ker se tehnologije razširjene resničnosti pogosto uporabljajo v učilnicah, ki niso primarno zasnovane kot varni poglobitveni prostori, je potrebna predhodna ocena prostorskih pogojev, opredelitev jasnih pravil gibanja ter stalne prisotnosti odrasle osebe. Takšna ureditev zmanjšuje verjetnost fizičnih incidentov in hkrati omogoča, da se izkušnja uporabe razširjene resničnosti izvaja v predvidljivih pogojih, primerljivih z drugimi šolskimi dejavnostmi, kjer je telesna varnost del standardne odgovornosti institucije (Bexson idr., 2024; Marks idr., 2025).

Smernica 5: Uporaba socialnih in večuporabniških funkcij v okoljih razširjene resničnosti mora biti v šolskem kontekstu omejena, vnaprej preverjena in nadzorovana.

Razširjena resničnost lahko vključuje večuporabniške načine uporabe, kjer učenci vstopajo v skupne digitalne prostore in v realnem času komunicirajo z drugimi. Marks idr. (2025) opozarjajo, da poglobitvena narava teh okolij spreminja pogoje socialne interakcije, saj so meje med zasebnim in javnim, šolskim in zunajšolskim prostorom ter formalnim in neformalnim vedenjem manj jasne kot pri običajnih digitalnih orodjih. V šolskem okolju to zahteva, da se socialne funkcije ne obravnavajo kot privzeta možnost, temveč kot funkcionalna izbira, vezana na jasen učni namen in predhodno presojo primernosti.

Literatura o digitalnih socialnih okoljih pri mladostnikih opozarja na tveganja neprimernih interakcij ter pomen nadzora, pravil in strukturiranega okvira uporabe (Chochol idr., 2023). V povezavi z razširjeno resničnostjo to pomeni, da mora učitelj pri uporabi večuporabniških okolij določiti udeležence, pravila komunikacije in meje dostopa. Kye idr. (2021) dodatno izpostavljajo potrebo po jasnih okvirih in regulaciji, saj lahko visoka stopnja vključenosti zmanjša kritično distanco do socialne dinamike. Zato je v vzgojno-izobraževalnem kontekstu smiselno, da se socialne funkcije uporabljajo le v nadzorovanih, zaprtih okoljih in pod pogoji, ki jih je mogoče dosledno upravljati (Chochol idr., 2023; Marks idr., 2025).

Smernica 6: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora temeljiti na načelu minimalnega zbiranja podatkov in visoke ravni varovanja zasebnosti.

Tehnologije razširjene resničnosti lahko poleg standardnih uporabniških podatkov beležijo tudi prostorske podatke, vzorce gibanja, smer pogleda, biometrične odzive ter interakcijske zapise. Marks idr. (2025) opozarjajo, da obseg in občutljivost teh podatkov presega značilnosti večine tradicionalnih digitalnih orodij, kar odpira specifična vprašanja varovanja zasebnosti pri otrocih in mladostnikih. V izobraževalnem okolju, kjer gre za posebej varovano populacijo, je zato potrebna dodatna previdnost glede obsega zbiranja, shranjevanja in obdelave podatkov.

Raziskave o vedenju uporabnikov v digitalnih okoljih kažejo, da se večina uporabnikov zanaša na privzete nastavitve ter redko aktivno spreminja nastavitve zasebnosti (Cho idr., 2019), kar pomeni, da so varne privzete nastavitve ključni zaščitni mehanizem. Marks idr. (2025) zato poudarjajo pomen načela minimalnega zbiranja podatkov ter transparentnosti glede tega, kateri podatki se zbirajo in za kakšen namen. V vzgojno-izobraževalnem kontekstu to pomeni, da se uporaba tehnologij razširjene resničnosti presoja tudi z vidika skladnosti z načeli varstva otrokove zasebnosti ter institucionalne odgovornosti za zaščito podatkov.

Smernica 7: Uporaba pogovornih agentov in drugih dinamičnih interakcijskih sistemov v okoljih razširjene resničnosti mora biti razvojno ustrezna, vsebinsko utemeljena ter jasno omejena in nadzorovana.

Okolja razširjene resničnosti lahko vključujejo pogovorne agente ali druge sisteme, ki generirajo dinamične in prilagodljive odzive na uporabnikovo vedenje. Zaradi poglobitvene narave teh okolij so takšne interakcije pogosto doživete kot neposredne in avtentične, kar lahko vpliva na razumevanje vsebine ter na oblikovanje spominov. Raziskave kažejo, da so otroci pri interpretaciji navideznih dogodkov in virov informacij razvojno bolj ranljivi, zlasti kadar je meja med realnim in navideznim zabrisana (Segovia in Bailenson, 2009). Marks idr. (2025) opozarjajo, da je pri mlajših uporabnikih sposobnost kritične presoje digitalnih vsebin in razumevanja delovanja inteligentnih sistemov še v razvoju, zato je potrebna posebej previdna presoja njihove uporabe.

V vzgojno-izobraževalnem kontekstu to pomeni, da mora biti vključevanje dinamičnih interakcijskih sistemov del jasno opredeljenega učnega namena, vsebina sistemov pa vnaprej preverjena in skladna z razvojno stopnjo učencev. Sistemi, katerih odzivi niso povsem predvidljivi ali nadzorovani, zahtevajo dodatno strokovno presojo in omejitve uporabe, zlasti pri mlajših starostnih skupinah (Marks idr., 2025).

Smernica 8: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti podprta z jasno opredeljenimi institucionalnimi protokoli, usposabljanjem osebja in razdelitvijo odgovornosti.

Uvajanje tehnologij razširjene resničnosti v šolski prostor ne pomeni zgolj tehnične ali didaktične odločitve, temveč predstavlja organizacijski proces, ki zahteva sistemsko pripravo. Marks idr. (2025) poudarjajo, da so varnostni in razvojni vidiki uporabe v veliki meri odvisni od konteksta izvedbe, usposobljenosti odraslih ter jasnosti postopkov ob nepredvidenih odzivih ali tehničnih zapletih. Sistematični pregled varnostnih vidikov uporabe navidezne resničnosti pri otrocih dodatno opozarja, da heterogenost izidov pogosto odraža razlike v nadzoru, organizaciji in implementaciji (Bexson idr., 2024).

Institucionalni okvir je pomemben tudi zato, ker je uspešnost uvajanja digitalnih inovacij v izobraževanju odvisna od vodstvenih in organizacijskih komponent, kot so jasni cilji, usklajenost praks, podpora zaposlenim ter opredeljeni mehanizmi sprememb na ravni sistema (McCarthy idr., 2023). Raziskave v kontekstih navidezne resničnosti kažejo, da lahko na izvedbo vplivajo tudi psihološki dejavniki pri učiteljih, vključno z negotovostjo in tesnobo v navideznih učnih okoljih, kar dodatno poudarja pomen usposabljanja, podpore in postopnega uvajanja (Zhong idr., 2024).

V vzgojno-izobraževalnem kontekstu to pomeni, da mora biti uporaba tehnologij razširjene resničnosti umeščena v institucionalni okvir, ki vključuje jasna pravila uporabe, opredeljene vloge in odgovornosti, postopke pred uporabo in po njej ter postopke ob nepredvidenih odzivih ali tehničnih zapletih. Literatura opozarja, da brez jasne regulacije in upravljanja obstaja tveganje fragmentarne rabe, neenotnih praks ter neustrezne obravnave etičnih in varnostnih vprašanj (Kye idr., 2021). Sistemsko zasnovan okvir omogoča, da se posamezne smernice ne izvajajo izolirano, temveč kot del celovitega, strokovno utemeljenega pristopa k uporabi tehnologij razširjene resničnosti v vzgojno-izobraževalni ustanovi (Georgieva idr. 2024; Zhong idr., 2024).

Smernica 9: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti didaktično utemeljena in vezana na jasno opredeljene učne cilje.

Empirične raziskave na področju razširjene resničnosti v izobraževanju ne potrjujejo avtomatičnega učnega učinka zgolj zaradi stopnje poglobitve ali tehnološke kompleksnosti. Pregledi literature kažejo, da so učni izidi odvisni od didaktične zasnove dejavnosti, zlasti od usklajenosti med učnimi cilji, strukturo nalog in vlogo učitelja v procesu učenja (Kye idr., 2021; Skulmowski, 2023). Kadar tehnologija ni jasno umeščena v pedagoški okvir, se lahko učna dejavnost osredotoči na izkustveno intenzivnost namesto na konceptualno razumevanje.

Jin idr. (2024) poudarjajo, da učinkovita integracija tehnologij razširjene resničnosti zahteva premišljeno pedagoško načrtovanje, ki vključuje kurikularno umeščanje, ustrezne učne modele, vrednotenje ter sistemsko podporo. Brez teh elementov obstaja tveganje, da razširjena resničnost deluje kot izolirana izkušnja, ki je ločena od širšega učnega procesa. Literatura dodatno opozarja, da je zaznana motivacija ob uporabi novih tehnologij lahko kratkoročno visoka, vendar brez ustrezne didaktične strukture ne vodi nujno v trajnejše znanje ali prenos v nove situacije (Kye idr., 2021).

Odločitev za uporabo tehnologij razširjene resničnosti mora biti utemeljena z jasno opredeljeno dodano vrednostjo glede na druge učne pristope. Uporaba tehnologije je smiselna, kadar podpira cilje, ki jih brez poglobitvenih elementov tehnologij razširjene resničnosti ni mogoče doseči ali ko omogoča drugačno, pedagoško relevantno obliko izkušnje, ki je skladna z načrtovanimi učnimi izidi (Jin idr., 2024).

Smernica 10: Uporaba tehnologij razširjene resničnosti mora biti zasnovana vključujoče in prilagojena raznolikim telesnim, senzornim in kognitivnim možnostim učencev.

Razširjena resničnost v učni proces vnaša specifične zahteve glede gibanja, fine motorike, koordinacije, ravnotežja in načina interakcije z vmesniki. Marks idr. (2025) izpostavljajo, da so komercialni naglavni prikazovalniki in krmilni sistemi praviloma razviti za odrasle uporabnike, zato lahko pri otrocih že osnovne telesne razlike povzročijo težave pri doseganju gumbov, utrujenost, neustrezno sledenje gibom ali slabšo uporabniško izkušnjo. Če so te ovire prisotne pri tipičnem razvoju, se pri učencih z motoričnimi omejitvami, zmanjšano koordinacijo ali senzornimi posebnostmi praviloma še okrepijo, kar lahko pomeni, da učenec ne more enakovredno sodelovati pri dejavnosti.

V vzgojno-izobraževalnem kontekstu vključujoča raba pomeni, da učitelj pred izvedbo presodi, ali je izbrana tehnologija za vse učence praktično dostopna in ali omogoča smiselne prilagoditve. Kjer je mogoče, naj učitelj izbira izkušnje z alternativnimi načini upravljanja, z manj motoričnimi zahtevami ter z možnostjo prilagoditve ciljev in interakcij, na primer z večjimi območji interakcije ali z zasnovanimi nalog, ki ne zahtevajo hitrih ali natančnih gibov (Marks idr., 2025). S prilagoditvami se zmanjša verjetnost, da bi razlike v motoričnih in senzoričnih možnostih nesorazmerno vplivale na sodelovanje pri dejavnosti in na učne izide.

POGLAVJE 8

Sklepna beseda

Razširjena resničnost vstopa v vzgojno-izobraževalni prostor v obdobju pospešene digitalizacije in širše družbene tehnološke preobrazbe, ki vpliva na načine dostopa do informacij, na oblike predstavljanja znanja ter na organizacijo učenja in poučevanja. V monografiji smo razširjeno resničnost obravnavali kot spekter pristopov, ki vključujejo navidezno, obogateno in mešano resničnost ter njihove prehodne oblike. Vsaka izmed teh oblik ima specifične tehnične značilnosti, pedagoške potenciale in razvojne omejitve. Njihova pedagoška vrednost se ne vzpostavi samodejno z uporabo tehnologije, temveč je rezultat premišljene integracije v učni proces, ki izhaja iz jasno opredeljenih učnih ciljev, vsebinske ustreznosti ter razvojnih značilnosti učencev.

Pregled empiričnih raziskav kaže, da lahko tehnologije razširjene resničnosti ob ustrezni didaktični zasnovi podpirajo razumevanje kompleksnih in abstraktnih vsebin, razvoj prostorskega mišljenja, večjo angažiranost ter spodbujajo motivacijo. Učinki so izrazitejši tam, kjer je tehnologija uporabljena kot sredstvo za aktivno konstruiranje znanja, problemsko reševanje ali simulacijo procesov, ki jih v realnem okolju ni mogoče varno ali učinkovito izvesti. Hkrati pa raziskave opozarjajo na variabilnost rezultatov in na dejstvo, da sama prisotnost tehnologije ne zagotavlja izboljšanja učenja.

Posebno pozornost zahteva vprašanje razvojne primernosti uporabe tehnologij razširjene resničnosti. Zaradi njihove poglobitvene narave in veččutne zasnove posegajo neposredno v zaznavne, kognitivne in psihosocialne procese, ki so pri otrocih in mladostnikih še v razvoju. Empirična baza o dolgoročnih učinkih ostaja omejena, zato je smiselno izhajati iz previdnostnega načela ter uporabo prilagajati starosti, trajanju izpostavljenosti, vsebinski kompleksnosti in stopnji strukturiranosti dejavnosti. Vzgojno-izobraževalni kontekst mora zagotavljati ustrezne organizacijske pogoje, varnostne standarde in strokovni nadzor.

Analiza modelov integracije digitalnih tehnologij v izobraževanje je pokazala, da je smiselno umeščanje razširjene resničnosti mogoče razumeti znotraj širših didaktičnih okvirov, kot so modeli tehnološko-pedagoškega znanja, transformacije učnih dejavnosti ter usmerjenosti v aktivno vključenost učencev. V tem okviru razširjena resničnost ni obravnavana kot nadomestilo učitelja, temveč kot orodje, ki lahko razširi nabor učnih strategij in podpre diferencirano ter personalizirano učenje, kadar ostaja podrejena pedagoškemu namenu.

Ključno vprašanje, ki se ob tem odpira, je pedagoška smiselnost. Odločitev za uporabo razširjene resničnosti mora temeljiti na presoji, ali določena tehnologija pripomore k doseganju učnih ciljev na način, ki je razvojno ustrezen, didaktično utemeljen in organizacijsko izvedljiv. V tem smislu je odgovornost strokovnih delavcev, vodstev šol in oblikovalcev politik, da oblikujejo jasne kriterije za njeno uporabo ter zagotovijo ustrezno usposabljanje in podporo učiteljem.

Slike

2.1	Vennov diagram, ki prikazuje konceptualizacijo tehnologij razširjene resničnosti (XR).	15
2.2	Tri značilnosti navidezne resničnosti po Heimmu (1998).	16
2.3	Ključne značilnosti obogatene resničnosti (Azuma, 1997).	17
2.4	Ključne značilnosti mešane resničnosti.	18
2.5	Model kontinuuma med neposredno zaznano fizično resničnostjo in računalniško generirano izkušnjo.	18
3.1	Zgodovinski razvoj razširjene resničnosti.	19
3.2	Tri generacije obogatene resničnosti v izobraževanju.	22
5.1	Preplet treh ključnih področij učiteljevega znanja in njihove integracije.	39
5.2	TPACK-model kot preplet tehnološkega (TK), pedagoškega (PK) in vsebinskega znanja (CK) z upoštevanjem učnega konteksta.	40
5.3	Model SAMR	41
5.4	Kognitivno-afektivni model učenja v navidezni resničnosti (model CAMIL).	43
5.5	Matrica TIM vključevanja IKT v vzgojno-izobraževalni proces po dimenzijah učnega okolja in stopnjah pedagoške uporabe tehnologije (povzeto po Craneiro idr., 2022).	46
5.6	Štiristopenjski proces uporabe okvira 3-E za vključevanje tehnologije v pouk.	48
5.7	Model 3-E z učnimi strategijami, ki podpirajo vključenost, izboljšanje in razširjanje učenja s tehnologijo.	49
5.8	Prednosti in slabosti 3E-okvirja povzeto po Rutten in Brouwer-Truijen (2025).	51
5.9	Evropski okvir digitalnih kompetenc za izobraževalce po Redecker in Punie (2018).	53
5.10	Model napredovanja po okvirju DigCompEdu po Redecker in Punie (2018).	54

5.11 Sedem vidikov personaliziranega učenja v tehnološko podprtem okolju po Holmes idr. (2018).	57
5.12 Primerjava tradicionalnega, prilagodljivega in personaliziranega učnega okolja	59
5.13 Načini doseganja personalizacije v VR-okoljih povzeto po Marougkas idr. (2023).	60
5.14 Druge oblike in tehnike personalizacije v navidezni resničnosti v izobraževanju povzeto po Marougkas idr. (2023).	61
6.1 Uporabniški vmesnik za izdelavo učnih scenarijev in končna rešitev LingoVerse (Laboratorij za multimedijo na UL FE, 2026; Laboratorij za računalniško grafiko in multimedije na UL FRI, 2025).	72
6.2 Okvir za krepitev zaupanja v razširjeno resničnost v izobraževanju povzeto po Zaman idr. (2024)	81

Seznam uporabljenih virov

Abtahi, Y. (2017). The 'More Knowledgeable Other': A Necessity in the Zone of Proximal Development? For the Learning of Mathematics, 31(3), 35–41. <https://flm-journal.org/Articles/5BBB35871F125602623D27A6B963AB.pdf>

Informacijski pooblaščenec (2021). Smernice za skladno uporabo informacijskih rešitev v šolstvu. <https://www.ip-rs.si/publikacije/priročniki-in-smernice/smernice-po-splošni-uredbi-o-varstvu-podatkov-gdpr/smernice-za-skladno-uporabo-informacijskih-rešitev-v-šolstvu>

Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., in Jo, S. (2021). Educational Applications of Metaverse: Possibilities and Limitations. Journal of Educational Evaluation for Health Professions, 18, 32. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2021.18.32>

Georgieva, M., Nelson, J., LaFosse, R. in Contis, D. (2024). Navigating the XR Educational Landscape: Privacy, Safety, and Ethical Guidelines. EDUCAUSE. <https://www.educause.edu/research/community/2024/navigating-the-xr-educational-landscape-privacy-safety-and-ethical-guidelines>

Jin, S., Huang, J. in Zhong, Z. (2024). Application of Immersive Technologies in Primary and Secondary Education. Frontiers of Digital Education, 1(2), 142-152. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44366-024-0001-3>

Zakon o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (ZOFVI). (1996). Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 36/08, 58/09, 64/09 – popr., 65/09 – popr., 20/11, 40/12 – ZUJF, 57/12 – ZPCP-2D, 47/15, 46/16, 49/16 – popr., 25/17 – ZVaj, 123/21, 172/21, 207/21, 105/22 – ZZNŠPP, 141/22, 158/22 – ZDoh-2AA, 71/23, 22/25 – ZZZRO-1 in 48/25. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAK0445>

Zhong, Z., Feng, S., in Jin, S. (2024). Investigating the Influencing Factors of Teaching Anxiety in Virtual Reality Environments. Education and Information Technologies, 29(7), 8369-8391. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-12152-2>

Iqbal, M. Z., Xu, X., Nallur, V., Scanlon, M. in Campbell, A. G. (2023). Security, Ethics and Privacy Issues in the Remote Extended Reality for Education. V Y. Cai, E. Mangina, S. L. Goei (Ur.), Mixed Reality for Education (str. 355-380). Singapore: Springer Nature Singapore.

Selwyn, N. (2016). Education and Technology: Key Issues and Debates. Bloomsbury.

Evropska unija. (2016). Splošna uredba o varstvu podatkov (GDPR). <https://eur-lex.europa.eu/SL/legal-content/summary/general-data-protection-regulation-gdpr.html>

Williamson, B. (2019). Datafication of Education: A Critical Approach to Emerging Analytics Technologies and Practices. In *Rethinking pedagogy for a digital age* (str. 212-226). Routledge.

OECD. (2021). *Digital education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>

McCarthy, A. M., Maor, D., McConney, A., in Cavanaugh, C. (2023). Digital Transformation in Education: Critical Components for Leaders of System Change. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100479. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100479>

Peykani, P., Ramezanlou, F., Tanasescu, C. in Ghanidel, S. (2025). Large Language Models: A Structured Taxonomy and Review of Challenges, Limitations, Solutions, and Future Directions. *Applied Sciences*, 15(14), 8103.

Evropska komisija. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Digital Education Action Plan 2021–2027: Resetting education and training for the digital age (COM(2020) 624 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0624>

Du, R. in Lee, G. (2025). Sensible Agent: A Framework for Unobtrusive Interaction with Proactive AR Agents. <https://research.google/blog/sensible-agent-a-framework-for-unobtrusive-interaction-with-proactive-ar-agents/>

Informacijski pooblaščenec (2023). Smernice glede izvajanja videonadzora. <https://www.ip-rs.si/publikacije/priročniki-in-smernice/smernice-po-splošni-uredbi-o-varstvu-podatkov-gdpr/smernice-glede-izvajanja-videonadzora>

Evropska unija. (2009). Listina Evropske unije o temeljnih pravicah. Uradni list Evropske unije, C 326, 391–407.

Acampora, G., Ambainis, A., Ares, N., Banchi, L., Bhardwaj, P., Binosi, D., Briggs, G. A. D., Calarco, T., Dunjko, V., Eisert, J., Ezratty, O., Erker, P., Fedele, F., Gil-Fuster, E., Gärttner, M., Granath, M., Heyl, M., Kerenidis, I., Klusch, M. in Wilhelm, F. K. (2025). Quantum Computing and Artificial Intelligence: Status and Perspectives (arXiv:2505.23860). ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2505.23860>

Adam, T., D'Ignazio, C., in Zuckerman, E. (2022). Decolonising EdTech: A Resource List for Tackling Coloniality and Digital Neocolonialism in EdTech. EdTech Hub. <https://edtechhub.org/2022/02/25/decolonising-edtech-a-resource-list-for-tackling-coloniality-and-digital-neocolonialism-in-edtech/>

Ai-Jou, P., Cheng, B., Chou, P. in Geng, Y. (2024). Using Augmented Reality Games to Support Sustainable Development Goal Learning Among Young Students: A True-

Experimental Study. *Library Hi Tech*. <https://doi.org/10.1108/LHT-10-2023-0511>

Aimone, J. B. (2025). *Neuromorphic Computing: A theoretical Framework for Time, Space, and Energy Scaling* (arXiv:2507.17886). *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2507.17886>

Amprasi, E., Vernadakis, N., Zetou, E. in Antoniou, P. (2022). *Effect of a Full Immersive Virtual Reality Intervention on Selective Attention in Children*. *International Journal of Instruction*, 15(1), 565–582. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15132a>

Antoninis, M., Alcott, B., Al Hadheri, S., April, D., Fouad Barakat, B., Barrios Rivera, M., in Weill, E. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education: A Tool on Whose Terms?* <https://doi.org/10.54676/UZQV8501>

Anželj, G., Brank, J., Brodnik, A., Bulić, P., Ciglarič, M., Đukić, M., Fürst, L., Kikelj, M., Krapež, A., Mori, N., Pančur, M., Starc Grlj, H., in Sterle, P. (2015). *Informatika 1, v4.02: E-učbenik za informatiko v gimnaziji*. Založba Univerze na Primorskem; Založba Fakultete za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani; Založba Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru. <https://lusy.fri.uni-lj.si/ucbenik/>

Aref, E. (b. d.). *AI and Critical Thinking in Education*. Western Michigan University. <https://wmich.edu/x/teaching-learning/teaching-resources/ai-critical-thinking>

Astafeva, D., Syunyakov, T., Shapievskii, D., Malashonkova, E., Vlasov, A., Shport, S., Akhapkin, R., Ashurov, Z., Kolsanov, A. in Smirnova, D. (2024). *Virtual Reality/Augmented Reality (VR/AR) Approach to Develop Social and Communication Skills in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorders without Intellectual Impairment*. *Psychiatria Danubina*, 36(2), 361–370. <https://doi.org/10.24869/psyd.2024.S361>

Astra AI. (b. d.). *Astra AI*. <https://astra-ai.co/>

Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Duarte, J. in Betancourt, J. (2021). *Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research*. *Contemporary Educational Technology*, 13(3).

Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

Ba, S., Stein, D., Liu, Q., Long, T., Xie, K. in Wu, L. (2021). *Examining the Effects of a Pedagogical Agent with Dual-Channel Emotional Cues on Learner Emotions, Cognitive Load, and Knowledge Transfer Performance*. *Journal of Educational Computing Research*, 59(6), 1114–1134. <https://doi.org/10.1177/0735633121992421>

Bajenaru, L., Smeureanu, I., in Balog, A. (2016). *An Ontology-Based E-Learning Framework for Healthcare Human Resource Management*. *Studies in Informatics and Control*, 25(1), 99–108. https://www.researchgate.net/publication/299452944_An_Ontology-Based_E-Learning_Framework_for_Healthcare_Human_Resource_Management

Bärtschi, A., in Eidenbenz, S. (2023). *Quantum Machine Learning: A Survey of Te-*

chniques, Applications, and Challenges. *ACM Computing Surveys*, 55(9), Article 185. <https://doi.org/10.1145/3579800>

Baumgartner, E., Ferdig, R. in Gandolfi, E. (2022). Exploring the Impact of Extended Reality (XR) on Spatial Reasoning of Elementary Students. *TechTrends*, 66(5), 825–836. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00753-6>

Beganović Sambolić, A., Deutsch, T., Dermota, P., Klemenčič, D., in Jerše, L. (2023). Zakaj digitalna strategija? Priporočila snovalcem digitalnih strategij. Zavod RS za šolstvo. https://www.zrssl.si/pdf/zakaj_digitalna_strategija.pdf

Behrend, T. S. in Thompson, L. F. (2012). Using Animated Agents in Learner-Controlled Training: The Effects of Design Control. *International Journal of Training and Development*, 16(4), 263–283. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2419.2012.00413.x>

Beisenbayeva, G., Mubarakov, A., Seylova, Z., Zhadrayeva, L. in Artymbayeva, B. (2024). Evaluating the Impact of an Augmented Reality App on Geometry Learning in Kayakh Secondary Schools. *Journal of Information Technology Education-Research*, 23. <https://doi.org/10.28945/5355>

Bertoncel, T. (2020). Družba 5.0: Izzivi prihodnosti. Fakulteta za organizacijske študije.

Bexson, C., Oldham, G. in Wray, J. (2024). Safety of Virtual Reality Use in Children: A Systematic Review. *European Journal of Pediatrics*, 183(5), 2071–2090. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05488-5>

Bieletzke, S. (2024). SMARTA - Chatbots as Individual Study Coaches for Tackling the Two Sigma Problem. V L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Ur.), *EDULEARN24 Proceedings* (str. 6965–6972). IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2024>

Bizjak Ferjan, M., Ferjan, M., in Bernik, M. (2025). Družbeni razredi in digitalni razkorak pri študentih. V J. Žnidaršič (Ur.), *Management skozi prizmo digitalnega in zele-nega prehoda v družbo 5.0* (str. 153–200). Univerzitetna založba, Univerza v Mariboru. <https://doi.org/10.18690/um.fov.7.2025.7>

Bondarenko, M., Bondarenko, M., Paniv, Y., Molchanovsky, O., Romanyshyn, M., Filipchuk, Y., in Kiulian, A. (2025). Sovereign Large Language Models: Advantages, Strategy and Regulations (arXiv:2503.04745). *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2503.04745>

Bray, B., in McClaskey, K. (2012). Personalization vs Diferentiation vs Individualization. <https://www.at-udl.com/tutorials/jr2018/assets/pdi-chart.pdf>

Bravou, V., Oikonomidou, D. in Drigas, A. (2022). Applications of Virtual Reality for Autism Inclusion. A review (Aplicaciones de la realidad virtual para la inclusión del autismo. Una revisión). *Retos*, 45, 779–785. <https://doi.org/10.47197/retos.v45i0.92078>

Burke, D., Crompton, H. in Nickel, C. (2025). The Use of Extended Reality (XR) in Higher Education: A Systematic Review. *TechTrends* 69, 998–1011. <https://doi.org/10.1007/s11528-025-01092-y>

Caukin, N., in Trail, L. (2019). SAMR: A Tool for Reflection for Ed Tech Integration. *International Journal of the Whole Child*, 4(1), 47–54. <https://libjournals.mtsu.edu/index.php/ijwc/article/view/1370>

Cetintav, G. in Yilmaz, R. (2023). The Effect of Augmented Reality Technology on Middle School Students' Mathematic Academic Achievement, Self-Regulated Learning Skills, and Motivation. *Journal of Educational Computing Research*, 61(7), 1483–1504. <https://doi.org/10.1177/07356331231176022>

Chen, C. (2020). Impacts of Augmented Reality and a Digital Game on Students' Science Learning with Reflection Prompts in Multimedia Learning. *ETR&D: Educational Technology Research and Development*, 68(6), 3057–3076. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09834-w>

Chen, C., Chou, Y. in Huang, C. (2016). An Augmented-Reality-Based Concept Map to Support Mobile Learning for Science. *Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 567–578. <https://doi.org/10.1007/s40299-016-0284-3>

Cho, H., Roh, S. in Park, B. (2019). Of Promoting Networking and Protecting Privacy: Effects of Defaults and Regulatory Focus on Social Media Users' Preference Settings. *Computers in Human Behavior*, 101, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.07.001>

Chochol, M. D., Gandhi, K. in Croarkin, P. E. (2023). Social Media and Anxiety in Youth: A Narrative Review and Clinical Update. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 32(3), 613–630. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2023.02.004>

Chou, Y., Wu, P., Huang, C., Chang, S., Huang, H., Lin, W. in Lin, M. (2022). Effect of Digital Learning Using Augmented Reality with Multidimensional Concept Map in Elementary Science Course. *Asia-Pacific Education Researcher*, 31(4), 383–393. <https://doi.org/10.1007/s40299-021-00580-y>

Cortés-Albornoz, M. C., Ramírez-Guerrero, S., Rojas-Carabali, W., de-la-Torre, A. in Talero-Gutiérrez, C. (2022). Effects of Remote Learning During the COVID-19 Lockdown on Children's Visual Health: A Systematic Review. *BMJ Open*, 12(8), e062388. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-062388>

Craig, S. D., Twyford, J., Irigoyen, N. in Zipp, S. A. (2015). A Test of Spatial Contiguity for Virtual Human's Gestures in Multimedia Learning Environments. *Journal of Educational Computing Research*, 53(1), 3–14. <https://doi.org/10.1177/0735633115585927>

Craneiro, M., Soares, A., Catarino, P., in Reis, M. (2022). Technology Integration Models in Mathematics Teaching: Analysis of Quality Criteria. *V Edulearn22 Proceedings (str. 4894–4902)*. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2022.1164>

Davies, M., Wild, A., Orchard, G., Sandamirskaya, Y., Rothganger, F., Joshi, S., Schuman, C. D., in DeBole, M. V. (2024b). Advancing Neuromorphic Computing at Scale. *Nature*, 632(8024), 262–271. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07679-0>

Dincelli, E. (2024). Teaching Case: Security and Privacy Implications of Virtual Rea-

lity Applications in the Metaverse [Teaching case]. *Journal of Information Systems Education*, 35(3), 261–270. <https://doi.org/10.62273/JMZA1065>

Ding, C., Ke, J., Levine, M., in Zhou, N. (2024). Potential of Artificial Intelligence in Reducing Energy and Carbon Emissions of Commercial Buildings at Scale. *Nature Communications*, 15(1), 5916. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50088-8>

Dolinar, M., Poberžnik, A., in Jerše, L. (2023). Vodenje in podpora učencem pri pridobivanju digitalnih kompetenc: 1. del: Strokovna izhodišča in priporočila. Zavod RS za šolstvo. https://www.zrss.si/pdf/vodenje_in_podpora_ucencem_pri_pridobivanju_digitalnih_kompetenc.pdf

D’Mello, S. K., Dowell, N. in Graesser, A. (2011). Does it Really Matter Whether Students’ Contributions are Spoken Versus Typed in an Intelligent Tutoring System with Natural Language? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17(1), 1. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0022674>

Erikson, E. H. (1963). *Childhood and Society*. Norton.

Evropska komisija. (2021). Cilji evropskega digitalnega kompasa. <https://twitter.com/EKvSloveniji/status/1369342924383780876>

Evropska komisija. (2025). DESI Dashboard for the Digital Decade (2023 onwards). <https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts>

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani. (b. d.). Projekt TeachXR. <https://teachxr.si/>

Fernandez, M. (2017). Augmented Virtual Reality: How to Improve Education Systems. *Higher Learning Research Communications*, 7(1), 1–15. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1150087.pdf>

Fountoukidou, S., Ham, J., Matzat, U. in Midden, C. (2019). Effects of an Artificial Agent as a Behavioral Model on Motivational and Learning Outcomes. *Computers in Human Behavior*, 97, 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.03.013>

Fratini, S., Hine, E., Novelli, C., Roberts, H., in Floridi, L. (2024). Digital Sovereignty: A Descriptive Analysis and a Critical Evaluation of Existing Models. *Digital Society*, 3, Article 59. <https://doi.org/10.1007/s44206-024-00146-7>

Furht, B. (2008). *Encyclopedia of Multimedia: 2nd Edition*. Springer.

Gaer, S. in Reyes, K. (2022). Finally, Some Guidance! Using the Triple E Framework to Shape Technology Integration. *Adult Literacy Education*, 4(3), 34–40. <http://doi.org/10.35847/SGaer.KReyes.4.3.34>

Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), 37. <https://doi.org/10.3390/mti5070037>

Gomes, A., in Dias, J. G. (2025). Digital Divide in the European Union: A Typology of EU Citizens. *Social Indicators Research*, 176(1), 149–172. <https://doi.org/10.100>

7/s11205-024-03452-2

Gospodarska zbornica Slovenije. (2025). Poročilo digitalnega desetletja za leto 2024: Stanje v Sloveniji je zaskrbljujoče. <https://www.gzs.si/Default.aspx?TabId=17134&ArticleId=88615&=porocilo-digitalnega-desetletja-za-leto-2024-stanje-v-sloveniji-je-zaskrbljujoce&language=sl-SI>

Gottschalk, F. in Weise, C. (2023). Digital Equity and Inclusion in Education: An Overview of Practice and Policy in OECD Countries. *OECD Education Working Papers*, (299), 1-75.

Grah, J., Kruh, J., Vovk - Ornik, N., in Rogič Ožek, S. (2019). Raznolikost v vrtcu in šoli: Priročnik za vzgojitelje, učitelje in druge strokovne delavce. Zavod Republike Slovenije za šolstvo.

Grand View Research. (2024). Extended Reality Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2024–2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/extended-reality-xr-market-report>

Groen, E. L. in Bos, J. E. (2008). Simulator Sickness Depends on Frequency of the Simulator Motion Mismatch: An Observation. *Presence*, 17(6), 584–593. <https://doi.org/10.1162/pres.17.6.584>

Hargittai, E. (2002). Second-Level Digital Divide: Differences in People's Online Skills. *First Monday*, 7(4). <https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942>

Hartup, W. W. (1998). The Company They Keep: Friendships and Their Developmental Significance. V A. Campbell, S. Muncer (Ur.), *The Social Child* (str. 143–163). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315784748>

Heim, M. (1998). *Virtual Realism*. Oxford University Press. https://www.researchgate.net/publication/238791962_Virtual_Realism

Heller, B. in Bar-Zeev, A. (2021). The Problems with Immersive Advertising: In AR/VR, Nobody Knows You Are an Ad. *Journal of Online Trust and Safety*, 1(1). <https://doi.org/10.54501/jots.v1i1.21>

Hibbard, P. B., Van Dam, L. C. in Scarfe, P. (2020). The Implications of Interpupillary Distance Variability for Virtual Reality. V 2020 International Conference on 3D Immersion (IC3D) (str. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IC3D51119.2020.9376369>

Hite, R. L., Jones, M. G., Childers, G. M., Ennes, M., Chesnutt, K., Pereyra, M. in Cayton, E. (2019). Investigating Potential Relationships Between Adolescents' Cognitive Development and Perceptions of Presence in 3-D, Haptic-Enabled, Virtual Reality Science Instruction. *Journal of Science Education and Technology*, 28(3), 265–284. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9764-y>

Holmes, W., Anastopoulou, S., Schaumburg, H., in Mavrikis, M. (2018). Technology-Enhanced Personalised Learning: Untangling the Evidence. The Robert Bosch Stiftung. https://www.researchgate.net/publication/364784665_Technology-enhanced_Personalised_Learning_Untangling_the_Evidence#pf11

Hung, C., Lin, Y., Yu, S. in Sun, J. (2023). Effects of AR- and VR-Based Wearables in Teaching English: The Application of an ARCS Model-Based Learning Design to Improve Elementary School Students' Learning Motivation and Performance. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(5), 1510–1527. <https://doi.org/10.1111/jcal.12814>

Hussein, H., Ali, M., Al-Hashimi, M., Majeed, N., Hameed, Q. in Ismael, R. (2023). The Effect of Web Augmented Reality on Primary Pupils' Achievement in English. *Applied System Innovation*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/asi6010018>

Javanshir, A., Nguyen, T. T., Mahmud, M. A. P., in Kouzani, A. Z. (2022). Advancements in Algorithms and Neuromorphic Hardware for Spiking Neural Networks. *Neural Computation*, 34(6), 1289–1328. https://doi.org/10.1162/neco_a_01499

Hyman Jr, I. E., Husband, T. H., in Billings, F. J. (1995). False Memories of Childhood Experiences. *Applied Cognitive Psychology*, 9(3), 181–197. <https://doi.org/10.1002/acp.2350090302>

Jedrinović, S. (Ur.). (2025). UI v izobraževanju na UL: Razvoj podpornega sistema za učitelje in študente na področju vključevanja IKT in sodobnih tehnoloških rešitev v pedagoški proces. Center UL za uporabo IKT v pedagoškem procesu. <https://www.uni-lj.si/assets/Center-Digitalna-UL/Pristopi/Smernice-UI-v-izobrazevanju/Porocilo-UI-v-izobrazevanju-pregled-stanja-in-metodologija.pdf>

Jedrinović, S., Nemanič, T., Žabkar Šalić, A., Bevčič, M., Vogrinc, J., Metljak, M., Nančovska Šerbec, I., Rugelj, J., Kristl, N., Podgornik, V., Radovan, M., Papić, M., Žurbi, R., Pratnemer, A., Bešter, J., Zorko, V., Danko, M., Keržič, D., Dečman, M., Grohar, M., Leskošek, B., Dimec, J., Ferk Savec, V. (2020). Smernice za didaktično uporabo IKT na različnih študijskih področjih. Ljubljana: Univerza v Ljubljani. <https://www.uni-lj.si/assets/Projektna-pisarna/Projekti-2014-2020/Digitalna-UL-z-inovativno-uporabo-IKT-do-odlicnosti/Smernice-za-didakticno-uporabo-IKT.pdf>

Johnson, L., Levine, A., Smith, R., in Stone, S. (2010). The 2010 Horizon Report. New Media Consortium.

Joskowicz, J. (2023). A Historical and Current Review of Extended Reality Technologies and Applications. *TechRxiv*. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.24716454.v1>

Kahneman, D. (2016). *Razmišljanje, hitro in počasno*. UMCO d. d.

Khan, S. (2024). *Brave New Words: How AI Will Revolutionize Education (and Why That's a Good Thing)*. Viking, an Imprint of Penguin Random House LLC.

Koehler, M., in Mishra, P. (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70. <https://citejournal.org/volume-9/issue-1-09/general/what-is-technological-pedagogical-content-knowledge>

Koehler, M. J., Mishra, P., in Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>

Koole, M., Smith, M., Traxler, J., Adam, T., in Footring, S. (2024). Decolonising Educational Technology. *Education Sciences*, 14(10), 1070. <https://doi.org/10.3390/educsci14101070>

Kovač, N., Žmija, K., Kumar Roy, J., Kusa, R., in Duda, J. (2021). Digital Divide in the European Union (Working paper). ODDEA – Overcoming Digital Divide in Europe and Southeast Asia.

Laboratorij za računalniško grafiko in multimedije na UL FRI (2025). LingoVerse – The ultimate German learning adventure! Meta Quest Store. <https://www.meta.com/en-gb/experiences/lingoverse/9191855904260607/>

Lang, J., Guo, Z., in Huang, S. (2024). A comprehensive Study on Quantization Techniques for Large Language Models (arXiv:2411.02530). ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2411.02530>

Lee, H. in Lee, J. (2021). The Effect of Elementary School Soccer Instruction Using Virtual Reality Technologies on Students' Attitudes toward Physical Education and Flow in Class. *Sustainability*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063240>

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Welteck, S., Yih, W., Kustikov, T., Rocktäschel, T., Riedel, S., in Kiela, D. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks [Preprint]. ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2005.11401>

Li, W., Feng, Q., Zhu, X., Yu, Q. in Wang, Q. (2023). Effect of Summarizing Scaffolding and Textual Cues on Learning Performance, Mental Model, and Cognitive Load in a Virtual Reality Environment: An Experimental Study. *Computers & Education*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104793>

Liao, C., Wu, W., Gunawan, V. in Chang, T. (2024). Using an Augmented-Reality Game-Based Application to Enhance Language Learning and Motivation of Elementary School EFL Students: A Comparative Study in Rural and Urban Areas. *Asia-Pacific Education Researcher*, 33(2), 307–319. <https://doi.org/10.1007/s40299-023-00729-x>

Liarokapis, F., Milata, V. In Skola, F. (2024). Extended Reality Educational System with Virtual Teacher Interaction for Enhanced Learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(9), 83. <https://doi.org/10.3390/mti8090083>

Liu, Y., Cao, J., Liu, C., Ding, K., in Jin, L. (2024). Datasets for Large Language Models: A Comprehensive Survey (arXiv:2402.18041). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2402.18041>

Liu, R., Wang, L., Koszalka, T. in Wan, K. (2022). Effects of Immersive Virtual Reality Classrooms on Students' Academic Achievement, Motivation and Cognitive Load in Science Lessons. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(5), 1422–1433. <https://doi.org/10.1111/jcal.12688>

Łuczak, K., Greńczuk, A., Chomiak-Orsa, I., in Piwoni-Krzeszowska, E. (2024). Enhancing Academic Tutoring with AI – A Conceptual Framework. *Procedia Computer Science*, 246, 5555–5564. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.709>

Maas, M. J., in Hughes, J. M. (2020). Virtual, Augmented and Mixed Reality in K–12 Education: A Review of the Literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231–249. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1737210>

Makovec Radovan, D. (2025). Načrtovanje in izvajanje kompetenčno zasnovanih programov v poklicnem in strokovnem izobraževanju: Metodološki priručnik. Center RS za poklicno izobraževanje.

Mali, D. (Ur.). (2024). Izhodišča za pripravo izobraževalnih programov nižjega in srednjega poklicnega izobraževanja ter programov srednjega strokovnega izobraževanja. Center RS za poklicno izobraževanje.

Mandič, S. (2015). Opolnomočenje kot nova paradigma spreminjanja družbe in potencial v Sloveniji. *Teorija in praksa*, 52(5), 825–843.

Mangina, E. (2021). White Paper-The IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR) Report–Extended Reality (XR) Ethics in Education. *The IEEE Global Initiative on Ethics of Extended Reality (XR) Report–Extended Reality (XR) Ethics in Education*, 1–27.

Manuri, F., in Sanna, A. (2016). An Overview of Augmented Reality. *Information*, 7(4), Article 52. <https://doi.org/10.3390/info7040052>

Makransky, G., in Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>

Marks, A., Weser, V., Caruso, T. J., Persky, S., Homer, A., Gold, J., Williamson, E. in Hieftje, K. (2025). AMXRA Guidelines on Extended Reality and Children: Considerations and Recommendations for Application Development and Use. *Journal of Medical Extended Reality*, 2(1), jmedxr-2024. <https://doi.org/10.1089/jmedxr.2024.0054>

Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., in Sgouropoulou, C. (2021). A Framework for Personalized Fully Immersive Virtual Reality Learning Environments with Gamified Design in Education. V *Novelties in Intelligent Digital Systems* (str. 95–104). IOS Press. 10.3233/FAIA210080

Marougkas, A., Troussas, C., Krouska, A., in Sgouropoulou, C. (2024). How Personalized and Effective is Immersive Virtual Reality in Education? A Systematic Literature Review for the Last Decade. *Multimedia Tools and Applications*, 83(6), 18185–18233. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15986-7>

Martens, M. A., Antley, A., Freeman, D., Slater, M., Harrison, P. J. in Tunbridge, E. M. (2019). It Feels Real: Physiological Responses to a Stressful Virtual Reality Environment and its Impact on Working Memory. *Journal of Psychopharmacology*, 33(10), 1264–1273. <https://doi.org/10.1177/0269881119860156>

McKinsey Global Institute. (2023). The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-nex>

t-productivity-frontier

Memon, Q. A., Al Ahmad, M., in Pecht, M. (2024). Quantum Computing: Navigating the Future of Computation, Challenges, and Technological Breakthroughs. *Quantum Reports*, 6(4), 627–663. <https://doi.org/10.3390/quantum6040039>

Milgram, P., in Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.

Mishra, P., in Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>

Mourtzis, D., Angelopoulos, J. in Panopoulos, N. (2022). A Teaching Factory Paradigm for Personalized Perception of Education Based on Extended Reality (XR). V Proceedings of the 12th conference on learning factories (CLF 2022). <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4071876>

Naveed, H., Khan, A. U., Qiu, S., Saqib, M., Anwar, S., Usman, M., Akhtar, N., Barnes, N., in Mian, A. (2024). A Comprehensive Overview of Large Language Models (arXiv:2307.06435). ArXiv. <https://arxiv.org/abs/2307.06435>

Novosel, N., in McCrone, F. (2024,). XR Technologies are Redefining Business and Climate Strategies. Here's How. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2024/09/xr-technologies-redefining-business-climate-strategies-innovation/>

NVIDIA. (2025a). What is Retrieval-Augmented Generation, aka RAG? NVIDIA Blog. <https://blogs.nvidia.com/blog/what-is-retrieval-augmented-generation/>

NVIDIA. (2025b). NVIDIA DGX Spark Specifications. <https://www.nvidia.com/en-us/products/workstations/dgx-spark/>

NVIDIA. (b. d.). GeForce RTX 5090. <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/graphics-cards/50-series/rtx-5090/>

OECD. (2025). An Immersive Technologies Policy Primer (OECD Digital Economy Papers, No. 373). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/cf39863d-en>

Pai, K. C., Kuo, B. C., Liao, C. H. in Liu, Y. M. (2021). An Application of Chinese Dialogue-Based Intelligent Tutoring System in Remedial Instruction for Mathematics Learning. *Educational Psychology*, 41(2), 137–152. <https://doi.org/10.1080/01443410.2020.1731427>

Papalia, D., Olds, S. in Feldman, R. (2008). *Human Development*. New York, McGraw-Hill.

Park, S. (2017). *Digital Capital*. Palgrave MacMillan.

Pečnik, K. (2025). Merjenje uporabniške izkušnje in uporaba obogatene resničnosti za izboljšanje dostopnosti za gluhe in naglušne pri radiodifuzni distribuciji multimedij-skih vsebin. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani: Fakulteta za elektrotehniko.

- Piaget, J. (1954). *The Construction of Reality in the Child*. Basic Books.
- Piaget, J. (1972). Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. *Human Development* 15(1), 1–12. <https://www.jstor.org/stable/26763966>
- Pohle, J., in Thiel, T. (2020). Digital Sovereignty. *Internet Policy Review*, 9(4). <https://doi.org/10.14763/2020.4.1532>
- PoVeJMo. (2025). Slovenski veliki jezikovni model. <https://zbiranje.povejmo.si/>
- PowerSchool (2021). SAMR Model: A Practical Guide for K-12 Classroom Technology Integration. <https://www.powerschool.com/blog/samr-model-a-practical-guide-for-k-12-classroom-technology-integration/>
- Pratama, P. Y. S. (2022). Viewing Technology Integration in Current Classroom Through Triple-E Framework. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 3, 12–17. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v3i.258>
- Raposo, R., Vairinhos, M., Laska-Leśniewicz, A. in Sztobryn-Giercuskiewicz, J. (2023). Increasing Awareness and Empathy Among University Students Through Immersive Exercises—Testing of the Virtual Reality Application: A Pilot Study. *Medycyna Pracy. Workers' Health and Safety*, 74(3), 187–197. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01391>
- Reason, J. T. in Brand, J. J. (1975). *Motion Sickness*. Academic Press.
- Redecker, C., in Punie, Y. (2018). Evropski okvir digitalnih kompetenc izobraževalcev: DigCompEdu. Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo. 10.2760/159770, JRC107466
- Roberts, M. (2025). The AI Bubble and the US Economy. *The Next Recession*. <https://thenextrecession.wordpress.com/>
- Rubin, K. H., Bukowski, W. in Parker, J. G. (2006). Peer Interactions, Relationships, and Groups. *Handbook of Child Psychology*, 3(5), 619–700.
- Russell, S. J., in Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Rutten, N., in Brouwer-Truijten, K. (2025). Defining XR-Specific Teacher Competencies: Extending the DigCompEdu Framework for Immersive Education. *Trends in Higher Education*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.3390/higheredu4010011>
- Sala, N. (2021). Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Education: A Brief Overview. V D. H. Choi, A. Dailey-Hebert, E. J. Simmons (Ur.). *Current and Prospective Applications of Virtual Reality in Higher Education* (str. 48–73). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4960-5.ch003>
- Salles, J. C., in Roth, D. (2023). How Immersive Experiences Can Help Close the Digital Divide. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2023/01/davos23-immersive-experiences-close-digital-divide/>

Satyadhar, J. (2025). Comprehensive Review of AI Hallucinations: Impacts and Mitigation Strategies for Financial and Business Applications. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 14(6), 38–50.

Segovia, K. Y. in Bailenson, J. N. (2009). Virtually True: Children's Acquisition of False Memories in Virtual Reality. *Media Psychology*, 12(4), 371–393. <https://doi.org/10.1080/15213260903287267>

Selwyn, N. (2019). *Should Robots Replace Teachers? AI and the Future of Education*. John Wiley & Sons.

Sharma, R. (2021). Extended Reality: It's Impact on Education. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 12(12). https://www.researchgate.net/publication/357448911_Extended-Reality-Its-Impact-on-Education

Sheets, A. (2025). Who Will fund AI's \$3 Trillion ask? In *Thoughts on the Market*. Morgan Stanley. <https://www.morganstanley.com/insights/podcasts/thoughts-on-the-market/who-will-fund-ai-s-3-trillion-ask>

Shen, X. in Shirmohammadi, S. (2008). Virtual and Augmented Reality. V B. Furht (Ur.) *Encyclopedia of Multimedia* (str. 962–967). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78414-4_253

Shi, A., Wang, Y. in Ding, N. (2019). The Effect of Game-Based Immersive Virtual Reality Learning Environment on Learning Outcomes: Designing an Intrinsic Integrated Educational Game for Pre-Class Learning. *Interactive Learning Environments*, 30(4), 721–734. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1681467>

Shin, D. (2018). Empathy and Embodied Experience in Virtual Environment: To What Wxtent Can Virtual Reality Stimulate Empathy and Embodied Experience? *Computers in Human Behavior*, 78, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.09.012>

Shulman, S. L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>

Skulmowski, A. (2023). Ethical Issues of Educational Virtual Reality. *Computers & Education: X Reality*, 2, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100023>

Sora-Domenjó, C. (2022). Disrupting the “Empathy Machine”: The Power and Perils of Virtual Reality in Addressing Social Issues. *Frontiers in Psychology*, 13, 814565. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.814565>

Spronk, M. in Jonkman, L. M. (2012). Electrophysiological Evidence for Different Effects of Working Memory Load on Interference Control in Adolescents Than Adults. *International Journal of Psychophysiology*, 83(1), 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.019>

Statistični urad Republike Slovenije (SURS). (2021). *Uporaba interneta v gospodinjstvih in pri posameznikih, podrobni podatki, 2021*. <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/10255>

Statistični urad Republike Slovenije (SURS). (2022). *Uporaba interneta v gospodinj-*

- stvih in pri posameznikih, 2022. <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/10572>
- Start:up Slovenija. (2025). Astra AI wins Slovenian Startup of the Year 2025. Start:up Slovenija. <https://www.startup.si/en-us/news/astra-ai-wins-slovenian-startup-of-the-year-2025>
- Steinberg, L. (2007). Risk Taking in Adolescence: New Perspectives from Brain and Behavioral Science. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 55–59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00475.x>
- Stojanov, A. (2023). Learning with ChatGPT 3.5 as a More Knowledgeable Other: An Autoethnographic Study. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00404-7>
- Sulisworo, D., Erviana, V., in Robi'in, B. (2023). Virtual Reality in Education: Designing Immersive and Inovative Learning Experiences. Yogyakarta: Penerbit K-Media. https://eprints.uad.ac.id/58600/1/Virtual%20Reality%20In%20Education_Dwi%20Sulisworo%2C%20dkk.pdf
- Tabrizi, M., Manshaee, G., Ghamarani, A. in Rasti, J. (2020). Comparison of the Effectiveness of Virtual Reality with Medication on the Memory of Attention Deficit Hyperactivity Disorder Students. *International Archives of Health Sciences*, 7(1), 37–42. https://doi.org/10.4103/iahs.iahs_66_19
- Tracxn. (b. d.). Astra AI. Tracxn. https://tracxn.com/d/companies/astra-ai/_P_HUGhmw-AB0AA1ym_cxbUH7U90_TIBWmDPcmRfpqh0
- Umer, F., Naved, N., Naseem, A., Mansoor, A. in Kazmi, S. M. R. (2025). Transforming Education: Tackling the Two Sigma Problem with AI in Journal Clubs – A proof of Concept. *BDJ Open*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41405-025-00338-4>
- UNESCO. (2019). Mobile Learning Week 2019: Deciphering the Impact of Artificial Intelligence on Education. <https://www.unesco.org/en/articles/mobile-learning-week-2019-deciphering-impact-artificial-intelligence-education>
- Van Dijk, J. (2020). *The Digital Divide*. Policy Press.
- Vlada Republike Slovenije. (2023). Digitalna Slovenija 2030: Krovna strategija digitalne preobrazbe Slovenije do leta 2030. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MDP/Dokumenti/DSI2030-potrjena-na-Vladi-RS_marec-2023.pdf
- Vygotsky, L. S. in Cole, M. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Yang, Y., Cai, S., Wen, Y., Li, J. in Jiao, X. (2021). AR Learning Environment Integrated with EIA Inquiry Model: Enhancing Scientific Literacy and Reducing Cognitive Load of Students. *Sustainability*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/su132212787>
- Zakon o spodbujanju digitalne vključenosti (ZSDV). (2022). Uradni list RS, št. 96/22. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAK08516>
- Zakon o varstvu osebnih podatkov (ZVOP-2). Uradni list RS, št. 163/22, 40/25 – ZInFV-1 in 10/26 – ZP-1L. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAK07959>

Zaman, A., Abir, M. R. in Mursalin, S. (2024). Extended Reality in Education and Training: Enhancing Trustworthiness. *Int. J. Sci. Res. Arch*, 11, 1705–1720. <https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.11.1.0206>

Združenje za informatiko in telekomunikacije. (2025). Pripombe, predlogi in dopolnitve na Akcijski načrt Strategije Digitalna Slovenija 2030 (Nacionalni strateški načrt za digitalno desetletje). *Gospodarska zbornica Slovenije*.

Zhi, Y., in Wu, L. (2023). Extended Reality in Language Learning: A Cognitive Affective Model of Immersive Learning Perspective. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1109025>

Zhou, J., in Chen, R. (2025). NVIDIA DGX Spark in-Depth Review: A New Standard for Local AI Inference. *LMSYS ORG*. <https://lmsys.org/blog/2025-10-13-nvidia-dgx-spark/>

Zhu, A., in Callison-Burch, C. (2025). Overhearing LLM Agents: A Survey, Taxonomy, and Roadmap [Preprint]. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/2509.16325>

Wahyudi, R. A., Leksono, I. P., in Rohman, U. (2023). The SAMR Model for the Development of Learning Device Innovations in the Subject of Applying Electronic Circuits. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Pembelajaran*, 10(3), 234–247. <https://doi.org/10.17977/um031v10i32023p234>

Ward, W., Cole, R., Bolaños, D., Buchenroth-Martin, C., Svirsky, E. in Weston, T. (2013). My Science Tutor: A Conversational Multimedia Virtual Tutor. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 1115. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0031589>

Webb, J. (2024). Educational Design of XR. *Newhouse Impact Journal*, 2(1), 8. <http://surface.syr.edu/newhouseimpactjournal/vol2/iss1/8>

Weech, S., Kenny, S. in Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and Cybersickness in Virtual Reality are Negatively Related: A Review. *Frontiers in Psychology*, 10, 158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>

Wen, Y. (2021). Augmented Reality Enhanced Cognitive Engagement: Designing Classroom-Based Collaborative Learning Activities for Young Language Learners. *ETR&D-Educational Technology Research and Development*, 69(2), 843–860. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09893-z>

Weser, V. U., Duncan, L. R., Sands, B. E., Schartmann, A., Jacobo, S., François, B. in Hieftje, K. D. (2021). Evaluation of a Virtual Reality E-Cigarette Prevention Game for Adolescents. *Addictive Behaviors*, 122, 107027. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2021.107027>

Wuang, Y., Chen, Y., Chiu, Y., Wang, C., Chen, C., Huang, C., Wu, T., Hsieh, T., in Ho, W. (2021). Effectiveness of Kinesthetic Game-Based Training System in Children With Visual-Perceptual Dysfunction. *IEEE Access*, 9, 153838–153849. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128109>

Xie, T., Li, Y. in Tang, Y. (2023). Effects of Using Immersive Virtual Reality for Science Education on Learning Outcomes: A Randomized Controlled Pilot Study. *IEEE Transac-*

tions on Learning Technologies, 16(6), 1045–1056. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3263587>

XR GURU. (2022). Using Extended Reality (XR) in the Classroom: A White Paper on Using (XR) Extended Reality in the Classroom. <https://www.xrguru.com/whitepapers/using-xr-extended-reality-in-the-classroom.pdf>

Kolofon

Uvajanje razširjene resničnosti v izobraževanje: od teorije do smernic za prakso

Avtorji

Maruša Laure, Špela Pučko, Adriana Anžel, Ivona Popović, Anja Pahor,
Tine Bertonceł, Klemen Pečnik

Urednici monografije

Maruša Laure, Žana Juvan

Lektura

Tina Sovič

Pregled preloma

Žana Juvan

Recenzija

Aleksandra Šindić-Radić, Maja Pušnik

Grafično oblikovanje

Žana Juvan

Založba

Založba FE

Ljubljana, 2026

TeachXR

Projekt TeachXR je usmerjen v raziskovanje in uvajanje tehnologij navidezne, obogatene in razširjene resničnosti (XR) v osnovno- in srednješolsko izobraževanje. V ospredje postavlja učitelje kot ključne nosilce sprememb, ki lahko s premišljeno uporabo tehnologije pomembno obogatijo učni proces.

Osrednji rezultat projekta predstavlja razvoj digitalnih učnih gradiv, vključno z interaktivnimi učbeniki, strokovnimi monografijami in XR vsebinami, ki nadgrajujejo obstoječe učne vire. Gradiva omogočajo bolj vizualno, prostorsko in interaktivno obravnavo učnih vsebin ter podpirajo bolj poglobljeno razumevanje zahtevnejših konceptov.

V okviru projekta so bila izvedena strokovna usposabljanja in praktične delavnice, v katerih so učitelji pridobili temeljna znanja za uporabo XR orodij ter razvoj lastnih učnih pristopov. Ta znanja predstavljajo osnovo za nadaljnje vključevanje XR tehnologij v vsakodnevno pedagoško prakso. Vzpostavljeni učni laboratoriji po Sloveniji dodatno omogočajo dostop do tehnologije, preizkušanje vsebin in nadaljnji razvoj kompetenc, hkrati pa spodbujajo sodelovanje in izmenjavo dobrih praks med učitelji.

TeachXR tako ne prinaša zgolj novih tehnologij, temveč vzpostavlja temelje za njihovo smiselno, trajnostno in dolgoročno vključevanje v izobraževalni proces.

Avtorji

Maruša Laure
Špela Pučko
Adriana Anžel
Ivona Popović
Anja Pahor
Tine Bertancel
Klemen Pečnik

Uredili

Maruša Laure
Žana Juvan

