



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet organizacije i informatike

Ivana Ružić

**Analiza učinka primjene čovjekolikog
roboata na motivaciju i ostvarenost ishoda
učenja u podučavanju informatike**

DOKTORSKI RAD

Mentor:
prof. dr. sc. Igor Balaban

Varaždin, 2026



University of Zagreb

Faculty of Organization and Informatics

Ivana Ružić

**Analysis of the Impact of Using a
Humanoid Robot on the
Motivation and Achievement of Learning
Outcomes in Computer Science
Education**

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
prof. dr. sc. Igor Balaban

Varaždin, 2026

prof. dr. sc. Igor Balaban

Igor Balaban redoviti je profesor na Fakultetu organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu, gdje je od 2004. godine aktivno uključen u znanstveni i nastavni rad. Predaje kolegije iz poslovne informatike, informacijskih sustava i e-učenja, vodi Laboratorij za napredne tehnologije u obrazovanju te obnaša dužnost glavnog urednika međunarodnog časopisa Journal of Information and Organizational Sciences (JIOS). Obnašao je niz rukovodećih pozicija, uključujući funkciju prodekana za znanost, međunarodnu suradnju i projekte, voditelja Povjerenstva za e-učenje te pročelinka Katedre za informatičke tehnologije i računarstvo. Vodio je ili sudjelovao u brojnim nacionalnim i međunarodnim inicijativama usmjerenima na digitalnu transformaciju obrazovanja, razvoj kompetencija nastavnika, unaprjeđenje okruženja za učenje i jačanje institucionalnih kapaciteta. Istraživački rad obuhvaća širok spektar tema iz područja obrazovnih tehnologija, uključujući razvoj i evaluaciju digitalnih kompetencija, sustava za potporu učenju, ePortfolio okvira, adaptivnih sustava za online procjenu znanja te metodologija koje omogućuju personalizirano, učinkovito i pedagoški usklađeno korištenje tehnologije u obrazovanju. U zadnjih nekoliko godina istraživački fokus uključuje primjenu naprednih tehnologija u nastavi, poput razvoja virtualnih agenata temeljenih na umjetnoj inteligenciji za okruženja kao što je Moodle, te korištenja čovjekolikih robota poput NAO-a u obrazovnom kontekstu.

Izjava o korištenju umjetne inteligencije

U izradi ove doktorske disertacije korišten je alat umjetne inteligencije ChatGPT (OpenAI) isključivo kao pomoć u jezičnoj doradi, oblikovanju i strukturiranju teksta.

Alat nije korišten za generiranje znanstvenih ideja, definiranje istraživačkog problema, izradu metodologije, analizu podataka niti interpretaciju rezultata. Svi znanstveni doprinosi, uključujući istraživački dizajn, obradu podataka i zaključke, rezultat su samostalnog rada autorice.

Autorica preuzima potpunu odgovornost za sadržaj disertacije te jamči njegovu točnost, izvornost i usklađenost s načelima akademske čestitosti.

Zahvala

Od srca zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Igoru Balabanu, na strpljenju, razumijevanju i neizmjernoj podršci tijekom cijeloga procesa izrade ove doktorske disertacije. Njegovo stručno vodstvo, poticajni savjeti i povjerenje bili su stalan oslonac i motivacija u trenucima izazova, ali i trenucima napretka. Ova disertacija uvelike je oblikovana njegovim znanjem, iskustvom i predanošću.

Posebnu zahvalnost upućujem ravnatelju I. osnovne škole Čakovec, Siniši Stričaku, prof., na otvorenosti, povjerenju i podršci tijekom provedbe istraživanja. Njegova spremnost da omogući realizaciju aktivnosti u školskom okruženju bila je ključna za ovaj rad te je uvelike pridonijela njegovoj uspješnoj provedbi.

Iskreno zahvaljujem i učiteljicama Maji Hižman, Maji Oltran i Ivani Vadjli na suradnji, strpljenju i predanosti. Njihova spremnost na uključivanje, fleksibilnost i profesionalnost bile su od iznimne važnosti za provedbu svih aktivnosti.

Zahvaljujem i lektorici Aniti Novak na pažljivom čitanju, jezičnoj doradi i vrijednim savjetima koji su pridonijeli jasnoći i kvaliteti teksta.

Najveću zahvalu upućujem učenicima koji su sudjelovali u istraživanju. Njihova znatiželja, otvorenost i entuzijazam dali su posebnu vrijednost ovome radu i potvrdili pravi smisao obrazovanja i istraživanja.

Posebno zahvaljujem roditeljima i svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci, strpljenju i razumijevanju tijekom svih faza ovoga zahtjevnog procesa. Njihovo povjerenje, ohrabrenje i ljubav bili su temelj moje ustrajnosti i motivacije za dovršetak ovoga rada.

Sažetak

Unatoč rastućem interesu za primjenu čovjekolikih robota u obrazovanju, još uvijek postoji nedostatak istraživanja koja sustavno ispituju povezanost motivacije učenika, njihovih stavova prema robotima i ishoda učenja. Ova disertacija usmjerena je na ispitivanje upravo tih odnosa u kontekstu primjene čovjekolikog robota u nastavi.

Cilj istraživanja bio je utvrditi u kojoj su mjeri pojedine dimenzije motivacije učenika i njihovi stavovi prema čovjekolikom robotu povezani s ostvarenjem ishoda učenja, kao i ispitati postojanje razlika između učenika koji sudjeluju u nastavi uz primjenu robota i onih koji sudjeluju u tradicionalnoj nastavi.

Istraživanje je provedeno na uzorku učenika osnovne škole primjenom kvantitativnoga istraživačkog pristupa. Podaci su prikupljeni pomoću anketnog upitnika za ispitivanje motivacije i stavova te testova znanja za mjerenje ishoda učenja. Analiza podataka uključivala je ispitivanje razlika između skupina te analizu povezanosti između promatranih varijabli.

Rezultati istraživanja pokazali su da su razlike između eksperimentalnih i kontrolnih skupina u većini slučajeva bile male i statistički neznčajne. Povezanosti između motivacije i ishoda učenja nisu dosljedno potvrđene, uz sporadične slabe do umjerene korelacije. Također, rezultati upućuju na to da stavovi učenika prema čovjekolikom robotu mogu biti povezani s njihovom motivacijom, dok njihova povezanost s ishodima učenja nije dosljedno potvrđena.

Doprinos ove disertacije očituje se u empirijskom ispitivanju odnosa između motivacije, stavova i ishoda učenja u kontekstu primjene čovjekolikih robota, kao i u razvoju istraživačkog okvira koji omogućuje njihovo integrirano promatranje. Dobiveni rezultati pružaju temelje za daljnja istraživanja te doprinose razumijevanju mogućnosti i ograničenja primjene robota u obrazovanju.

Prošireni sažetak

U uvodnome poglavlju polazi se od činjenice da se primjena čovjekolikih robota u obrazovanju sve više širi, ali da još uvijek nedostaju istraživanja koja istovremeno promatraju motivaciju učenika, njihove stavove prema robotima i ishode učenja. Upravo iz tog razloga definiran je cilj istraživanja, istraživačka pitanja i pripadajuće hipoteze. Također je predstavljen kontekst istraživanja, osnovne metodološke postavke te očekivani doprinos disertacije.

U drugome poglavlju prikazuje se pregled relevantnih teorijskih pristupa koji pomažu razumjeti motivaciju učenika, njihove stavove te prihvaćanje tehnologije u obrazovanju. Posebna pažnja posvećena je teorijama koje objašnjavaju kako učenici reagiraju na nove nastavne alate, poput čovjekolikih robota. Na temelju tog pregleda izdvojeni su ključni pojmovi i odnosi koji čine temelj istraživačkoga modela.

U trećemu poglavlju opisan je način provedbe istraživanja. Korišten je kvantitativni pristup, a podaci su prikupljeni na uzorku učenika osnovne škole. Za mjerenje motivacije i stavova korišten je anketni upitnik, dok su se ishodi učenja procjenjivali testovima znanja. Također je objašnjen postupak odabira sudionika, razvoj i prilagodba instrumenata te način analize podataka. Posebna pažnja posvećena je etičkim aspektima istraživanja.

U četvrtome poglavlju prikazani su rezultati istraživanja. Analizirane su razlike između eksperimentalnih i kontrolnih skupina, kao i povezanost između motivacije, stavova i ishoda učenja. Rezultati pokazuju da su razlike između skupina uglavnom male i statistički neznčajne. Istodobno povezanosti između motivacije i ishoda učenja nisu dosljedno potvrđene, uz sporadične slabe do umjerene korelacije između pojedinih dimenzija motivacije i postignuća. Također se pokazalo da stavovi učenika prema robotu mogu biti povezani s njihovom motivacijom, dok njihova povezanost s ishodima učenja nije uvijek bila jasno potvrđena.

U petome poglavlju rezultati se dodatno tumače i uspoređuju s postojećim istraživanjima. Raspravlja se o tome što dobiveni nalazi znače za razumijevanje uloge čovjekolikih robota u nastavi, osobito u kontekstu motivacije i angažmana učenika. Ističu se sličnosti i razlike u odnosu na ranija istraživanja.

U šestome poglavlju sažimaju se glavni zaključci te se naglašava doprinos disertacije. Posebno se ističe važnost promatranja motivacije, stavova i ishoda učenja kao međusobno povezanih

elemenata u obrazovnome procesu. Na kraju su navedena ograničenja istraživanja te prijedlozi za buduća istraživanja, osobito u smjeru dugoročnog praćenja učinaka primjene robota u obrazovanju.

Ključne riječi: čovjekoliki robot, motivacija, stavovi, ishodi učenja, obrazovanje, obrazovna robotika

Extended abstract

In the introductory chapter, the study starts from the observation that the use of humanoid robots in education is increasingly expanding, yet there is still a lack of research that simultaneously examines students' motivation, their attitudes toward robots, and learning outcomes. For this reason, the research aim, research questions, and corresponding hypotheses are defined. The research context, basic methodological framework, and expected contribution of the dissertation are also presented.

The second chapter provides an overview of relevant theoretical approaches that help to understand student motivation, their attitudes, and the acceptance of technology in education. Special attention is given to theories explaining how students respond to new instructional tools, such as humanoid robots. Based on this review, key concepts and relationships forming the foundation of the research model are identified.

The third chapter describes the research methodology. A quantitative approach was employed, and data were collected from a sample of primary school students. Motivation and attitudes were measured using a questionnaire, while learning outcomes were assessed through knowledge tests. The procedure for participant selection, instrument development and adaptation, and data analysis methods are also explained. Particular attention is given to the ethical aspects of the research.

The fourth chapter presents the research results. Differences between the experimental and control groups were analysed, as well as the relationships between motivation, attitudes, and learning outcomes. The results indicate that the differences between the groups were generally small and not statistically significant. Relationships between motivation and learning outcomes were not consistently confirmed, although occasional weak to moderate correlations were observed between certain dimensions of motivation and achievement. It was also found that students' attitudes toward the robot were associated with their motivation, whereas their relationship with learning outcomes was not consistently confirmed.

In the fifth chapter, the results are further interpreted and compared with existing research. The discussion focuses on the implications of the findings for understanding the role of humanoid robots in teaching, particularly in relation to student motivation and engagement. Similarities and differences in comparison with previous studies are highlighted.

The sixth chapter summarises the main conclusions and emphasises the contribution of the dissertation. Particular importance is given to understanding motivation, attitudes, and learning outcomes as interconnected elements of the educational process. Finally, the limitations of the study and suggestions for future research are presented, especially in terms of long-term monitoring of the effects of using robots in education.

Keywords: humanoid robot, motivation, attitudes, learning outcomes, education, educational robotics

Sadržaj

IZJAVA O KORIŠTENJU UMJETNE INTELIGENCIJE	I
ZAHVALA.....	II
SAŽETAK.....	III
PROŠIRENI SAŽETAK	IV
EXTENDED ABSTRACT	VI
SADRŽAJ	1
POPIS TABLICA	5
POPIS SLIKA.....	6
1 UVOD.....	7
1.1 Motivacija za istraživanje	8
1.2 Cilj istraživanja i istraživačka pitanja	10
1.3 Istraživački kontekst	10
1.4 Metodologija istraživanja	11
1.5 Znanstveni doprinos istraživanja	12
1.6 Struktura disertacije	13
2 RAZUMIJEVANJE MOTIVACIJE I STAVOVA UČENIKA U KONTEKSTU PRIMJENE ČOVJEKOLIKIH ROBOTA U OBRAZOVNIM AKTIVNOSTIMA – PREGLED PODRUČJA	14
2.1 Pregled relevantnih teorija i modela.....	14
2.1.1 Teorije relevantne za razumijevanje motivacije učenika	14
2.1.2 Teorije i konceptualni modeli relevantni za razumijevanje stavova učenika	17
2.1.3 Razumijevanje motivacije i stavova učenika u kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju	20
2.2 Pregled prethodnih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju	23

2.3 Povezanost pojedinih motivacijskih elemenata i stavova učenika s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikih robota u obrazovanju	30
2.3.1 Povezanost pojedinih motivacijskih elemenata s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikih robota u obrazovanju	30
2.3.2 Povezanost stavova učenika prema čovjekolikom robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom	33
2.4 Značaj istraživanja	36
3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	39
3.1 Istraživački pristup	39
3.2 Istraživački dizajn	41
3.3 Strategija uzorkovanja, formiranja skupina i opis sudionika	43
3.4 Instrumenti korišteni za prikupljanje podataka	44
3.4.1 Upitnik motivacije za obrazovne materijale (IMMS)	45
3.4.2 Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima (ERAS)	46
3.4.3 Testovi znanja za vrednovanje ishoda učenja.....	47
3.5 Valjanost i pouzdanost mjernih instrumenata	49
3.6 Proces prikupljanja podataka	50
3.7 Etička razmatranja	52
4 REZULTATI ISTRAŽIVANJA	54
4.1 Analiza učinka intervencije na motivaciju učenika	54
4.1.1 Provjera početne usporedivosti skupina	54
4.1.2 Ispitivanje pouzdanosti i valjanosti Upitnika motivacije za obrazovne materijale	56
4.1.2.1 Prilagodba mjernog instrumenta.....	57
4.1.2.2 Procjena mjernog instrumenta	57
4.1.2.3 Pouzdanost indikatora	58
4.1.2.4 Unutarnja konzistentnost konstrukata	59
4.1.2.5 Konvergentna valjanost	60
4.1.2.6 Diskriminantna valjanost.....	60
4.1.2.7 Zaključak o psihometrijskim svojstvima instrumenta	61
4.1.3 Testiranje hipoteze H1.....	61
4.1.3.1 Analiza ukupne motivacije.....	62
4.1.3.2 Analiza ukupne motivacije po dobnim skupinama sudionika	63
4.1.3.3 Rezultati t-testa za motivacijske konstrukte	64
4.1.3.4 Analiza motivacijskih konstrukata prema dobnim skupinama	65
4.1.3.5 Zaključak o testiranju hipoteze H1	67
4.2 Analiza učinka intervencije na ostvarenost ishoda učenja	68
4.2.1 Provjera početne usporedivosti skupina.....	68
4.2.2 Ispitivanje pouzdanosti mjernog instrumenta za provjeru znanja	68
4.2.3 Testiranje hipoteze H2.....	73
4.2.3.1 Dodatna analiza završnog postignuća	78

4.2.3.2 Zaključak o testiranju hipoteze H2	80
4.2.4 Testiranje hipoteze H3.....	83
4.2.4.1 Analiza normalnosti distribucije podataka	83
4.2.4.2 Rezultati t-testa za zavisne uzorke	84
4.2.4.3 Zaključak o testiranju hipoteze H3	85
4.3 Analiza povezanosti motivacije i ostvarenja ishoda učenja.....	86
4.3.1 Povezanost ukupne motivacije i ostvarenja ishoda učenja	87
4.3.2 Povezanost motivacijskih konstrukata i ostvarenja ishoda učenja	88
4.3.3 Analiza povezanosti motivacije i ishoda učenja po dobnim skupinama	89
4.3.4 Zaključak o povezanosti motivacije i ostvarenja ishoda učenja	91
4.4 Analiza povezanosti stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom	92
4.4.1 Ispitivanje pouzdanosti i valjanosti Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima.....	92
4.4.1.1 Prilagodba mjernog instrumenta.....	93
4.4.1.2 Procjena mjernog instrumenta	94
4.4.1.3 Pouzdanost indikatora	94
4.4.1.4 Unutarnja konzistentnost konstrukata	95
4.4.1.5 Konvergentna valjanost	96
4.4.1.6 Diskriminantna valjanost.....	96
4.4.1.7 Zaključak o psihometrijskim svojstvima instrumenta	98
4.4.2 Interpretacija testa normalnosti distribucije	98
4.4.3 Povezanost motivacije, stavova i ishoda učenja.....	100
4.4.4 Povezanost konstrukata stavova s motivacijom i ishodima učenja	100
4.4.5 Povezanost motivacije, stavova i ishoda učenja po dobnim skupinama sudionika.....	102
4.4.6 Zaključak o povezanosti stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom	104
5 RASPRAVA	105
5.1 Učinak primjene čovjekolikog robota na motivaciju učenika	105
5.2 Učinak primjene robota na ishode učenja	107
5.3 Promjena motivacije tijekom vremena	109
5.4 Povezanost motivacije i ishoda učenja	111
5.5 Povezanost stavova, motivacije i ishoda učenja.....	111
6 ZAKLJUČAK.....	113
6.1 Ograničenja istraživanja	114
6.2 Preporuke za buduća istraživanja.....	116
POPIS LITERATURE	117
PRILOZI.....	126

Prilog 1. Upitnik motivacije za obrazovne materijale	126
Prilog 2. Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima	127
Prilog 3. Početna provjera znanja 5. razred	128
Prilog 4. Druga provjera znanja 5. razred.....	132
Prilog 5. Treća provjera znanja 5. razred	134
Prilog 6. Četvrta provjera znanja 5. razred.....	135
Prilog 7. Završna provjera znanja 5. razred	137
Prilog 8. Početna provjera znanja 6. razred	139
Prilog 9. Druga provjera znanja 6. razred.....	143
Prilog 10. Treća provjera znanja 6. razred.....	146
Prilog 11. Četvrta provjera znanja 6. razred	148
Prilog 12. Završna provjera znanja 6. razred	150
Prilog 13. Početna provjera znanja 7. razred.....	154
Prilog 14. Druga provjera znanja 7. Razred	159
Prilog 15. Treća provjera znanja 7. razred.....	162
Prilog 16. Četvrta provjera znanja 7. razred	164
Prilog 17. Završna provjera znanja 7. razred	166
Prilog 18. Suglasnost roditelja za sudjelovanje u istraživanju	170
Prilog 19. Suglasnost ravnatelja za provođenje istraživanja	171
Prilog 20. Mišljenje etičkog povjerenstva	172
ŽIVOTOPIS AUTORICE S POPISOM OBJAVLJENIH RADOVA	173

Popis tablica

Tablica 1 Pregled istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju	26
Tablica 2 Raspodjela sudionika prema dobnim skupinama	44
Tablica 3 Početna usporedivost eksperimentalne i kontrolne skupine	55
Tablica 4 Faktorska opterećenja indikatora Upitnika motivacije za obrazovne materijale.....	58
Tablica 5 Pokazatelji unutarnje konzistentnosti i konvergentne valjanosti konstrukata	59
Tablica 6 HTMT omjeri za procjenu diskriminantne valjanosti konstrukata	60
Tablica 7 Rezultati t-testa ukupne motivacije i motivacijskih konstrukata u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)	62
Tablica 8 Rezultati t-testa ukupne motivacije prema dobnim skupinama sudionika u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)	63
Tablica 9 Rezultati t-testa u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)	65
Tablica 10 Prosječne vrijednosti i standardne devijacije konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale prema dobnim skupinama.....	65
Tablica 11 Rezultati jednosmjerne ANOVA analize konstrukata.....	66
Tablica 12 Pouzdanost provjera znanja – peti razred	69
Tablica 13 Pouzdanost provjera znanja – šesti razred.....	69
Tablica 14 Pouzdanost provjera znanja – sedmi razred	70
Tablica 15 Ishodi učenja po dobnim skupinama	71
Tablica 16 Sažetak rezultata mješovite analize varijance po dobnim skupinama.....	73
Tablica 17 Sažetak rezultata ANCOVA analize završnog postignuća.....	80
Tablica 18 Sažetak testiranja hipoteze H2	81
Tablica 19 Deskriptivni pokazatelji i rezultati t-testa za razlike između prvog (T1) i drugog (T2) mjerenja ukupne motivacije	84
Tablica 20 Test normalnosti distribucije za ukupnu motivaciju, motivacijske konstrukte i ishode učenja	86
Tablica 21 Spearmanovi koeficijenti korelacije između ukupne motivacije, motivacijskih konstrukata i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja	87
Tablica 22 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacijskih varijabli i bodova na završnoj provjeri znanja po dobnim skupinama sudionika	90
Tablica 23 Faktorska opterećenja indikatora Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima	95
Tablica 24 Pokazatelji unutarnje konzistentnosti i konvergentne valjanosti konstrukata.....	96
Tablica 25 HTMT omjeri za procjenu diskriminantne valjanosti konstrukata	97
Tablica 26 Test normalnosti distribucije za motivaciju, stavove i ishode učenja	99
Tablica 27 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacije, stavova i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja	100
Tablica 28 Spearmanovi koeficijenti korelacije između konstrukata stavova, motivacije i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja	101
Tablica 29 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacije, stavova i ostvarenih bodova po dobnim skupinama	102

Popis slika

Slika 1 PRISMA dijagram toka pregleda literature	24
Slika 2 Dizajn istraživanja	42
Slika 3 Tijek prikupljanja podataka	51
Slika 4 Box-plot prikaz distribucije rezultata početne provjere znanja u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini	56
Slika 5 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika petog razreda	74
Slika 6 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika šestih razreda	76
Slika 7 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika sedmih razreda.....	77
Slika 8 Raspršeni dijagram odnosa između ukupne motivacije i bodova na završnoj provjeri znanja	88
Slika 9 Heat mapa Spearmanovih korelacija između stavova, motivacije i ishoda učenja	103

1 UVOD

Obrazovanje prolazi kroz razdoblje intenzivnih promjena potaknutih ubrzanim razvojem informacijsko-komunikacijskih tehnologija (IKT), umjetne inteligencije (UI) i robotike. Ove tehnologije ne utječu samo na alate koji se koriste u nastavi, već postupno mijenjaju i način na koji razumijemo podučavanje i učenje. Umjesto tradicionalnog pristupa usmjerenog na prijenos znanja, sve se više naglašavaju interaktivni, personalizirani i iskustveni oblici učenja (Holmes i sur., 2019; Luckin i sur., 2016). U takvom kontekstu tehnologija prestaje biti isključivo pomoćno sredstvo te postaje aktivan sudionik nastavnog procesa koji može oblikovati iskustvo učenja na nove i drugačije načine.

Umjetna inteligencija omogućuje razvoj sustava koji mogu prepoznati potrebe učenika, analizirati njihove obrasce učenja i prilagoditi nastavne sadržaje u skladu s njima. Time se otvara prostor za individualizirani pristup učenju i učinkovitije podučavanje (Holmes i sur., 2019). Kada se takvi napredni sustavi povežu s robotikom, dobivaju i fizičku dimenziju, što omogućuje stvaranje bogatijih i neposrednih oblika interakcije u učionici. U tome se kontekstu razvijaju čovjekoliki roboti, namijenjeni za komunikaciju i suradnju s učenicima, koji mogu preuzeti različite uloge, od pomoćnika u podučavanju do suradnika u učenju i alata za učenje (Belpaeme i sur., 2018; Ružić i Balaban, 2024).

Čovjekoliki roboti svojim izgledom i ponašanjem učenicima dodatno približavaju tehnologiju. Njihova sposobnost govora, pokreta i izražavanja stvara dojam društvene prisutnosti, čime interakcija postaje prirodnija i učenicima prihvatljiva. Upravo ta dimenzija humanizacije tehnologije, u kojoj čovjekoliki robot nije samo uređaj nego sudionik interakcije, može imati važnu ulogu u poticanju motivacije i angažmana učenika. Kada se toj interakciji pridruže elementi igrifikacije, komunikacije i prilagodljivog ponašanja, čovjekoliki roboti dobivaju dodatan potencijal za stvaranje dinamičnog i poticajnog okruženja za učenje (Donnermann i sur., 2020; Ekström i Pareto, 2022).

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se čovjekoliki roboti koriste u različitim obrazovnim kontekstima, uključujući učenje jezika, razvoj računalnog razmišljanja, poticanje kreativnosti te razvoj društveno-emocionalnih vještina (Belpaeme i sur., 2018; Ružić i Balaban, 2024). Njihova primjena često je povezana s povećanim angažmanom učenika, većom razinom sudjelovanja u nastavi i pozitivnim stavovima prema učenju (Chen i sur., 2020; Donnermann i sur., 2020). Ipak,

važno je naglasiti da čovjekoliki roboti ne zamjenjuju nastavnika, već nadopunjuju njegovu ulogu, pružajući dodatnu podršku u organizaciji i provedbi nastavnih aktivnosti.

Unatoč prepoznatim prednostima, primjena čovjekolikih robota u obrazovanju otvara i niz važnih istraživačkih pitanja. Posebno se ističu pitanja vezana uz motivaciju učenika, njihovu percepciju tehnologije te utjecaj čovjekolikog robota na postizanje ishoda učenja. Iako postoje nalazi o pozitivnim učincima interakcije učenika i čovjekolikog robota, rezultati su često ograničeni kratkotrajnim istraživanjima i manjim uzorcima, što otežava donošenje općenitih zaključaka (Belpaeme i sur., 2018; Ružić i Balaban, 2024). Osim toga, još uvijek nije dovoljno jasno na koji način i u kojim uvjetima ti roboti najviše doprinose različitim aspektima procesa učenja.

Uz pedagoške dimenzije, sve veću važnost dobivaju i etička pitanja povezana s primjenom čovjekolikih robota u obrazovanju. Ona uključuju zabrinutosti vezane uz privatnost podataka, transparentnost rada sustava, mogućnost razvoja emocionalne povezanosti učenika s robotima te potencijalno smanjenje kvalitete ljudske interakcije (Newton i Newton, 2019; Serholt, 2019; Ružić i Balaban, 2024). Ova pitanja dodatno naglašavaju potrebu za promišljenim i odgovornim pristupom integraciji novih tehnologija u obrazovni sustav.

Iako interes za primjenu čovjekolikih robota u obrazovanju kontinuirano raste, ovo područje još uvijek nije dovoljno istraženo. Posebno nedostaju longitudinalna istraživanja koja bi omogućila dublje razumijevanje dugoročnih učinaka njihove primjene na učenje i razvoj učenika (Donnermann i sur., 2020), stoga postoji potreba za sustavnim istraživanjima koja će obuhvatiti pedagoške, tehnološke i etičke dimenzije njihove primjene. Polazeći od navedenoga, ova disertacija usmjerena je na istraživanje uloge čovjekolikih robota u obrazovanju, s posebnim naglaskom na njihov potencijal u poticanju motivacije, angažmana i ishoda učenja primjenom suvremenih pedagoških pristupa.

1.1 Motivacija za istraživanje

U posljednjih nekoliko desetljeća obrazovanje se intenzivno mijenja pod utjecajem digitalnih tehnologija. Tehnologija više nije samo sredstvo za prikazivanje sadržaja, već sve više postaje aktivan dio procesa učenja. U takvom okruženju postavlja se pitanje kako tehnologiju koristiti na način koji neće samo modernizirati nastavu, nego će doista unaprijediti učenje i potaknuti učenike na aktivno sudjelovanje (Holmes i sur., 2019; Luckin i sur., 2016).

Za razliku od većine digitalnih alata, čovjekoliki roboti ne djeluju samo kao „posrednici” sadržaja, već kao interaktivni suradnici u učenju. Oni komuniciraju, reagiraju i prilagođavaju se učenicima, što može stvoriti dinamiku u učionici u kojoj učenik nije pasivan primatelj informacija, već aktivan sudionik. Upravo zbog tih karakteristika čovjekoliki roboti, poput robota NAO, sve češće nalaze svoje mjesto u obrazovanju (Belpaeme i sur., 2018; Ružić i Balaban, 2024).

Dosadašnja istraživanja ukazuju na niz pozitivnih učinaka primjene čovjekolikih robota u nastavi. Učenici često pokazuju veći interes, angažman i zadovoljstvo učenjem kada sudjeluju u aktivnostima koje uključuju robote (Donnermann i sur., 2020; Chen i sur., 2020). Primjerice, istraživanja u području učenja jezika pokazuju da interakcija s robotom može potaknuti veću uključenost učenika i aktivnije sudjelovanje u komunikacijskim zadacima, dok u STEM području roboti mogu poticati razvoj računalnog razmišljanja i rješavanja problema (Belpaeme i sur., 2018). Također, pojedina istraživanja ukazuju na to da čovjekoliki roboti mogu podržavati pažnju učenika tijekom duljeg razdoblja i pridonijeti pozitivnijem iskustvu učenja (Serholt, 2019; Ružić i Balaban, 2024).

Međutim, iako je motivacijski učinak čovjekolikih robota relativno dobro dokumentiran, njihova stvarna vrijednost u pogledu postignuća u učenju nije uvijek jednoznačna. Neki nalazi prethodnih istraživanja pokazuju poboljšanja u učenju i razumijevanju sadržaja, dok neki ne pronalaze značajne razlike u usporedbi s tradicionalnim ili drugim digitalnim pristupima (Belpaeme i sur., 2018; Donnermann i sur., 2020). Ova neujednačenost rezultata može se objasniti različitim istraživačkim dizajnima, kratkim trajanjem intervencija te činjenicom da se mnoge studije provode u kontroliranim uvjetima koji se razlikuju od stvarnoga nastavnog okruženja.

Dodatan izazov predstavlja način na koji se istražuju ključni elementi učenja. Motivacija učenika, njihovi stavovi prema robotima i ishodi učenja često se analiziraju odvojeno, iako su međusobno snažno povezani. Istraživanja pokazuju da percepcija robota, uključujući stupanj njegove „društvenosti” i sličnosti s ljudima, može utjecati na razinu povjerenja, angažmana i spremnosti učenika na interakciju (Serholt, 2019). Učenik koji je motiviran, ali robota doživljava kao neprirodnog ili nepouzdanog suradnika, može imati drugačije iskustvo učenja u odnosu na učenika koji robota percipira kao zanimljivog i korisnog.

Upravo zbog toga javlja se potreba za integriranim pristupom istraživanju, koji istovremeno promatra motivaciju, stavove i ishode učenja. Takav pristup omogućuje dublje razumijevanje

načina na koji čovjekoliki roboti utječu na proces učenja te pod kojim uvjetima njihova primjena donosi najveću vrijednost.

Slijedom navedenoga, kao središnji problem ovoga istraživanja nameće se potreba za cjelovitim razumijevanjem odnosa između primjene čovjekolikih robota, motivacije učenika, njihovih stavova i ostvarenih ishoda učenja u stvarnome nastavnom okruženju.

1.2 Cilj istraživanja i istraživačka pitanja

Cilj je provedenoga istraživanja identificirati i objasniti učinak primjene čovjekolikog robota na motivaciju učenika i ostvarenost ishoda učenja te povezanost stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima učenja.

U skladu s tim postavljene su sljedeće hipoteze i istraživačka pitanja:

H1: Primjena čovjekolikog robota pozitivno utječe na motivaciju učenika.

H2: Primjena čovjekolikog robota dovodi do boljeg postizanja ishoda učenja.

H3: Nakon višetjedne interakcije učenika s robotom, motivacija učenika za rad u nastavi je veća.

IP1: Na koji su način pojedini motivacijski elementi povezani s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikog robota?

IP2: Na koji su način stavovi učenika prema robotu povezani s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom?

1.3 Istraživački kontekst

Istraživanje je provedeno u stvarnome školskom okruženju, u nastavi Informatike u jednoj osnovnoj školi u Republici Hrvatskoj. U istraživanju su sudjelovali učenici petih, šestih i sedmih razreda osnovne škole koji polaze nastavu Informatike i tri učiteljice. Učenici su primjenjivali čovjekolikog robota NAO za usvajanje ishoda iz obrazovnoga područja Računalno razmišljanje i programiranje prema nacionalnom kurikulumu za predmet Informatika. Riječ je o području koje

prirodno zahtijeva aktivno sudjelovanje, eksperimentiranje i rješavanje problema, pa je posebno pogodno za primjenu interaktivnih tehnologija.

Čovjekoliki robot NAO obogaćen AI modulom u ovome je istraživanju bio više od dodatka nastavi. Učenici su s njim komunicirali, dobivali upute, rješavali zadatke i sudjelovali u aktivnostima u kojima je robot bio aktivan dio procesa. Time se nastojalo stvoriti okruženje u kojemu čovjekoliki robot ima stvarnu pedagošku ulogu, a ne samo demonstracijsku. Kako bi se izbjegao utjecaj početnog oduševljenja tehnologijom, učenici su prije početka istraživanja imali priliku upoznati robota i njegov način rada u nastavi Engleskoga jezika. Time se nastojalo osigurati da rezultati istraživanja odražavaju stvaran učinak robota, a ne samo njegovu novost. Također, primjena robota u nastavi Engleskoga jezika omogućila je identificiranje mogućih tehničkih poteškoća i izazova primjene robota u nastavi te razvoj strategija za njihovo rješavanje.

Istraživanje je provedeno kao kvazi-eksperiment, s eksperimentalnom i kontrolnom skupinom, što je omogućilo usporedbu različitih pristupa učenju u realnim uvjetima.

1.4 Metodologija istraživanja

Istraživanje se temelji na kvantitativnom pristupu, pri čemu se ključni elementi učenja (motivacija, stavovi i ishodi) promatraju kao mjerljive varijable. Takav pristup omogućuje sustavno prikupljanje i analizu podataka te donošenje zaključaka temeljenih na empirijskim pokazateljima. Motivacija učenika mjerena je Upitnikom motivacije za obrazovne materijale temeljenim na ARCS modelu, koji obuhvaća dimenzije pažnje, relevantnosti, povjerenja i zadovoljstva. Stavovi učenika prema robotu ispitani su primjenom Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima, dok su ishodi učenja procijenjeni testovima znanja i zadacima integriranim u nastavne aktivnosti.

Istraživanje je uključivalo početno i završno mjerenje, kao i praćenje postignuća kroz više vremenskih točaka, čime je omogućeno praćenje promjena tijekom procesa učenja. Takav longitudinalni pristup omogućuje dublji uvid u razvoj motivacije i postignuća učenika, a ne samo njihovo stanje u jednoj vremenskoj točki.

U skladu s time, metodološki okvir istraživanja dodatno je razrađen postupcima provjere pouzdanosti i valjanosti mjernih instrumenata te primjenom odgovarajućih statističkih analiza. Pouzdanost i valjanost Upitnika motivacije za obrazovne materijale i Ljestvice stavova prema

obrazovnim robotima procijenjene su primjenom PLS-SEM pristupa, uključujući analizu faktorskih opterećenja, unutarnje konzistentnosti i konvergentne i diskriminantne valjanosti. Rezultati su pokazali zadovoljavajuća psihometrijska svojstva instrumenta, što omogućuje pouzdano mjerenje motivacije, stavova i njihovih elemenata. Pouzdanost testova znanja procijenjena je primjenom Cronbachova alfa koeficijenta, pri čemu rezultati ukazuju na zadovoljavajuću unutarnju konzistentnost, dok je njihova valjanost osigurana povezanošću zadataka s konkretnim ishodima učenja.

Za ispitivanje razlika između skupina i promjena tijekom vremena primijenjene su različite statističke metode, uključujući t-testove, jednosmjernu analizu varijance (ANOVA) te mješovitu analizu varijance s ponovljenim mjerenjima. Posebno je važna primjena mješovite ANOVA analize, kojom je omogućeno istovremeno ispitivanje učinka vremena i pripadnosti skupini na postignuća učenika, kao i njihove međusobne interakcije. Dodatno, analiza povezanosti između varijabli provedena je kako bi se ispitali odnosi između motivacije, stavova učenika prema robotu i ostvarenih ishoda učenja. Time je omogućeno cjelovitije razumijevanje procesa učenja u kontekstu primjene čovjekolikog robota u nastavi.

Na taj je način metodološki pristup ovog istraživanja izravno usmjeren na ispitivanje složenih odnosa između ključnih elemenata učenja, čime se osigurava čvrsta poveznica između teorijskih polazišta, istraživačkog dizajna i dobivenih rezultata. Metodologija istraživanja detaljno je opisana u Poglavlju 3.

1.5 Znanstveni doprinos istraživanja

Znanstveni doprinos ovoga istraživanja proizlazi iz nastojanja da se primjena čovjekolikih robota u obrazovanju promatra na cjelovit način. Za razliku od većine dosadašnjih istraživanja, u kojima se motivacija, stavovi učenika i ishodi učenja najčešće promatraju odvojeno, u ovome se radu navedeni elementi promatraju zajedno. Takav pristup omogućuje dublje razumijevanje načina na koji su međusobno povezani u stvarnome procesu učenja. Dodatnu vrijednost istraživanju daje činjenica da je provedeno longitudinalno (nastavne aktivnosti u trajanju od 16 nastavnih sati po razrednom odjeljenju) u stvarnim nastavnim uvjetima, što dobivene rezultate čini bližima svakodnevnoj obrazovnoj praksi.

Originalnost rada posebno dolazi do izražaja u istraživanju uloge čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike, odnosno u domeni računalnog razmišljanja i programiranja. U fokusu je odnos između primjene robota, motivacije učenika, njihovih stavova prema robotu i ostvarenih ishoda učenja, što je u postojećim istraživanjima još uvijek nedovoljno istraženo. Time se doprinosi boljem razumijevanju utjecaja robota na učenje, ne samo povećanjem interesa i angažmana, već i konkretnim rezultatima učenika.

Doprinos rada očituje se i u metodološkom pristupu, koji uključuje prilagodbu i provjeru mjernih instrumenata u konkretnome obrazovnom kontekstu, kao i primjenu odgovarajućih statističkih postupaka za analizu odnosa među varijablama. Na praktičnoj razini, rezultati istraživanja mogu poslužiti kao smjernice nastavnicima pri donošenju odluka o primjeni čovjekolikih robota, uključujući robota NAO, u nastavi. Na taj način istraživanje povezuje teorijske spoznaje i stvarnu nastavnu praksu te doprinosi boljem razumijevanju uloge robotike u suvremenom obrazovanju.

1.6 Struktura disertacije

Disertacija je strukturirana u šest međusobno povezanih poglavlja koja prate logičan tijek istraživačkog procesa. U prvome poglavlju uvodi se u problematiku istraživanja te se definiraju predmet, svrha i ciljevi rada. Također se obrazlaže važnost istraživanja te se daje pregled strukture disertacije. Nakon uvodnoga poglavlja razmatraju se temeljni pojmovi, relevantne teorijske postavke i dosadašnja istraživanja u području rada. Posebna se pozornost posvećuje konceptima koji čine teorijsku osnovu istraživanja. Treće poglavlje posvećeno je metodološkom pristupu istraživanju. Opisuje se istraživački dizajn, uzorak, korišteni instrumenti te postupci prikupljanja i obrade podataka. U četvrtome poglavlju prikazuju se i analiziraju dobiveni rezultati istraživanja primjenom odgovarajućih statističkih metoda. U petome poglavlju prikazana je interpretacija rezultata provedenog istraživanja u kontekstu postojećih znanstvenih spoznaja. U završnome dijelu disertacije navode se najvažniji zaključci, raspravlja o ograničenjima istraživanja te se predlažu smjernice za buduća istraživanja i primjenu u praksi.

2 RAZUMIJEVANJE MOTIVACIJE I STAVOVA UČENIKA U KONTEKSTU PRIMJENE ČOVJEKOLIKIH ROBOTA U OBRAZOVNIM AKTIVNOSTIMA – PREGLED PODRUČJA

Motivacija i stavovi učenika predstavljaju temelj za razumijevanje načina na koji učenici percipiraju i reagiraju na obrazovne aktivnosti, a posebice kada je riječ o uvođenju tehnoloških inovacija. Obrazovna aktivnost u kojoj čovjekoliki robot postaje njezin aktivni sudionik, nije samo tehnološka novost, nego i psihološki događaj u kojem učenici istodobno prate i vrednuju vlastitu ulogu u učenju, postupke robota, kvalitetu interakcije s robotom i smisao same aktivnosti. Važno je stoga detaljno upoznati teorije koje opisuju motivaciju i stavove učenika u kontekstu obrazovanja kako bi se razumjelo na koji način učenici prihvaćaju, doživljavaju i vrednuju robotski posredovano učenje.

2.1 Pregled relevantnih teorija i modela

U okviru pregleda relevantnih teorija i modela najprije se razmatraju teorije koje objašnjavaju motivaciju i stavove učenika, a zatim i teorije i modeli koji ih smještaju u kontekst primjene čovjekolikih robota u obrazovanju.

2.1.1 Teorije relevantne za razumijevanje motivacije učenika

Motivacija se definira kao proces koji potiče, usmjerava i podržava aktivnost usmjerenu na ostvarivanje cilja (Pintrich i Schunk, 2002). U obrazovanju, motivacija određuje intenzitet, trajanje i kvalitetu uključenosti učenika u obrazovnu aktivnost. Ona se promatra kao skup unutarnjih i vanjskih čimbenika koji oblikuju emocionalne, kognitivne i ponašajne reakcije učenika. U kontekstu obrazovanja, motivaciju opisuju teorija samoučinkovitosti, teorija samoodlučivanja i teorija vrijednosti i očekivanja. Navedene teorije pojašnjavaju ulogu učenikovih uvjerenja o vlastitim sposobnostima, unutarnjih i vanjskih poticaja te percepcije očekivanog uspjeha i vrijednosti u procesu učenja.

Motivacija u kontekstu obrazovanja proizlazi iz tri ključna procesa: kognitivne procjene vlastitih sposobnosti, procjene vrijednosti obrazovne aktivnosti i emocionalne reakcije. Kognitivna procjena vlastitih sposobnosti temelji se na teoriji samoučinkovitosti, prema kojoj uvjerenja o vlastitim sposobnostima određuju opseg truda, ustrajnost i otpornost na neuspjeh (Bandura, 1997). Nadalje, procjena vrijednosti obrazovne aktivnosti podrazumijeva doživljaj njezine zanimljivosti, važnosti i korisnosti za učenika (Eccles i Wigfield, 2002). Treći ključni proces za motivaciju emocionalna je reakcija na obrazovnu aktivnost, pri čemu emocije poput radosti, nade ili anksioznosti izravno utječu na motivacijski potencijal aktivnosti (Pekrun i sur., 2002). Slijedom toga, motivacija postaje rezultat dinamične interakcije misli, emocija i uvjerenja o vlastitom djelovanju. U kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju, motivacija dodatno uključuje procjenu tehnološkog i društvenog aspekta interakcije. Primjena čovjekolikog robota u obrazovanju može povećati motivaciju učenika ako stvara osjećaj sigurnosti, kompetentnosti i podrške, ali je može i umanjiti ako kod učenika izaziva stres, nesigurnost ili nelagodu (Belpaeme i sur., 2018; Nomura i sur., 2006). Robotske intervencije istodobno izazivaju motivacijske i emocionalne procese, a njihov učinak ovisi o tome na koji način učenici doživljavaju robota kao obrazovni, tehnološki i društveni objekt.

Teorija samoodlučivanja razlikuje unutarnju (intrinzičnu) i vanjsku (ekstrinzičnu) motivaciju. Dok se unutarnja motivacija definira kao unutarnja želja za aktivnošću koja je sama po sebi zanimljiva i ugodna, vanjska motivacija usmjerena je na postizanje vanjskih ciljeva kao što su nagrade, pohvale ili izbjegavanje negativnih ishoda (Deci i Ryan, 1985). Učenje potaknuto unutarnjom motivacijom povezuje se s dubinskom obradom informacija, kreativnošću i dugoročnom predanošću (Ryan i Deci, 2000). Međutim, vanjska motivacija može biti jednako važna u početnim fazama učenja, a posebno kada je riječ o primjeni novih tehnologija koje učenici još u potpunosti ne razumiju. Čovjekoliki robot u obrazovanju može potaknuti unutarnju motivaciju kroz element novosti, koji se očituje u susretu učenika s neuobičajenim i tehnološki naprednim nastavnim pomagalom, interpersonalne signale poput pogleda, gesti, mimike, govorne intonacije i prilagodbe ponašanju učenika, neobičnu pojavnost, odnosno antropomorfni izgled i kretanje robota koji odstupaju od uobičajenih obrazovnih alata, te igrifikaciju, koja uključuje primjenu elemenata igre poput izazova, bodovanja, povratne informacije i nagrada. Istodobno, primjena čovjekolikog robota u obrazovanju može potaknuti vanjsku motivaciju ako se robot koristi kao izvor pohvala, povratnih informacija ili kao alat za strukturiranje i vođenje u izvršavanju obrazovnih aktivnosti,

čime se učenicima pružaju vanjski poticaji za sudjelovanje u učenju. Međutim, pretjerana primjena robota može dovesti do smanjenja osjećaja autonomije kod učenika, posebice ako robot preuzima dominantnu ulogu u regulaciji aktivnosti, što u skladu s teorijom samoodlučivanja može rezultirati umanjnjem interesa i unutarnje motivacije (Deci i Ryan, 1985). Naime, ako vanjski poticaji nadvladaju percepciju izbora i samostalnosti, učenje se može percipirati kao kontrolirano, a ne samoinicirano.

Teorija vrijednosti i očekivanja opisuje način na koji motivacija ovisi o uvjerenju učenika kako je obrazovnu aktivnost moguće uspješno izvršiti i o vrijednosti koju učenici pripisuju toj aktivnosti (Eccles i Wigfield, 2002; Fishbein i Ajzen, 1975). U robotski posredovanom učenju, očekivano uspješno izvršavanje obrazovne aktivnosti temelji se na sposobnosti robota da jasno komunicira i učenicima pruža podržavajuće povratne informacije (Keller, 2010). Ako robot doprinosi povećanju jasnoće obrazovne aktivnosti, povećavaju se i očekivanja učenika da će uspješno izvršiti aktivnost. Procjena vrijednosti obrazovne aktivnosti oblikuje se kroz emocije, interese i osobne ciljeve. Čovjekoliki robot može povećati subjektivnu vrijednost jer učenici interakciju s robotom doživljavaju kao zabavnu, relevantnu i jedinstvenu (Belpaeme i sur., 2018; Sharkey, 2016). Prisutnost robota u obrazovnoj aktivnosti može dodatno naglasiti percepciju njezine smislenosti, posebice u trenucima kada robot preuzima ulogu suradnika ili pomoćnika.

Prema teoriji samoučinkovitosti, osjećaj kompetencije određuje spremnost učenika na suočavanje s izazovima (Bandura, 1997). U robotski posredovanom učenju, samoučinkovitost se može povećati jer robot pruža mogućnost ponavljanja, ohrabrujuće komentare, personalizirane smjernice te učenicima pruža sigurnu zonu za učenje bez osude. Robot omogućuje učenicima da pogriješe bez izazivanja negativnih društvenih posljedica, što pozitivno utječe na uvjerenje učenika da mogu uspjeti. S druge strane, tehničke poteškoće prilikom interakcije s robotom, nedovoljno jasne upute ili robotska nepredvidivost mogu ugroziti osjećaj kompetencije i kod učenika izazvati frustraciju. Jednu od ključnih uloga u motivaciji učenika u kontekstu obrazovanja imaju emocije. Prema Pekrunu i suradnicima (2002), učenici tijekom učenja doživljavaju složen sustav emocija koje mogu poticati ili smanjiti njihov angažman. Prisutnost čovjekolikog robota u obrazovnim aktivnostima može izazvati radost, znatiželju i entuzijazam, ali i nelagodu, strah ili sumnju. Rezultati provedenih istraživanja pokazuju kako čovjekoliki roboti često potiču pozitivne emocije kada je interakcija s robotom jasno strukturirana, predvidljiva i u situacijama kada je ponašanje robota emocionalno toplije (Serholt i sur., 2014), dok negativne emocije nastaju ako robot djeluje

previše mehanički, zbunjujuće ili previše čovjekoliko na način koji narušava osjećaj sigurnosti (Nomura i sur., 2004).

Interes se promatra kao motivacijsko stanje koje proizlazi iz interakcije kognitivne i emocionalne privlačnosti aktivnosti. Robotski posredovano učenje često potiče situacijski interes zbog inovativnosti, interaktivnosti i društvenih karakteristika robota, dok dugoročni interes nastaje samo ako interakcija ostaje smisljena i povezana s učenikovim ciljevima (Kennedy i sur., 2015). Važno je razlikovati situacijski od dugoročnog interesa. Situacijski interes javlja se kao neposredna reakcija na obilježja aktivnosti, poput novosti, atraktivnosti i interaktivnosti čovjekolikog robota. On može privući pažnju učenika i potaknuti ih na aktivnije sudjelovanje u nastavnoj aktivnosti. Dugoročni interes razvija se postupno i podrazumijeva trajniju usmjerenost prema određenom sadržajnom području, uz veću osobnu važnost, dublje razumijevanje i spremnost na samostalno bavljenje tim sadržajem. Situacijski interes može biti polazište za razvoj dugoročnog interesa, ali se taj prijelaz ne događa sam od sebe. Za njegov razvoj važni su ponovljeni pozitivni doživljaji, osjećaj kompetentnosti, povezanost sadržaja s učenikovim ciljevima i postupno preuzimanje veće samostalnosti u učenju.

2.1.2 Teorije i konceptualni modeli relevantni za razumijevanje stavova učenika

Stavovi se opisuju kao stabilne, ali i promjenjive orijentacije prema objektima, pojavama ili iskustvima koje strukturiraju način na koji pojedinac doživljava i interpretira okolinu (Eagly i Chaiken, 1993). U obrazovnom kontekstu stavovi prema učenju, tehnologiji i inovacijama u obrazovanju snažno određuju angažman učenika, otvorenost prema promjenama i kvalitetu interakcija (Eagly i Chaiken, 1993; Venkatesh i sur., 2003). Prilikom primjene čovjekolikog robota u obrazovanju, stavovi postaju jedan od ključnih čimbenika koji određuju hoće li učenici robota doživjeti kao podršku, izazov, prijetnju ili neutralan tehnološki alat. Stavovi učenika prema robotu ne mogu se stoga promatrati samo kao mjerenje sklonosti ili nesklonosti, već je nužno dublje razumijevanje emocionalnih, kognitivnih i ponašajnih procesa koji se aktiviraju tijekom interakcije učenika s robotom.

Stavovi učenika prema čovjekolikom robotu u obrazovanju sastoje se od međusobno povezanih kognitivnih uvjerenja, emocionalnih reakcija i ponašajnih tendencija. Kognitivna komponenta uključuje uvjerenja o tome je li robot koristan, inteligentan, siguran ili pouzdan. Ta su uvjerenja često oblikovana prethodnim iskustvima, izloženošću tehnologiji, kulturom i društvenim

vrijednostima (Bartneck i sur., 2005). Primjerice, učenici koji su prethodno stekli iskustvo primjene napredne tehnologije, skloniji su robota u učionici doživljavati kao intuitivnog i korisnog, dok oni s ograničenim tehnološkim iskustvom mogu osjećati nesigurnost ili sumnju.

Afektivna dimenzija stava uključuje emocionalne reakcije kao što su simpatija, strah, povjerenje, znatiželja ili nelagoda (Nomura i sur., 2006). Prisutnost čovjekolikog robota u učionici, njegov glas, pokreti i mimika mogu snažno utjecati na emocionalni odgovor. Učenici se mogu osjećati oduševljeno zbog interakcije s čovjekolikim robotom koji komunicira na način sličan ljudskom, ali pojedinci s visokom razinom anksioznosti prema tehnologiji mogu osjećati stres ili zabrinutost. Učenici koji imaju pozitivan stav prema robotu spremniji su istraživati, slijediti upute i sudjelovati u robotski posredovanim aktivnostima, dok oni s negativnim stavovima mogu izbjegavati kontakt s robotom, smanjivati angažman ili se povlačiti u pasivno promatranje (Syrdal i sur., 2009).

Antropomorfizam, odnosno tendencija pripisivanja ljudskih sposobnosti i osobina robotima, jedan je od ključnih čimbenika koji utječu na oblikovanje stavova učenika prema čovjekolikim robotima u obrazovanju (Bartneck i sur., 2009). Umjereni antropomorfizam može povećati privlačnost robota jer ga učenici doživljavaju kao prijateljskog, predvidljivog i emocionalno prisutnog. Međutim, pretjerani antropomorfizam može izazvati nelagodu, posebno ako robot prelazi granicu poznatog ili očekivanog, takozvani *uncanny valley* fenomen. Čovjekoliki roboti često izazivaju pozitivne stavove jer njihov izgled olakšava pripisivanje namjera, razumijevanje gesta i emocionalno povezivanje. Međutim, to isto svojstvo kod nekih učenika može izazvati strah ili nesigurnost, osobito ako robot pokazuje geste koje učenik ne razumije ili robot reagira neočekivano.

Negativni stavovi prema robotima često proizlaze iz različitih oblika tehnološke anksioznosti (Nomura i sur., 2004). Anksioznost može imati kognitivne, emocionalne i društvene izvore. Kognitivna anksioznost javlja se kada učenici vjeruju da neće moći razumjeti robota ili da neće adekvatno odgovoriti na njegove upute. Emocionalna anksioznost uključuje strah od pogrešaka ili zabrinutost oko ponašanja robota. Društvena anksioznost nastaje kada učenici strahuju da će ih vršnjaci negativno procijeniti zbog načina na koji komuniciraju s robotom. Ova vrsta anksioznosti može smanjiti angažman i otežati sudjelovanje u aktivnostima, pa je njezino razumijevanje ključno za dizajn pedagoških intervencija koje smanjuju stres i povećavaju osjećaj sigurnosti.

Stavovi prema robotima u obrazovnom kontekstu mogu se tumačiti pomoću više različitih modela prihvaćanja tehnologije, osobito kroz Model prihvaćanja tehnologije (engl. *Technology Acceptance*

Model, skraćeno TAM), koji naglašava ulogu percipirane korisnosti i percipirane jednostavnosti korištenja u oblikovanju stavova i namjere korištenja tehnologije (Davis, 1993), te kroz Objedinjenu teoriju prihvaćanja i korištenja tehnologije (engl. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*, skraćeno UTAUT), koja dodatno uključuje čimbenike poput očekivanog učinka, očekivanog napora, društvenog utjecaja i olakšavajućih uvjeta (Venkatesh i sur., 2003). Prema navedenim modelima, percepcija korisnosti i jednostavnost korištenja glavni su prediktori stavova i konačnog prihvaćanja tehnologije. Učenici koji smatraju kako robot olakšava učenje, povećava angažman ili čini obrazovne aktivnosti zanimljivijima, razvijaju pozitivne stavove prema interakciji s robotom. Jednostavnost korištenja također je važan element stava. Doživljavaju li učenici robota kao intuitivnog, komunikativnog i predvidljivog sudionika obrazovnih aktivnosti, stavovi prema robotu postaju pozitivniji, ako pak učenici ne razumiju upute robota ili robot djeluje tehnički nepouzdan, stavovi mogu postati negativni.

Teorija društvene prisutnosti opisuje stupanj u kojem učenici tijekom interakcije s robotom doživljavaju njegovu prisutnost kao stvarnu, dostupnu i društveno relevantnu. Prema Biocci i suradnicima, društvena prisutnost nije isključivo svojstvo medija, već psihološki i perceptivni proces koji proizlazi iz interakcije tehnoloških obilježja, korisnikovih kognitivnih i emocionalnih reakcija te društvenog konteksta. Društvena prisutnost obuhvaća osjećaj međusobne povezanosti, svijest o robotu kao društvenom sudioniku te subjektivni doživljaj bliskosti i angažiranosti u komunikaciji (Biocca i sur., 2003). Time se teorija pomiče od jednostavnog razumijevanja prisutnosti kao *biti tamo* prema složenijem konceptu koji uključuje doživljaj društvene interakcije, recipročnosti i interpersonalne uključenosti, što je osobito relevantno u kontekstu naprednih interaktivnih tehnologija poput čovjekolikih robota.

Društveni utjecaj dodatno oblikuje stavove učenika s obzirom na to da oni promatraju stavove svojih vršnjaka, nastavnika i roditelja te se prilagođavaju dominantnim normama u vlastitom okruženju (Fishbein i Ajzen, 1975; Venkatesh i sur., 2003). Društvena prisutnost odnosi se na osjećaj da je druga strana, u ovom slučaju čovjekoliki robot, emocionalno i društveno prisutna u interakciji (Biocca i sur., 2003; Lee i Nass, 2005). Robot koji ima bogat raspon društvenih signala, poput pogleda, pokreta glave, gesti i glasa, stvara snažniji osjećaj društvene prisutnosti, što povećava pozitivne stavove učenika. Robot koji pokazuje toplinu, predvidljivost i razumijevanje, potiče emocionalnu privrženost, što potiče otvorenost prema učenju. Suprotno tome, robot koji djeluje neprijateljski, previše mehanički ili nepredvidljivo, može narušiti osjećaj društvene

sigurnosti i pojačati negativne stavove. Stavovi učenika prema robotu ovise i o kulturnim uvjerenjima i društvenim narativima. Istraživanja pokazuju kako društva s dugom tradicijom primjene robotske tehnologije, kao što je primjerice Japan, razvijaju pozitivnije stavove prema čovjekolikim robotima (Bartneck i sur., 2005). U kulturama gdje su roboti manje prisutni, stavovi mogu biti negativni. Kulturni narativi, posebno oni prikazani u medijima, oblikuju očekivanja i osjećaje učenika prema robotu te mogu određivati hoće li on biti percipiran kao simbol napretka ili opasnosti.

Stavovi se formiraju i mijenjaju interakcijom emocija, uvjerenja i iskustava. Emocionalno pozitivne interakcije s robotom jačaju pozitivne stavove, dok negativna iskustva mogu dugoročno narušiti spremnost učenika na ponovnu suradnju. Učenici rijetko stvaraju stavove na temelju jedne dimenzije; umjesto toga, stavovi se oblikuju kao rezultat cjelovitog procesa vrednovanja koji uključuje percepciju kompetentnosti, topline, pouzdanosti i korisnosti robota.

2.1.3 Razumijevanje motivacije i stavova učenika u kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju

Razumijevanje motivacije i stavova učenika u kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju zahtijeva povezivanje više teorijskih perspektiva jer robotski posredovano učenje nije linearan proces. Riječ je o složenom iskustvu u kojem se istodobno aktiviraju kognitivne procjene, emocionalne reakcije, društvene atribucije i tehnološke interpretacije. Učenici u interakciji s robotom procjenjuju vlastitu sposobnost rješavanja zadataka, tumače emocionalne i neverbalne signale robota, ocjenjuju njegovu pouzdanost i kompetentnost, uspoređuju iskustvo s prethodnim susretima s tehnologijom te oblikuju očekivanja o mogućim ishodima. Motivacija i stavovi pritom ne djeluju odvojeno, nego čine međusobno povezan sustav koji usmjerava angažman i određuje hoće li robotski posredovana aktivnost biti doživljena kao izazovna i poticajna ili kao stresna i besmislena.

Teorija samoodlučivanja naglašava kako su za kvalitetan angažman ključne tri temeljne psihološke potrebe: autonomija, kompetencija i povezanost (Deci i Ryan, 1985). U kontekstu primjene čovjekolikog robota, potreba za kompetencijom može se zadovoljiti kada robot daje jasne upute, strukturira zadatke i pruža pravovremenu povratnu informaciju koja učeniku omogućuje uvid u napredak. Autonomija se može poticati personalizacijom zadataka, mogućnošću izbora ili prilagodbom tempa rada, dok se povezanost razvija kada robot pokazuje toplinu glasa, usmjereni

pogled, gestikulaciju i empatijsko ponašanje (Belpaeme i sur., 2018). Kada su te potrebe zadovoljene, raste unutarnja motivacija, povećava se ustrajnost i oblikuju se pozitivni stavovi prema učenju uz pomoć robota.

Sustavni okvir za dizajn motivacijskih aspekata nastave pruža ARCS model Johna M. Kellera, koji motivaciju promatra kao element koji se može planirati i oblikovati (Keller, 1987a, 1987b, 2010). ARCS je akronim za četiri dimenzije: pažnju, relevantnost, povjerenje i zadovoljstvo. Model integrira spoznaje teorije očekivanja i vrijednosti, teorije samoučinkovitosti i teorije samoodlučivanja u praktičan okvir za planiranje i vrednovanje obrazovnih aktivnosti (Keller, 1987a, 2010). Polazišna je pretpostavka da se motivacija može sustavno poticati ako se nastava osmisli tako da privlači i održava pažnju, pokazuje osobnu vrijednost sadržaja, gradi realističnu vjeru u uspjeh te završava iskustvom postignuća i zadovoljstva.

Prva dimenzija, pažnja, odnosi se na načine privlačenja i održavanja interesa učenika. Keller razlikuje perceptivnu pažnju, istraživačku pažnju i varijabilnost (Keller, 1987b, 2010). Perceptivna pažnja uključuje elemente iznenađenja, promjenu dinamike ili korištenje različitih medija. Čovjekoliki roboti prirodno potiču ovu vrstu pažnje zbog svoje fizičke prisutnosti, pokreta i interaktivnosti. Istraživačka pažnja temelji se na poticanju znatiželje problemskim zadacima i otvorenim pitanjima, pri čemu robot može preuzeti ulogu vodiča ili suradnika u istraživanju. Varijabilnost podrazumijeva izbjegavanje monotonije kombiniranjem različitih aktivnosti, uključujući elemente igrifikacije, suradničke zadatke i problemske izazove. Međutim, pažnja nije sama sebi svrha; mora biti usmjerena prema kognitivno smislenoj obradi sadržaja kako bi se održala dugoročna motivacija.

Relevantnost, druga dimenzija ARCS modela, odnosi se na percepciju osobne vrijednosti sadržaja. Učenici su motiviraniji kada razumiju zašto nešto uče i kako će im to znanje koristiti u budućnosti (Keller, 1987b). Relevantnost se može povećati povezivanjem sadržaja s interesima učenika, njihovim ciljevima i stvarnim situacijama. U kontekstu primjene robota, to uključuje povezivanje nastavnih aktivnosti s razvojem digitalnih kompetencija, jezičnih vještina ili vještina iz STEM područja. Mogućnost izbora i prilagodba zadataka različitim motivacijskim profilima dodatno jačaju osjećaj smisla i uključenosti. Na taj način robot ne predstavlja samo tehnološku novost, nego postaje medij kojim učenici sadržaj doživljavaju primjenjivim i suvremenim.

Treća dimenzija, povjerenje, odnosi se na realističnu vjeru učenika u vlastitu sposobnost postizanja cilja. Povjerenje se gradi jasnom strukturom aktivnosti, postupnim povećanjem razine izazova i

konstruktivnom povratnom informacijom (Keller, 2010). Robot može pridonijeti ovoj dimenziji prilagodbom težine zadataka, nenametljivim ispravljanjem pogrešaka i poticanjem učenika bez stigmatizacije. Optimalna razina izazova posebno je važna jer prelagani zadaci smanjuju interes, a preteški izazivaju frustraciju. Kada učenici doživljavaju da njihov trud utječe na ishod, razvijaju veće samopouzdanje i spremnost na sudjelovanje.

Četvrta dimenzija, zadovoljstvo, odnosi se na emocionalni doživljaj nakon dovršetka aktivnosti. Keller razlikuje unutarnje zadovoljstvo, koje proizlazi iz osjećaja postignuća, i vanjsko zadovoljstvo, povezano s nagradama ili priznanjima (Deci i Ryan, 1985; Keller, 2010). Dugoročna motivacija zahtijeva ravnotežu između tih oblika zadovoljstva. U kontekstu robotski posredovanog učenja, zadovoljstvo može proizaći iz vidljivog napretka, uspješno riješenog problema ili pozitivnog emocionalnog iskustva interakcije. Pretjerano oslanjanje na vanjske nagrade može narušiti unutarnju motivaciju, stoga je važno naglasiti smislenost i osjećaj osobnog rasta.

ARCS model primjenjuje se kroz proces analize motivacijskih karakteristika učenika, definiranja ciljeva, osmišljavanja strategija, implementacije i vrednovanja. U istraživanjima kojima je u središtu interesa primjena digitalne tehnologije, često služi kao konceptualni okvir za procjenu uspješnosti intervencija (Keller i Suzuki, 2004; Cook i sur., 2009). Dosadašnja istraživanja pokazuju kako čovjekoliki roboti mogu pozitivno djelovati u sve četiri dimenzije; privlače pažnju, omogućuju kontekstualno učenje i djeluju kao podržavajući voditelji obrazovnih aktivnosti (Belpaeme et al., 2018; Vogt et al., 2017).

Modeli prihvaćanja tehnologije dodatno objašnjavaju kako se oblikuju stavovi učenika. Prema modelu prihvaćanja tehnologije, percepcija korisnosti i jednostavnosti korištenja predviđa stavove, a stavovi utječu na namjeru i stvarno ponašanje (Davis, 1993). Ako učenici doživljavaju robota kao korisnog i intuitivnog, vjerojatnije će razviti pozitivne stavove i aktivno sudjelovati. Istraživanja društvene percepcije pokazuju da učenici procjenjuju robota prema dimenzijama topline i kompetentnosti (Fiske i sur., 2002; Lee i Nass, 2005). Robot koji djeluje kompetentno i emocionalno pristupačno povećava osjećaj sigurnosti i pouzdanosti.

Teorija očekivanja i vrijednosti povezuje motivaciju s očekivanjem uspjeha i percipiranom vrijednošću zadatka (Eccles i Wigfield, 2002). Ako učenici vjeruju da robot doprinosi uspjehu i ima jasnu obrazovnu svrhu, raste njihova motivacija. Emocije imaju važnu ulogu u tom procesu. Prema Pekrunu i suradnicima (2002), akademske emocije oblikuju angažman i interpretaciju

aktivnosti. Predvidljivo i podržavajuće ponašanje robota može potaknuti pozitivne emocije, dok nejasno ili mehaničko ponašanje može izazvati anksioznost (Nomura i sur., 2006).

Teorija samoučinkovitosti dodatno objašnjava odnos motivacije i stavova. Uvjerenje o vlastitim sposobnostima oblikuje se na temelju ranijih iskustava i emocionalnih stanja (Bandura, 1997). Robot koji pruža strpljivu podršku i omogućuje postupno savladavanje izazova može povećati samoučinkovitost, dok pretjerana sofisticiranost bez emocionalne topline može dovesti do osjećaja nadmašenosti. Samoučinkovitost zatim izravno utječe na stavove: učenici koji vjeruju u svoje sposobnosti razvijaju pozitivnije stavove prema interakciji s robotom.

Antropomorfizam i društvena prisutnost također su važni čimbenici. Roboti koji se doživljavaju kao društveno prisutni mogu povećati osjećaj povezanosti i podrške (Biocca i sur., 2003; Lee i Nass, 2005). No pretjerana čovjekolikost može izazvati nelagodu i smanjiti motivaciju (Bartneck i sur., 2009), stoga je važno pronaći ravnotežu između tehničke funkcionalnosti i društvene prihvatljivosti.

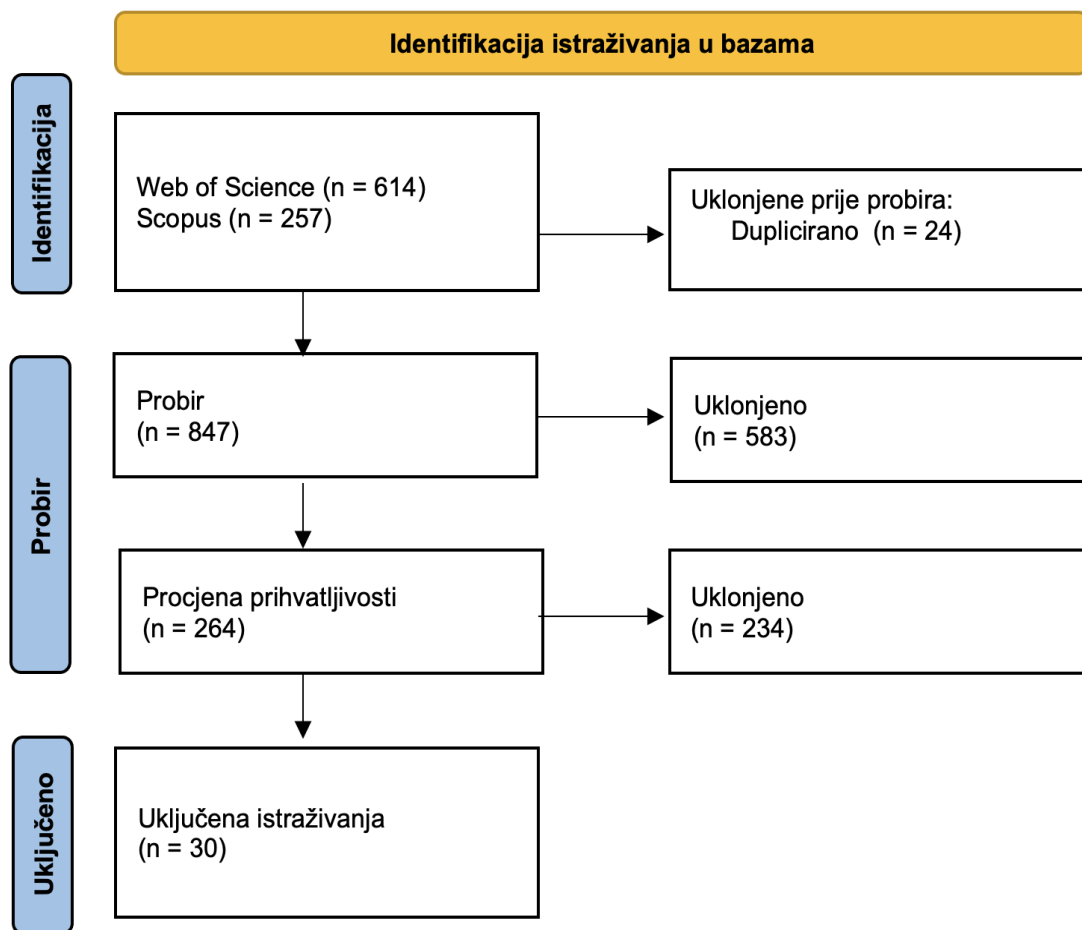
Navedene teorije ukazuju na međupovezanost motivacije i stavova u robotski posredovanom učenju. Pozitivni stavovi povećavaju očekivanje uspjeha i angažman, dok negativni stavovi mogu potaknuti anksioznost i smanjiti vrijednost zadatka. Uspješna primjena čovjekolikih robota u obrazovanju stoga ne ovisi samo o tehničkim mogućnostima, nego o promišljenom dizajnu koji povezuje motivacijske, emocionalne i društvene dimenzije. Kada su one usklađene, robot prestaje biti samo novost i postaje smislen, motivacijski snažan suradnik u učenju.

2.2 Pregled prethodnih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju

Pregledom rezultata prethodno provedenih empirijskih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju, nastoji se produbiti razumijevanje povezanosti motivacijskih elemenata i stavova učenika prema čovjekolikim robotima s ostvarenjem ishoda učenja. Posebna pažnja posvećena je analizi toga kako različiti elementi motivacije (angažman, uživanje, interes, unutarnja motivacija, ustrajnost) utječu na ishode učenja (znanje, vještine, postignuće), te identificiranju čimbenika koji mogu moderirati (trajanje, adaptivnost, dob) ili posredovati (samoregulacija, traženje pomoći) ove odnose. Nadalje, istražuje se važnost stavova učenika prema robotu (prihvatanje, simpatija, povjerenje, percipirana korisnost) u oblikovanju ishoda učenja i motivacije, uključujući čimbenike

koji doprinose formiranju pozitivnih stavova, poput personalizacije, antropomorfnih obilježja, emocionalne ekspresivnosti i pouzdanosti robota.

Proces pregleda literature proveden je u četiri faze: identifikacija, provjera, procjena prikladnosti i uključivanja (Boland i sur., 2017). Cjelokupan tijek procesa pregleda literature prikazan je na Slici 1 u obliku PRISMA dijagrama toka.



Slika 1 PRISMA dijagram toka pregleda literature

U fazi identifikacije proces pregleda literature proveden je korištenjem znanstvenih baza Scopus i Web of Science, pri čemu su korišteni sljedeći izrazi:

Scopus

TITLE-ABS-KEY ((robot* OR humanoid* OR "social robot*" OR "socially assistive robot*") AND (educat* OR school* OR classroom OR "primary school" OR "secondary school" OR student*) AND (motivat* OR engagement OR "learning outcome*" OR

achievement OR performance) AND (experiment* OR "randomized controlled trial" OR RCT OR "quasi-experiment*")) AND PUBYEAR > 2016 AND DOCTYPE(ar)

Web of Science

TS = ((robot* OR humanoid* OR "social robot*" OR "socially assistive robot*") AND (educat* OR school* OR classroom OR "primary school" OR "secondary school" OR student*)) AND (motivat* OR engagement OR "learning outcome*" OR achievement OR performance) AND (experiment* OR "randomized controlled trial" OR RCT OR "quasi-experiment*"))

Refine by: Document Type = Article; Years = 2017–2026

Tijekom faze provjere primijenjeni su dodatni kriteriji uključivanja i kriteriji isključivanja kako bi se osigurala relevantnost i kvaliteta odabranih istraživanja.

Kriteriji uključivanja

KU1: Publikacije objavljene u znanstvenim časopisima.

KU2: Istraživanja usmjerena na čovjekolike robote primijenjene u obrazovnim okruženjima.

KU3: Istraživanja koja mjere motivaciju učenika, angažiranost ili ostvarenost ishoda učenja.

KU4: Istraživanja objavljena između 2017. i 2026. Godine.

KU5: Istraživanja objavljena na engleskom jeziku.

Kriteriji isključivanja

KI1: Istraživanja koja su pregledi, teorijski radovi i mišljenja.

KI2: Istraživanja koja ne uključuju kontrolne skupine ili uvjete usporedbe.

KI3: Konferencijski radovi i radovi s platforme arXiv, osim ako predstavljaju objavljene verzije u znanstvenim časopisima.

KI4: Istraživanja usmjerena isključivo na tehnički razvoj robota bez mjerenja obrazovnih ishoda.

KI5: Istraživanja koja uključuju isključivo programabilne robote bez društvenih karakteristika.

Faza procjene prikladnosti uključivala je sustavni proces provjere svake publikacije na temelju naslova, sažetka i metodološkog pristupa. U ovoj fazi analizirana su sva istraživanja kako bi se isključili duplikati te istraživanja koja ne udovoljavaju unaprijed definiranim kriterijima uključivanja. Samo istraživanja koja su u potpunosti zadovoljila navedene kriterije uvrštena su u konačnu sintezu rezultata.

Konačno, u fazi uključivanja prikupljene su i organizirane ključne informacije iz odabranih istraživanja. Za svako istraživanje prikupljeni su podaci o karakteristikama; autor i godina objave, starosna dob sudionika, veličina uzorka ili broj sudionika, trajanje intervencije, vrsta korištenog čovjekolikog robota te obrazovni kontekst u kojemu je istraživanje provedeno. Pregled provedenih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju prikazan je u Tablici 1.

Tablica 1 Pregled istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju

	Autor/i (godina)	Dob sudionika	Broj sudionika	Trajanje	Vrsta robota	Obrazovno područje
1	Alhashmi i sur. (2021)	osnovna škola (razredna nastava)	20	1 sesija	NAO	matematika
2	Ali i sur. (2021)	osnovna škola (razredna nastava)	169	1 godina	Jibo	kreativnost
3	Arar i sur. (2021)	osnovna škola (razredna nastava)	54	8 tjedana	Emys	strani jezik
4	Baxter i sur. (2017)	osnovna škola (razredna nastava)	59	2 tjedna	NAO	povijest
5	Chalmers i sur. (2019)	predškola i osnovna škola (razredna nastava)	240	6 mjeseci	NAO	programiranje

6	Chalmers i sur. (2022)	predškola, osnovna škola (razredna i predmetna nastava)	96	nekoliko tjedana – nekoliko mjeseci	NAO	STEM, strani jezik
7	Chen i sur. (2020)	osnovna škola (razredna nastava)	59	48 sesija	Tega	strani jezik
8	Davison i sur. (2020)	osnovna škola (razredna nastava)	22	1 sesija do 4 mjeseca	Zeno	Fizika
9	de Souza Jeronimo i sur. (2022)	osnovna škola (razredna nastava)	20	1 sesija	NAO, Zenbo	Glazba
10	de Haas i sur. (2020)	predškola	56	3 sesije	NAO	strani jezik
11	Donnermann i sur. (2021)	visoko obrazovanje	80	1 sesija	Reeti	digitalni mediji
12	Donnermann i sur. (2022)	visoko obrazovanje	58	3 sesije	Pepper	digitalni mediji
13	Elgarf i sur. (2024)	osnovna škola (razredna nastava)	128	1 sesija	Furhart	materinski jezik
14	Escobar-Planas i sur. (2022)	predškola, osnovna škola (razredna nastava)	81	1 sesija	Haru	rješavanje problema
15	Khalifa i sur. (2019)	visoko obrazovanje	80	nekoliko tjedana	NAO	strani jezik
16	Konijn i Hoorn (2020)	osnovna škola (razredna nastava)	86	3 sesije	NAO	matematika
17	LeTendre i Gray (2024)	osnovna škola (predmetna nastava)	25	10 tjedana	Pepper	programiranje
18	Osawa i sur. (2022)	osnovna škola (razredna nastava)	490	više od 1 godine	UGA	-

19	Peura i sur. (2023)	osnovna škola (predmetna nastava)	50	2 tjedna	NAO	strani jezik
20	Ramachandran i sur. (2019)	osnovna škola (predmetna nastava)	29	4 sesije	NAO	matematika
21	Riedmann i sur. (2024)	obrazovanje odraslih	126	1 sesija	Pepper	strani jezik
22	Serholt i sur. (2022)	osnovna škola (razredna nastava)	20	1 sesija	Pepper	matematika
23	Şişman i sur. (2019)	osnovna škola (razredna nastava)	232	4 mjeseca	NAO	strani jezik
24	Şişman i sur. (2024)	osnovno obrazovanje (predmetna nastava)	138	1 sesija	NAO	STEM
25	Song i sur. (2021)	osnovna škola (razredna i predmetna nastava)	31	3 sesije	Sociobot mini	glazba
26	Sun i sur. (2025)	visoko obrazovanje	45	1 sesija	čovjekoliki robot	povijest
27	van Straten i sur. (2023)	osnovna škola (razredna nastava)	276	1 sesija	NAO	robotika
28	Yang i sur. (2022)	predškola	18	6 tjedana	Matatalab	robotika, programiranje
29	Yueh i sur. (2020)	osnovna škola (razredna nastava)	36	1 sesija	Julia	materinski jezik
30	Zhexenova i sur. (2020)	osnovna škola (razredna nastava)	62	1 sesija	NAO	latinsko pismo

Analizom odabranih istraživanja utvrđeno je kako se većina njih provodila u osnovnoškolskom okruženju, najčešće u razrednoj nastavi. Takva distribucija upućuje na to da su sudionici uglavnom

učenici mlađe dobi. Od ukupno trideset analiziranih istraživanja, dvadeset ih se odnosi na razrednu nastavu, dok se manji broj bavi predmetnom nastavom, predškolskim i visokoškolskim obrazovanjem te obrazovanjem odraslih. Ovi nalazi sugeriraju da istraživači najveću pozornost posvećuju razvoju ranih oblika motivacije i oblikovanju pozitivnih stavova prema učenju uz pomoć čovjekolikih robota.

Najčešće korišteni čovjekoliki robot u obrazovnom je kontekstu NAO, koji se pojavljuje u više od trećine istraživanja. Njegova dominantna prisutnost može se objasniti kombinacijom tehničke pouzdanosti, mogućnosti društvene interakcije i dostupnosti za primjenu u obrazovanju. Uz NAO, u manjem se opsegu koriste roboti Pepper, Emys, Tega, Jibo i Zeno. Oni najčešće služe za poticanje emocionalne angažiranosti i stvaranje društvene povezanosti s učenicima. Upravo ti aspekti; emocionalna bliskost, interakcija i personalizacija komunikacije, pokazuju se ključnima za poticanje unutarnje motivacije i oblikovanje pozitivnih stavova prema učenju.

Broj sudionika u istraživanjima varira od vrlo malih uzoraka, manje od 30 sudionika, do velikih skupina s više od 400 sudionika. Veći uzorci obično su povezani s kraćim trajanjem istraživanja, što smanjuje mogućnost detaljne analize promjena u motivacijskim čimbenicima. Analizom obrazovnih područja uočava se da se roboti najčešće koriste u području podučavanja i učenja stranih jezika, matematike i STEM predmeta, ali se koriste i u umjetničkim područjima poput glazbe i učenja materinskog jezika. Ova raznolikost pokazuje kako čovjekoliki roboti mogu biti učinkoviti ne samo u tehničkim, već i u drugim obrazovnim područjima. U području stranih jezika roboti se najčešće koriste kao interaktivni sugovornici koji potiču komunikaciju i smanjuju anksioznost učenika, dok u STEM području djeluju kao motivacijski alat za rješavanje problemskih zadataka.

Većina istraživanja bila je kratkotrajna obuhvaćajući jednu ili nekoliko sesija. Od ukupno trideset analiziranih istraživanja, samo je osam njih uključivalo višemjesečne intervencije, stoga se mogu okarakterizirati kao dugoročna. Kratkoročna istraživanja uglavnom su usmjerena na procjenu neposrednih promjena u motivaciji i stavovima učenika, dok ona longitudinalna pružaju uvid u održivost učinaka i njihov utjecaj na ishode učenja. Međutim, takva longitudinalna istraživanja i dalje su rijetka, što upućuje na potrebu za sustavnijim ispitivanjem dugoročnih učinaka primjene čovjekolikih robota u obrazovanju, kao i razlike u učincima s obzirom na dob učenika, vrstu robota i predmetno područje.

2.3 Povezanost pojedinih motivacijskih elemenata i stavova učenika s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikih robota u obrazovanju

U okviru ovog potpoglavlja najprije se razmatra povezanost pojedinih motivacijskih elemenata s ostvarenjem ishoda učenja u kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju, a potom povezanost stavova učenika prema čovjekolikom robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom.

2.3.1 Povezanost pojedinih motivacijskih elemenata s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikih robota u obrazovanju

Rezultati prethodno provedenih empirijskih istraživanja upućuju na to da uživanje, interes i angažman učenika mogu pridonijeti većoj spremnosti na sudjelovanje u nastavnim aktivnostima, ustrajnosti te pozitivnijem iskustvu učenja uz primjenu čovjekolikog robota (Baxter i sur., 2017; Şişman i sur., 2018; Ali i sur., 2021; Peura i sur., 2023; Sun i sur., 2025). Također, prethodno provedena istraživanja ističu važnost percipirane kompetentnosti, povjerenja, autonomije, emocionalne povezanosti, empatije i društvene interakcije u oblikovanju motivacijskih i afektivnih ishoda, dok je njihova povezanost s kognitivnim ishodima učenja manje dosljedno potvrđena (Chen i sur., 2020; Davison i sur., 2020; Yueh i sur., 2020; Alhashmi i sur., 2021; Arar i sur., 2021; Song i sur., 2021; Chalmers i sur., 2022; Yang i sur., 2022; LeTendre i Gray, 2024; Riedmann i sur., 2024). Navedeni elementi pritom se mogu promatrati kao međusobno povezane sastavnice motivacijskog iskustva učenika, čiji se učinci mogu razlikovati ovisno o obilježjima učenika, nastavne aktivnosti i načinu primjene robota.

Uživanje, interes i zabava imaju snažan pozitivan utjecaj na angažman učenika i kvalitetu učenja. Učenici koji robota doživljavaju kao prijateljskog, zabavnog i interaktivnog sudionika u obrazovnim aktivnostima, pokazuju veću spremnost na sudjelovanje u obrazovnim aktivnostima, ponavljanje aktivnosti i ustrajnost u učenju (Şişman i sur., 2018; Peura i sur., 2023; Sun i sur., 2025). Takvo iskustvo uživanja djeluje dvosmjerno, afektivno kroz pozitivne emocije, i kognitivno jer povećava uloženi napor i zadržavanje znanja (Baxter i sur., 2017; Ali i sur., 2021).

Angažman učenika u obrazovnim aktivnostima i interakcija s robotom pokazuju izravan utjecaj na postignuća u učenju. Učenici uključeni u suradničke aktivnosti posredovane robotom, ostvaruju

bolje rezultate u rješavanju problema, dulje zadržavaju pažnju i razvijaju vještine timskog rada (Osawa i sur., 2022; Yang i sur., 2022). Prema de Haas i sur. (2020) personalizirane povratne informacije robota, prilagođene učenikovo razini znanja, dinamici učenja i prethodnim odgovorima, doprinose povećanju angažmana i jačanju osjećaja uspješnosti. Takvi pozitivni učinci povratne informacije potiču učenike na aktivnije uključivanje u obrazovne aktivnosti, dulje zadržavanje pažnje i refleksiju o vlastitom učenju, čime se posredno potiče dublja kognitivna obrada obrazovnih sadržaja.

Percipirana kompetentnost i povjerenje u robota ključni su za razvoj unutarnje motivacije. Učenici koji vjeruju da robot posjeduje znanje i ima razvijenu sposobnost pružanja podrške, osjećaju veću sigurnost i samouvjerenost, što vodi do boljeg razumijevanja obrazovnih sadržaja i uspješnijeg izvršavanja obrazovnih aktivnosti (Alhashmi i sur., 2021; Riedmann i sur., 2024; Yueh i sur., 2020). Osjećaj kompetentnosti dodatno se pojačava kada robot potiče refleksiju i naglašava uspjehe učenika (de Souza Jeronimo i sur., 2022).

Emocionalna povezanost i empatija između učenika i robota djeluju kao posredujući čimbenici između motivacije učenika i ostvarenih ishoda učenja. Učenici koji razviju afektivnu vezu s robotom, pokazuju veću refleksivnost i dublje razumijevanje sadržaja (Chen i sur., 2020; Chalmers i sur., 2022). Empatično ponašanje robota, prilagođen ton glasa i emocionalna podrška smanjuju anksioznost i stvaraju ugodno okruženje za učenje, osobito u području učenja stranog jezika (Peura i sur., 2023; Sun i sur., 2025).

Društvena povezanost i interakcija predstavljaju važnu dimenziju motivacije. Prisutnost robota u učionici potiče suradnju, komunikaciju i osjećaj pripadnosti grupi (Davison i sur., 2020; Arar i sur., 2021). Učenici robota doživljavaju kao podržavajućeg pomoćnika nastavniku i suradnika, što povećava emocionalni angažman i želju za učenjem. Takva društvena dinamika pospješuje ne samo ostvarivanje obrazovnih ishoda nego i razvoj interpersonalnih vještina.

Autonomija učenika u interakciji s robotom dodatno povećava motivaciju i osjećaj kontrole nad vlastitim učenjem. Učenici koji mogu prilagođavati dinamiku, redoslijed i način interakcije s robotom pokazuju veći osjećaj odgovornosti, dublje razumijevanje sadržaja i dugotrajnije zadržavanje znanja (Song i sur., 2021; LeTendre i Gray, 2024).

Efekt novosti i percipirana inteligencija robota imaju kratkoročne, ali mjerljive učinke na motivaciju. Efekt novosti potiče početni interes i znatiželju, dok percipirana inteligencija robota dugoročno podržava povjerenje i angažman (LeTendre i Gray, 2024; Riedmann i sur., 2024).

Međutim, ako učenici prepoznaju ograničenja robota ili njegovu mehaničku interakciju, motivacija može postupno opadati (van Straten i sur., 2023).

Rezultati ukazuju da motivacijski elementi međusobno djeluju u sinergiji: uživanje potiče angažman, angažman jača osjećaj kompetentnosti, a društvena povezanost i empatija održavaju dugoročnu unutarnju motivaciju. Ovakva mreža međusobno povezanih čimbenika vodi prema boljim kognitivnim i afektivnim ishodima, uključujući veće zadržavanje znanja, razvoj metakognitivnih i komunikacijskih vještina te pozitivne stavove prema učenju (Peura i sur., 2023; Yueh i sur., 2020; Yang i sur., 2022; Donnermann i sur., 2021).

Zaključno, pojedini motivacijski elementi kao što su uživanje, angažman, emocionalna povezanost, percipirana kompetentnost, autonomija i društvena interakcija, djeluju kao ključni prediktori uspješnosti učenja pri primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju. Učinkovitost robota u postizanju obrazovnih ishoda ovisi o njegovoj sposobnosti da potakne pozitivne emocije, pruži personaliziranu podršku, razvije osjećaj samouvjerenosti i stvori društveno poticajno, empatično okruženje za učenje.

Značaj za ovo istraživanje: Dosadašnja teorijska i empirijska istraživanja pokazuju da motivacija može imati važnu ulogu u načinu na koji učenici doživljavaju nastavu uz primjenu čovjekolikog robota i uključuju se u nastavne aktivnosti. Ipak, rezultati prethodnih istraživanja nisu u potpunosti jednoznačni. Prisutnost robota često privlači pažnju učenika, pobuđuje znatiželju i potiče početni angažman, ali takvi učinci ne moraju biti dugotrajni niti nužno dovesti do boljih ishoda učenja. Pozitivno iskustvo, zadovoljstvo i veća uključenost učenika stoga se ne mogu promatrati kao izravna potvrda uspješnijeg usvajanja znanja. Njihov učinak ovisi o nizu čimbenika, među kojima su način oblikovanja nastavnih aktivnosti, jasnoća i relevantnost sadržaja, kvaliteta povratne informacije, pouzdanost tehnologije te osjećaj kompetentnosti i autonomije učenika. Važnu ulogu mogu imati i dob učenika, njihovo prethodno iskustvo s tehnologijom, stavovi prema robotima i složenost nastavnog sadržaja.

Polazeći od navedenoga, motivacija se u ovom istraživanju ne promatra kao jedinstven konstrukt niti se pretpostavlja da njezino povećanje samo po sebi dovodi do boljih obrazovnih postignuća. Primjenom ARCS modela motivacija se promatra kroz dimenzije pažnje, relevantnosti, samopouzdanja i zadovoljstva, čime se omogućuje detaljnije ispitivanje njihova pojedinačnog doprinosa iskustvu učenja i mogućoj povezanosti s ostvarenim ishodima. Takav pristup omogućuje da se učinak čovjekolikog robota ne pripisuje isključivo njegovoj prisutnosti u učionici, nego da se

promatra kao rezultat međudjelovanja obilježja tehnologije, pedagoškog oblikovanja aktivnosti i individualnih obilježja učenika. Time se dodatno opravdava potreba za zasebnim ispitivanjem motivacije, ishoda učenja i njihove međusobne povezanosti u stvarnome nastavnom okruženju.

2.3.2 Povezanost stavova učenika prema čovjekolikom robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom

Analizom rezultata provedenih empirijskih istraživanja može se zaključiti kako su stavovi učenika prema čovjekolikim robotima snažno povezani s njihovom motivacijom, angažmanom i ostvarenim ishodima učenja. Općenito, pozitivna percepcija čovjekolikog robota djeluje kao posrednički čimbenik koji potiče emocionalnu povezanost, unutarnju motivaciju i spremnost na učenje (Yueh i sur., 2020; Alhashmi i sur., 2021; Ali i sur., 2021; Osawa i sur., 2022; Peura i sur., 2023; Sun i sur., 2025), dok su neutralni ili negativni stavovi prema robotu često uzrokovani tehničkim poteškoćama ili neprilagođenim ponašanjem robota, što može umanjiti angažman učenika i postignut obrazovni učinak.

Rezultati istraživanja koje su proveli Alhashmi i sur. (2021) pokazuju kako učenici koji su čovjekolikog robota percipirali kao prijateljskog, zabavnog i pouzdanog pomoćnika nastavniku, pokazuju veće zadovoljstvo i motivaciju tijekom rada, što je rezultiralo poboljšanim razumijevanjem nastavnog sadržaja i ostvarenošću viših kognitivnih ishoda. Ali i sur. (2021) došli su do sličnih rezultata u svojem istraživanju, u kojima ističu kako percepcija čovjekolikog robota kao kreativnog i zabavnog suradnika učenicima povećava njihov angažman, potiče kreativnost i motivaciju, što se izravno odražava na postizanje boljih obrazovnih ishoda. Učenici koji su robota doživljavali kao zabavnog i korisnog suradnika za razvijanje ideja, pokazali su veću razinu kreativnog ostvarenja, dok su tehnički nedostaci (npr. kašnjenja u govoru) negativno utjecali na njihove stavove i motivaciju. Rezultati navedenih istraživanja potvrđuju kako pozitivni stavovi prema čovjekolikom robotu mogu djelovati kao regulator odnosa između motivacijskih elemenata i ostvarenih ishoda učenja.

Rezultati empirijskog istraživanja koje su proveli Arar i sur. (2021) dodatno ističu važnost interaktivnosti i fizičke prisutnosti čovjekolikog robota, koji putem višesenzornog iskustva i društvene stimulacije potiče pozitivne stavove učenika, motivaciju i bolje usvajanje obrazovnih sadržaja. Slično tome, Baxter i sur. (2017) u svojem su istraživanju dokazali kako personalizirane interakcije robota jačaju percipiranu kompetenciju i uživanje učenika, čime se dugoročno održava

motivacija i postižu bolji obrazovni ishodi. U svojem su istraživanju Chalmers i sur. (2019, 2022) pokazali kako znatiželja i emocionalna povezanost s čovjekolikim robotom djeluju kao ključni medijatori između stavova, motivacije i ostvarenih ishoda učenja. Učenici koji su čovjekolikog robota doživljavali s empatijom i entuzijazmom, pokazali su veću spremnost za rješavanje složenih zadataka i bolje su razvili vještine računalnog razmišljanja. Takvi stavovi potiču tzv. kognitivni ciklus angažmana, u kojem emocionalna privrženost vodi do trajne motivacije i dubljeg razumijevanja.

Rezultati istraživanja koje su proveli Chen i sur. (2020) potvrđuju da pozitivan društveni odnos učenika i robota pridonosi emocionalnom zadovoljstvu, koje posredno poboljšava performanse učenja. Davison i sur. (2020) ističu da percepcija robota kao društvenog agenta i prijatelja povećava motivaciju, osjećaj sigurnosti i spremnost na suradnju, dok prekomjerne ponavljajuće aktivnosti ili rigidnost interakcije mogu narušiti te učinke. Slično tome, de Souza Jeronimo i sur. (2022) naglašavaju kako simpatičnost, emocionalna ekspresivnost i percipirana upotrebljivost robota snažno oblikuju stavove učenika, što izravno utječe na motivaciju i angažman. U istraživanju de Haas i sur. (2020) pokazano je da pozitivne povratne informacije robota povećavaju unutarnju motivaciju i osjećaj kompetencije, čime se održava spremnost za učenjem i potiču se dugoročni obrazovni ishodi. Donnermann i sur. (2021) dodatno potvrđuju kako motivacija posreduje između stavova prema robotu i uspjeha u učenju, pri čemu elementi poput igrifikacije i fizičke prisutnosti robota dodatno oblikuju taj odnos.

Objedinjeni nalazi istraživanja koje su proveli Konijn i Hoorn (2020) te Yueh i sur. (2020) potvrđuju kako je odnos između stavova učenika prema robotu, motivacije i ostvarenih ishoda složen, ali konzistentan. U većini istraživanja pozitivan stav prema robotu povezan je s povećanom motivacijom i angažmanom, što posredno ili izravno dovodi do boljih obrazovnih rezultata. Primjerice, Konijn i Hoorn (2020) pokazali su da učenici robota doživljavaju kao „pametnu i neprijeteću“ obrazovnu podršku, čime se stvara pozitivno afektivno okruženje za učenje. LeTendre i Gray (2024) utvrdili su da se početni entuzijazam prema čovjekolikom robotu potaknut tzv. učinkom novosti može transformirati u dugoročni angažman ako učenici imaju autentične mogućnosti za učenje. U tom se procesu stavovi razvijaju od antropomorfnih prema refleksivnijima, što povećava metakognitivnu svijest učenika i njihovu sposobnost konceptualnog razumijevanja.

Osawa i sur. (2022) ističu kako robot koji djeluje kao medijator interakcije među učenicima potiče dugoročnu motivaciju i suradničko učenje. Pozitivni stavovi prema robotu, izraženi kroz imenovanje robota i prilagodbu njegova izgleda, održavaju angažman i kvalitetu ishoda, dok Peura i sur. (2023) u kontekstu učenja stranog jezika potvrđuju da takvi stavovi smanjuju anksioznost i povećavaju upornost učenika, što rezultira mjerljivim poboljšanjima u izgovoru i samopouzdanju. Ramachandran i sur. (2019) dodaju da fizička prisutnost društveno angažiranog robota povećava uživanje i interaktivnost, dok Riedmann i sur. (2024) upozoravaju kako sama prisutnost robota nije dovoljna, presudna je percepcija njegove inteligencije i kvalitete interakcije.

Rezultati istraživanja upućuju na to da pozitivni stavovi prema robotu povećavaju uživanje i motivaciju, iako se to ne mora uvijek izravno odraziti na kognitivne ishode učenja (Serholt i sur., 2022; Şişman i sur., 2018, 2024). Song i sur. (2021) pokazali su da percepcija uloge robota može modulirati motivaciju i izvedbu, dok Sun i sur. (2025) ističu da empatija i emocionalna prilagodba robota izravno povećavaju zadovoljstvo, motivaciju i uspjeh u učenju. Yang i sur. (2022) potvrđuju da veća razina interakcije učenika s robotom predviđa bolje rezultate u samoregulaciji i razvoju vještina računalnog razmišljanja, dok van Straten i sur. (2023) upozoravaju na to da prevelika transparentnost o robotskoj „ne-ljudskosti“ može umanjiti osjećaj bliskosti i povjerenja, što ograničava motivacijski potencijal robota. Yueh i sur. (2020) potvrđuju da unutarnja motivacija potaknuta prisustvom robota, posebice kada on djeluje kao suradnik u čitanju, značajno doprinosi razvoju pismenosti i potiče samostalno, unutarnje učenje.

U konačnici, sintetizirani empirijski nalazi dosljedno potvrđuju da su pozitivni stavovi učenika prema čovjekolikim robotima snažno povezani s njihovom motivacijom, angažmanom i u većini slučajeva poboljšanim ishodima učenja (Osawa i sur., 2022; Peura i sur., 2023; Sun i sur., 2025; Yueh i sur., 2020). Ipak, istraživanja poput Şişman i sur. (2024) i Riedmann i sur. (2024) naglašavaju kako pozitivni afektivni stavovi i uživanje nisu sami po sebi dovoljni za postizanje dubljih kognitivnih učinaka ako ne postoje kvalitetne povratne informacije i pedagoški smislen kontekst interakcije s robotom. Može se zaključiti da odnos između stavova učenika prema robotu, motivacije i ishoda učenja ovisi o međudjelovanju interaktivnih, emocionalnih i pedagoških svojstava robota te o načinu na koji učenici percipiraju njegovu inteligenciju, empatiju i svrhu u obrazovnom procesu.

Značaj za ovo istraživanje: Pregled relevantne literature pokazuje da stavovi učenika prema čovjekolikim robotima imaju značajnu ulogu u oblikovanju njihove spremnosti na prihvaćanje

robotski posredovanih obrazovnih aktivnosti te u načinu na koji se učenici u njima angažiraju. Pozitivni stavovi prema robotu, koji uključuju percepciju njegove korisnosti, pouzdanosti, razumljivosti i društvene prihvatljivosti, u istraživanjima se često povezuju s višom razinom angažmana, većom otvorenosti prema novim oblicima učenja i većom ustrajnošću u rješavanju zadataka. Nasuprot tome, negativni stavovi, obilježeni tehnološkom anksioznošću, nepovjerenjem ili nelagodnom u interakciji s robotom, mogu ograničiti obrazovni potencijal robotske tehnologije neovisno o njezinim tehničkim i pedagoškim mogućnostima. U skladu s tim spoznajama, u ovom se istraživanju stavovi učenika prema obrazovnom robotu promatraju kao važan afektivni i kontekstualni čimbenik koji može pojačati ili umanjiti učinke nastavne intervencije na ostvarenje ishoda učenja. Ispitivanjem povezanosti stavova učenika s obrazovnim postignućima nastoji se doprinijeti dubljem razumijevanju uloge čovjekolikog robota kao društvenog i pedagoškog aktera u učionici, pri čemu se prihvaćanje robota ne promatra kao krajnji cilj, već kao jedan od uvjeta njegove stvarne obrazovne djelotvornosti. Time se ujedno postavlja teorijska osnova za empirijsku analizu odnosa između stavova učenika i ishoda učenja u okviru kvazi-eksperimentalnog istraživačkog dizajna prikazanog u sljedećem poglavlju.

2.4 Značaj istraživanja

Istraživanje povezanosti motivacije i stavova učenika s ostvarenjem ishoda učenja u kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju od iznimne je važnosti zbog složene interakcije tehnoloških inovacija i pedagoških procesa. Posebno je značajno u području podučavanja programiranja i razvoja vještina računalnog razmišljanja, gdje motivacija, angažman i stavovi učenika igraju ključnu ulogu u postizanju obrazovnih ishoda. Primjena čovjekolikih robota, poput robota NAO, kao alata za učenje programiranja i pomoćnika nastavniku u obrazovnim aktivnostima, omogućuje interaktivnu, prilagodljivu i kontekstualno osjetljivu podršku u nastavi, čime se potiče aktivno sudjelovanje učenika i razvoj vještina računalnog razmišljanja (Şişman i sur., 2024; Serholt i sur., 2022; Zhexenova i sur., 2020). Ipak, sama prisutnost robota ne jamči poboljšane ishode učenja niti trajnu motivaciju, što naglašavaju istraživanja koje ukazuju na ograničenu dugoročnu učinkovitost primjene napredne tehnologije u obrazovanju (Riedmann i sur., 2024; LeTendre i Gray, 2024). Postojeći dokazi sugeriraju kako roboti mogu izazvati privremeno povećanje interesa, no njihova sposobnost da trajno unaprijede učenje i angažman učenika ostaje

nedovoljno istražena, osobito u različitim pedagoškim kontekstima i među učenicima s različitim stilovima učenja (Chalmers i sur., 2019; Baxter i sur., 2017). Pritom je longitudinalno istraživanje u ovom području izrazito rijetko, što dodatno ističe jedinstvenost i značaj ovog istraživanja.

Jedan od ključnih izazova očituje se u razumijevanju nijansiranih mehanizama putem kojih motivacija i stavovi učenika utječu na kognitivne i afektivne ishode. Iako robotski sustavi obećavaju povećanje angažmana, ponekad izazivaju neočekivane negativne učinke, uključujući frustraciju, kognitivno preopterećenje ili prolaznu motivaciju vođenu efektom novosti (Donnermann i sur., 2022; Peura i sur., 2023; LeTendre i Gray, 2024). Individualne razlike među učenicima, poput emocionalnog stanja, samopoimanja, faze učenja i spola, značajno utječu na načine na koje učenici reagiraju na robote i percipiraju njihovu učinkovitost (Song i sur., 2021; Şişman i sur., 2024; Ramachandran i sur., 2019). Ove spoznaje naglašavaju potrebu za personaliziranim i adaptivnim pristupima u primjeni robota u nastavi, osobito u programiranju i računalnom istraživanju, gdje se moraju uskladiti tehnički i pedagoški zahtjevi.

Nadalje, dosadašnja istraživanja ukazuju na ograničeno razumijevanje dugoročnog utjecaja čovjekolikih robota na učenje i angažman, kao i na nedovoljno istražene odnose između specifičnih motivacijskih elemenata, stavova učenika i obrazovnih ishoda (Chalmers i sur., 2019; Baxter i sur., 2017; van Straten i sur., 2023). Bez sustavnog istraživanja ovih veza teško je razviti robote koji učinkovito integriraju adaptivno, emocionalno i pedagoški inteligentno ponašanje u različitim obrazovnim kontekstima (Sun i sur., 2025; Alhashmi i sur., 2021; Yang i sur., 2022). Dugoročno korištenje robota NAO u obrazovanju pruža jedinstvenu priliku za promatranje promjena u motivaciji, stavovima i obrazovnim ishodima tijekom vremena, što omogućuje detaljnije razumijevanje trajnih učinaka robotske podrške u učenju.

Istraživanje povezanosti stavova i motivacije učenika s obrazovnim postignućima omogućuje optimizaciju dizajna čovjekolikih robota i njihovu pedagošku primjenu. Razumijevanje načina na koje stavovi i motivacija učenika posreduju u postizanju ishoda učenja, omogućava razvoj personaliziranih i održivih strategija učenja, smanjenje negativnih učinaka poput frustracije i anksioznosti te osiguravanje trajnih kognitivnih i afektivnih koristi (Arar i sur., 2021; Osawa i sur., 2022; de Souza Jeronimo i sur., 2022). Takav pristup omogućuje precizno i kontekstualno specifično oblikovanje obrazovnih intervencija u kojima čovjekoliki roboti ne služe samo kao tehnički dodatak, već kao aktivni sudionici obrazovnih aktivnosti koji utječu na motivaciju i razvoj društveno-emocionalnih vještina učenika. Primjena robota NAO u ovom kontekstu osigurava

kontinuiranu podršku učenicima i nastavnicima te potiče trajan interes za STEM područja i razvoj računalnog mišljenja, što je posebno važno u području podučavanja programiranja kod djece.

S razvojem napredne tehnologije raste i interes za razumijevanje načina na koji čovjekoliki roboti utječu na obrazovne procese i ostvarenost ishoda učenja. Međutim, nalazi dosadašnjih istraživanja često su mješoviti i fragmentirani, što otežava formuliranje jasnih i praktičnih preporuka. Dok neka istraživanja izvještavaju o značajnim poboljšanjima u motivaciji i ostvarenosti ishoda učenja (Baxter i sur., 2017; Donnermann i sur., 2022), druga istraživanja ne pronalaze značajne razlike između podučavanja robotom i primjene drugih alternativnih intervencija (Riedmann i sur., 2024). Ova heterogenost rezultata sugerira da učinci robota ovise o moderatorskim varijablama, uključujući karakteristike robota, trajanje intervencije, dob sudionika i obrazovni kontekst, što dodatno naglašava potrebu za dugoročnim istraživanjima u STEM obrazovanju.

Razumijevanje utjecaja čovjekolikih robota na motivaciju i učenje ima višestruki značaj. Teorijski, sustavna sinteza dokaza može razjasniti mehanizme putem kojih roboti utječu na obrazovne procese testirajući i proširujući postojeće teorije i modele motivacije i tehnologijom podržanog učenja. Metodološki, identifikacija moderatora i medijatora može usmjeriti budući istraživački dizajn i povećati konzistentnost nalaza. Praktički, dokazi utemeljeni na istraživanju mogu informirati odluke o ulaganju u robotsku tehnologiju, dizajn obrazovnih intervencija i pripremu nastavnika. Etički, kritičko vrednovanje učinaka robota nužno je za osiguravanje toga da tehnologija služi obrazovnim ciljevima, ne produbljuje postojeće nejednakosti te doprinosi inkluzivnom i održivom obrazovnom okruženju za djecu u STEM području.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovome poglavlju prikazani su metodološki postupci na kojima se temelji provedeno istraživanje. Opisan je istraživački pristup, istraživački dizajn te način odabira i raspodjele sudionika u eksperimentalne i kontrolne skupine. Prikazani su mjerni instrumenti korišteni za ispitivanje motivacije učenika, njihovih stavova prema obrazovnim robotima i ostvarenja ishoda učenja. Predstavljani su postupci primijenjeni za provjeru valjanosti i pouzdanosti mjernih instrumenata, postupak prikupljanja podataka i etička načela istraživanja.

3.1 Istraživački pristup

Provedeno istraživanje temelji se na pozitivističkoj istraživačkoj paradigmi, koja polazi od pretpostavke da se obrazovne pojave povezane s primjenom tehnologije mogu objektivno promatrati, mjeriti i analizirati primjenom znanstveno utemeljenih metoda (Milas, 2005). Cilj je ovog istraživanja ispitati odnose između jasno definiranih i mjerljivih varijabli, testiranje teorijskih modela te empirijska provjera pretpostavki o ponašanju sudionika u obrazovnom okruženju, što odgovara pozitivističkom pristupu.

Odabir paradigme proizlazi iz teorijskih polazišta modela prihvaćanja tehnologije, motivacijske teorije i teorije interakcije čovjeka i robota relevantne za obrazovni kontekst. Pregled literature pokazuje kako se prihvaćanje čovjekolikih robota u obrazovanju, motivacija i angažman učenika mogu objašnjavati strukturiranim teorijskim modelima koji pretpostavljaju postojanje mjerljivih odnosa između kognitivnih, afektivnih i društvenih varijabli (Belpaeme i sur., 2018; Guggemos i sur., 2020; Woo i sur., 2021).

Istraživanje se temelji na deduktivnom istraživačkom pristupu, pri čemu se polazi od postojećih teorija i empirijskih nalaza te se njihova primjenjivost provjerava u stvarnom obrazovnom kontekstu (Milas, 2005). Kao središnji teorijski okvir primijenjena je objedinjena teorija prihvaćanja i korištenja tehnologije (UTAUT), koja povezuje ključne konstrukte prihvaćanja tehnologije, pojašnjava namjeru korištenja i stvarno korištenje tehnologije (Venkatesh i sur., 2003). U prethodno provedenim istraživanjima o čovjekolikim robotima u obrazovanju UTAUT se navodi kao jedan od najčešće korištenih i empirijski potvrđenih modela za analizu prihvaćanja robota kao

obrazovne tehnologije, osobito u kontekstima formalnog obrazovanja (Guggemos i sur., 2020; Ekström i Pareto, 2022).

Međutim, teorijski pregled prikazan u drugom poglavlju pokazuje kako prihvaćanje čovjekolikih robota u obrazovanju ne može biti u potpunosti objašnjeno isključivo instrumentalnim i kognitivnim procjenama tehnologije. Istraživanja u području primjene čovjekolikih robota u obrazovanju te interakcije čovjeka i robota, ističu kako čovjekoliki roboti u učionici često djeluju i kao društveni sudionici, što utječe na motivaciju, emocije i stavove učenika (Belpaeme i sur., 2018; Ekström i Pareto, 2022; Rosanda i Istenič Starčić, 2020). U ovom je istraživanju stoga UTAUT konceptualno povezan s motivacijskim teorijama učenja, uključujući teoriju samoodlučivanja, teoriju očekivanja i vrijednosti te modele koji naglašavaju ulogu uživanja, angažmana i emocionalnih reakcija u učenju (McGill, 2012; Leitão i sur., 2022). Pregled literature pokazuje kako motivacija učenika predstavlja ključan čimbenik uspješnog učenja te da primjena čovjekolikih robota može pozitivno utjecati na unutarnju motivaciju, angažman i ustrajnost u obrazovnim aktivnostima (Belpaeme i sur., 2018; Francis, 2017; Chen i sur., 2020).

Nadalje, teorijski okviri iz područja interakcije čovjeka i robota (HRI) i koncepta čovjekolikog robota kao društvenog sudionika, dodatno opravdavaju odabir pozitivističkog, ali teorijski povezanog pristupa. Istraživanja pokazuju kako djeca čovjekolikim robotima često pripisuju kognitivne, emocionalne i društvene osobine te da se stavovi učenika prema čovjekolikim robotima razlikuju od stavova prema drugim oblicima tehnologije (Beran i sur., 2011; van den Berghe i sur., 2021; Szczepanowski i sur., 2020). Ove percepcije moguće je empirijski ispitivati putem pouzdanih i valjanih mjernih instrumenata, poput Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima (Sisman i sur., 2019), čime se dodatno potvrđuje primjerenost pozitivističke paradigme.

Unatoč uključivanju motivacijskih, afektivnih i društvenih teorija, istraživačka paradigma ostaje pozitivistička jer se svi relevantni konstrukti u ovom istraživanju operacionaliziraju kao mjerljive varijable i analiziraju primjenom kvantitativnih metoda. Motivacija učenika, stavovi učenika prema čovjekolikom robotu, prihvaćanje tehnologije i ostvareni ishodi učenja mjere se standardiziranim instrumentima, što omogućuje statističku analizu odnosa među varijablama i testiranje postavljenih hipoteza.

Na taj se način istraživačka paradigma u ovom istraživanju može opisati kao pozitivistički utemeljena, teorijski povezana i empirijski provjerljiva. Ona omogućuje povezivanje modela prihvaćanja tehnologije s motivacijskim i društvenim teorijama predstavljenima u teorijskom dijelu

rada, uz zadržavanje metodološke rigoroznosti i znanstvene provjerljivosti. Takav pristup osigurava poveznicu između pregleda literature, istraživačkog dizajna i analize rezultata te omogućuje interpretaciju nalaza o obrazovnoj primjeni čovjekolikih robota.

3.2 Istraživački dizajn

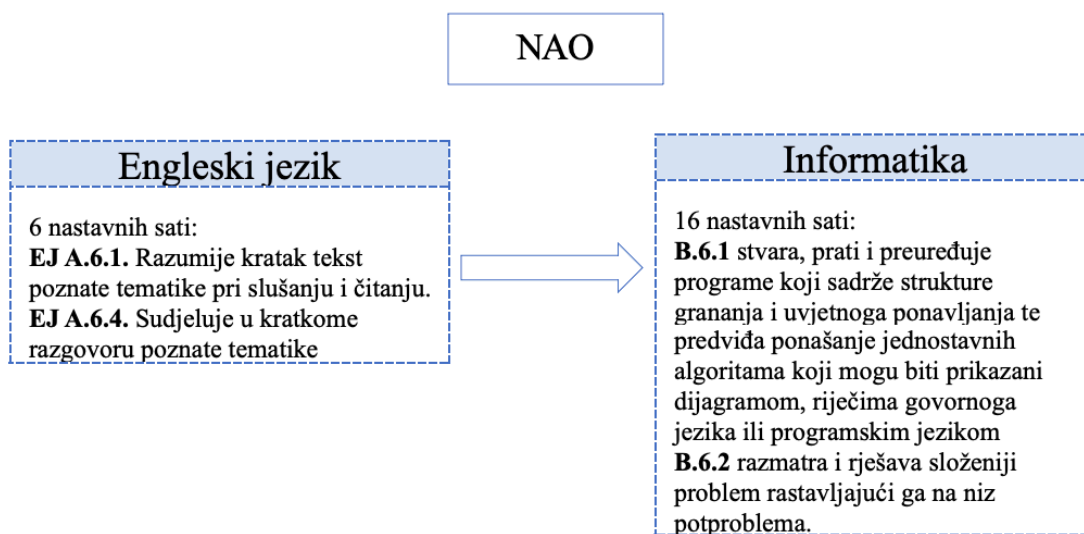
Istraživanje je metodološki koncipirano kao kvazi-eksperiment, s obzirom na to da su sudionici uključeni na temelju postojeće organizacije u razredna odjeljenja, bez nasumične raspodjele u skupine. Prema vremenskoj dimenziji i načinu prikupljanja podataka, istraživanje kombinira presječni i longitudinalni pristup: presječni dio odnosi se na prikupljanje podataka o stavovima učenika, dok se longitudinalni dio odnosi na prikupljanje podataka o motivaciji učenika, praćenje i analizu ostvarenih obrazovnih ishoda tijekom određenog razdoblja. Provedeno je u stvarnom obrazovnom okruženju tijekom redovne i izborne nastave Informatike u jednoj osnovnoj školi u Republici Hrvatskoj. Odabrani istraživački dizajn omogućuje sustavno ispitivanje odnosa motivacijskih, afektivnih i tehnoloških čimbenika te njihova utjecaja na prihvaćanje i korištenje čovjekolikog robota u obrazovnom kontekstu.

Istraživanje je koncipirano kao studija s planskom nastavnom intervencijom, pri čemu su podatci prikupljeni nakon strukturirane i vremenski definirane primjene čovjekolikog robota NAO u nastavnom procesu. Takav dizajn omogućuje prikupljanje podataka u trenutku kada su učenici već ostvarili ponovljeno i smisleno iskustvo interakcije s čovjekolikim robotom, čime se osigurava da izmjerena motivacija i stavovi učenika odražavaju stabilnije obrasce ponašanja, a ne isključivo početne reakcije na novu tehnologiju.

Nastavna je intervencija u svakom razrednom odjeljenju trajala osam tjedana, odnosno šesnaest nastavnih sati, i bila u potpunosti povezana s nacionalnim kurikulumom nastavnog predmeta Informatika. Čovjekoliki robot NAO pritom nije korišten kao izolirani tehnološki dodatak, već kao sastavni dio nastavnih aktivnosti. Takav pristup odgovara preporukama iz literature koje naglašavaju potrebu za longitudinalnom i pedagoški utemeljenom primjenom čovjekolikog robota u obrazovanju kako bi se smanjio učinak novosti i omogućila pouzdanija procjena motivacije i stavova učenika.

Pedagoški okvir nastavne intervencije temelji se na projektnom učenju (engl. *Project Based Learning* – PBL), koje potiče aktivno sudjelovanje učenika, suradničko učenje i rješavanje problemskih zadataka u stvarnome obrazovnom kontekstu. U tom je okviru čovjekoliki robot NAO imao višestruku ulogu: pomoćnik nastavniku, interaktivni sugovornik i alat za učenje programiranja, čime je omogućeno povezivanje kognitivnih, motivacijskih i društvenih aspekata učenja. Takva uloga robota u skladu je s teorijskim spoznajama iz područja primjene robota u obrazovanju i interakcije čovjeka i robota, prema kojima društvena prisutnost i interaktivnost robota mogu značajno utjecati na angažman i stavove učenika.

Kako bi se dodatno osigurala pouzdanost mjerenja i umanjio utjecaj početne fascinacije tehnologijom, istraživački dizajn uključivao je prethodno iskustvo učenika s čovjekolikim robotom. Prije provedbe glavne nastavne intervencije, učenici su sudjelovali u aktivnostima u kojima je čovjekoliki robot korišten u okviru nastave Engleskog jezika, prema načelima učenja temeljenog na zadacima (engl. *Task Based Learning* – TBL). Time je osigurano da u fazi istraživanja učenici percipiraju čovjekolikog robota kao poznat obrazovni alat, a ne kao potpuno novu i nepoznatu tehnologiju te se smanjio efekt početnog uzbuđenja. Osim toga, na taj način identificirane su i otklonjene tehničke poteškoće te su razvijene strategije za njihovo otklanjanje prilikom korištenja robota u nastavi. Dizajn istraživanja prikazan je Slikom 3.1.



Slika 2 Dizajn istraživanja

Napomena. Slika 2 prikazuje ishode učenja iz predmeta Engleski jezik i Informatika u šestom razredu osnovne škole.

Odabran istraživački dizajn omogućuje istodobno ispitivanje prihvaćanja tehnologije, motivacije i stavova učenika u stvarnom obrazovnom kontekstu te empirijsku provjeru teorijskog modela prihvaćanja tehnologije u području primjene robota u obrazovanju. Kvantitativni pristup, u kombinaciji s planskom i pedagoški utemeljenom nastavnom intervencijom, omogućuje primjenu statistički utemeljenih analitičkih postupaka te doprinosi znanstvenoj rigoroznosti i metodološkoj dosljednosti istraživanja. Na taj način istraživački dizajn predstavlja jasnu poveznicu između teorijskih postavki razrađenih u prethodnim poglavljima i empirijske analize predstavljene u nastavku rada, osiguravajući koherentnost, transparentnost i interpretativnu jasnoću cjelokupnog istraživačkog procesa.

3.3 Strategija uzorkovanja, formiranja skupina i opis sudionika

Sudionici istraživanja učenici su petih, šestih i sedmih razreda osnovne škole, raspoređeni u kontrolne i eksperimentalne skupine na razini razrednih odjela, u skladu s kvazi-eksperimentalnim dizajnom istraživanja. Ukupno je u istraživanje bilo uključeno trinaest razrednih odjela, kao i tri učiteljice Informatike koje su provodile nastavne aktivnosti u obje skupine.

Sudionici istraživanja bili su učenici koji se školuju prema redovitom, individualiziranom i prilagođenom obrazovnom programu, čime je osigurana uključenost učenika s različitim obrazovnim potrebama u stvarnome školskom okruženju. Uključivanje učenika koji pohađaju individualizirani i prilagođeni program provedeno je u skladu s važećim pedagoškim smjernicama i uz osiguravanje primjerenih prilagodbi nastavnih aktivnosti i mjernih instrumenata.

Formiranje eksperimentalne i kontrolne skupine temeljilo se na postojećoj strukturi razrednih odjela, a ne na slučajnom odabiru pojedinačnih učenika. Raspodjela sudionika provedena je na razini razrednih odjela, što je u skladu s kvazi-eksperimentalnim istraživačkim dizajnom i etičkim zahtjevima obrazovnog konteksta.

U eksperimentalnim skupinama provedene su nastavne aktivnosti koje su uključivale primjenu čovjekolikog robota u nastavi Informatike, dok se u kontrolnim skupinama nastava odvijala na

uobičajen način, bez primjene robota. Takva strategija omogućila je usporedbu učinaka nastavnih aktivnosti uz primjenu robota na motivaciju, stavove i prihvaćanje tehnologije kod učenika različitih obrazovnih profila.

Odabrana strategija uzorkovanja i formiranja skupina omogućuje ispitivanje odnosa motivacijskih, afektivnih i tehnoloških čimbenika u inkluzivnom obrazovnom okruženju. Iako uzorak nije reprezentativan u statističkom smislu, on je kontekstualno, pedagoški i teorijski relevantan za ciljeve ove disertacije te osigurava visoku ekološku valjanost istraživanja.

Na temelju rezultata inicijalnog testa, razredna su odjeljenja rangirana prema prosječnom postignuću. U svaku skupinu uključeno je po jedno razredno odjeljenje s višim i jedno odjeljenje s nižim prosječnim rezultatom, kako bi se postigla što veća usporedivost kontrolne i eksperimentalne skupine u početnoj fazi istraživanja. Time je osigurano da razlike u postignućima na završnom mjerenju mogu biti pripisane primijenjenoj intervenciji, a ne početnim razlikama između razrednih odjeljenja. Raspodjela sudionika istraživanja u eksperimentalne i kontrolne skupine i prema dobnim skupinama prikazana je u Tablici 2.

Tablica 2 Raspodjela sudionika prema dobnim skupinama

Dobna skupina	Eksperimentalna skupina	Kontrolna skupina	Ukupno
5. razred	55 učenika	34 učenika	89 učenika
6. razred	40 učenika	46 učenika	86 učenika
7. razred	56 učenika	33 učenika	89 učenika
Ukupno	151 učenik	113 učenika	264 učenika

3.4 Instrumenti korišteni za prikupljanje podataka

U istraživanju je korišten kombinirani skup kvantitativnih mjernih instrumenata (Milas, 2005) s ciljem prikupljanja podataka o motivaciji učenika, stavovima prema obrazovnim robotima te ostvarenju ishoda učenja u nastavi Informatike uz primjenu čovjekolikog robota NAO. Motivacija učenika mjerena je Upitnikom motivacije za obrazovne materijale (engl. *Instructional Materials Motivation Survey* – IMMS), stavovi učenika mjereni su Ljestvicom stavova prema obrazovnim

robotima (engl. *Educational Robot Attitude Scale* – ERAS), dok su se za mjerenje ishoda učenja koristili testovi znanja.

Instrumenti su odabrani i prilagođeni u skladu s ciljevima istraživanja, postavljenim hipotezama i istraživačkim pitanjima, kao i s obzirom na dob sudionika i obrazovni kontekst osnovne škole.

Instrumenti za mjerenje motivacije i stavova učenika korišteni su u eksperimentalnim skupinama, dok su instrumenti za mjerenje ishoda učenja korišteni u eksperimentalnim i u kontrolnim skupinama, pri čemu su podaci prikupljeni prije, tijekom i nakon provedbe nastavnih aktivnosti. Način konstrukcije, prilagodbe i provjere metrijskih obilježja instrumenata detaljno je opisan u Poglavlju 3.5.

3.4.1 Upitnik motivacije za obrazovne materijale (IMMS)

Motivacija učenika mjerena je Upitnikom motivacije za obrazovne materijale (engl. *Instructional Materials Motivation Survey* – IMMS), koji je utemeljen na Kellerovu ARCS modelu motivacije. IMMS je korišten kako bi se ispitalo u kojoj mjeri primjena čovjekolikog robota NAO u podučavanju Informatike utječe na motivaciju učenika tijekom nastavnih aktivnosti, u skladu s hipotezama H1 i H2 te istraživačkim pitanjem IP1. Upitnik je prilagođen kontekstu istraživanja tako da se sve tvrdnje odnose na stvarno iskustvo učenika u radu s čovjekolikim robotom, uz jezičnu prilagodbu primjerenosti učenicima petih, šestih i sedmih razreda. Važno je naglasiti kako se u ovom istraživanju ne mjeri opća akademska motivacija učenika za predmet Informatika, već specifična motivacija za učenje u kontekstu primjene čovjekolikog robota kao nastavnog alata. Time se osigurava konceptualna usklađenost između teorijskog konstrukta i konkretne nastavne intervencije.

Mjerni instrument za ispitivanje motivacije učenika za učenje Informatike uz primjenu čovjekolikog robota sastoji se od 17 čestica, oblikovanih kao tvrdnje na petostupanjskoj Likertovoj skali (od 1 – uopće se ne slažem do 5 – u potpunosti se slažem). Instrument obuhvaća različite dimenzije motivacije, uključujući percipiranu korisnost robota, emocionalne reakcije, angažman u učenju te zadovoljstvo korištenjem robota. Mjerni instrument obuhvaća čestice koje ispituju kognitivne, afektivne i bihevioralne aspekte motivacije učenika za učenje Informatike uz primjenu čovjekolikog robota. U nastavku su navedene neke od reprezentativnih čestica:

- Učenje Informatike uz pomoć robota čini mi se zanimljivijim nego uobičajena nastava.

- Robot me potiče da se više trudim tijekom nastave Informatike.
- Zabavno mi je učiti kada je robot uključen u nastavu.
- Osjećam se motiviranije sudjelovati u nastavnim aktivnostima kada koristimo robota.
- Korištenje robota pomaže mi da lakše razumijem nastavne sadržaje.
- Volio/voljela bih češće koristiti robota u nastavi Informatike.

Cjelokupan popis čestica prikazan je u prilogu.

3.4.2 Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima (ERAS)

Stavovi učenika prema primjeni obrazovnih robota mjereni su Ljestvicom stavova prema obrazovnim robotima (engl. *Educational Robot Attitude Scale* – ERAS). Instrument omogućuje procjenu emocionalnih i kognitivnih aspekata stavova učenika prema robotima u obrazovnom kontekstu te obuhvaća dimenzije poput angažmana, uživanja, namjere korištenja i anksioznosti.

Mjerni instrument korišten je za ispitivanje odnosa između stavova učenika prema čovjekolikom robotu, njihove motivacije i ostvarenja ishoda učenja, u skladu s istraživačkim pitanjem IP2. Instrument je prilagođen tako da se tvrdnje odnose na stvarno iskustvo interakcije učenika s čovjekolikim robotom NAO u podučavanju Informatike, a ne na opće ili hipotetske stavove.

Mjerni instrument za ispitivanje stavova sastoji se od 17 čestica, oblikovanih kao tvrdnje na petostupanjskoj Likertovoj skali (od 1 – uopće se ne slažem do 5 – u potpunosti se slažem). Instrument obuhvaća različite aspekte stavova učenika prema čovjekolikom robotu u obrazovnom kontekstu uključujući opću prihvaćenost robota, doživljaj njegove korisnosti u učenju, emocionalne reakcije na rad s robotom te spremnost na nastavak korištenja robota u nastavi. Čestice koje ispituju kognitivnu komponentu stavova (uvjerenja i procjene korisnosti), afektivnu (emocije i osjećaje povezane s radom s robotom) te bihevioralnu komponentu (namjere i sklonost budućem korištenju robota). U nastavku su navedene neke od reprezentativnih čestica:

- Robot mi pomaže da bolje razumijem nastavne sadržaje Informatike.
- Sviđa mi se kada je robot uključen u nastavu Informatike.
- Rad s robotom čini nastavu zanimljivijom.
- Osjećam se ugodno dok radim s robotom tijekom nastave.
- Smatram da bi robota trebalo češće koristiti u nastavi.
- Volio/voljela bih ponovno sudjelovati u nastavi u kojoj se koristi robot.

Cjelokupan popis čestica prikazan je u prilogu.

3.4.3 Testovi znanja za vrednovanje ishoda učenja

Ostvarenje ishoda učenja mjerilo se testovima znanja prije, tijekom i nakon provedbe intervencije, čime je omogućena longitudinalna i sveobuhvatna procjena učeničkih postignuća. Testovi znanja konstruirani su sustavno, u skladu s nacionalnim kurikulumom za nastavni predmet Informatika te s ishodima učenja predviđenima nastavnim aktivnostima koje uključuju primjenu čovjekolikog robota NAO.

Testove su izradila tri stručnjaka iz područja metodike nastave Informatike i obrazovne tehnologije, čime je osigurana visoka razina stručne utemeljenosti instrumenta i ojačana njegova sadržajna valjanost. Proces izrade uključivao je višekratne stručne konzultacije radi usuglašavanja zastupljenosti sadržajnih cjelina, razine zahtjevnosti te preciznosti i jasnoće formulacija zadataka. Zadaci su sustavno usklađeni s definiranim ishodima učenja i razinama kognitivnih procesa prema revidiranoj Bloomovoj taksonomiji, čime je osigurana uravnotežena zastupljenost različitih razina znanja, od razumijevanja i primjene do analize i vrednovanja te primjerena kognitivna složenost i diferencijacijska vrijednost zadataka u skladu s ciljevima istraživanja i karakteristikama ispitivane populacije. U testove su uključeni zadaci zatvorenog i poluotvorenog tipa te problemski zadaci kojima se ispituje razumijevanje, primjena i analiza programskih koncepata.

Nakon inicijalne izrade zadaci su podvrgnuti stručnoj recenziji radi provjere sadržajne primjerenosti, jasnoće formulacija i usklađenosti s dobi učenika. Testovi su potom pretpilotirani na uzorku učenika sličnih karakteristika ciljanoj populaciji kako bi se provjerila razumljivost zadataka, primjerenost težine i predviđeno vrijeme rješavanja. Na temelju rezultata pilotiranja izvršene su dorade formulacija, distraktora i sustava bodovanja, čime je dodatno unaprijeđena kvaliteta i pouzdanost mjernog instrumenta.

Inicijalni test znanja korišten je za utvrđivanje početne razine znanja i provjeru ekvivalentnosti eksperimentalne i kontrolne skupine, dok je završni test primijenjen nakon provedbe intervencije radi utvrđivanja promjena u razini znanja, u skladu s hipotezom H2. Tijekom provedbe intervencije realizirane su tri provjere znanja u okviru kojih su vrednovani projektni zadaci prema unaprijed definiranim kriterijima i analitičkim rubrikama. Inicijalni test znanja za učenike petoga razreda sadržavao je zadatke povezane s programskim okruženjem Scratch. Ti su zadaci obuhvaćali prethodno stečena znanja učenika iz četvrtoga razreda te su služili isključivo za procjenu njihove

početne razine znanja prije provedbe eksperimenta. Scratch se nije koristio tijekom nastavne intervencije. Učenici petoga razreda u okviru eksperimenta prvi su se put susreli s programskim jezikom Python, u kojem su provedene nastavne aktivnosti i sve provjere znanja tijekom i nakon intervencije.

Mjerni instrumenti korišteni u ovom istraživanju omogućili su prikupljanje relevantnih i pouzdanih podataka o motivaciji učenika, stavovima prema obrazovnim robotima i ostvarenju ishoda učenja u nastavi Informatike uz primjenu čovjekolikog robota NAO. Njihova kombinirana primjena osigurala je metodološki utemeljenu osnovu za testiranje postavljenih hipoteza i istraživačkih pitanja u okviru ove disertacije.

Takav strukturirani pristup osigurao je dosljednost, transparentnost i objektivnost postupka procjene te pouzdanost dobivenih rezultata. Primjeri pojedinih testova znanja i projektnih zadataka prikazani su u prilogu.

Mjerni instrumenti korišteni u ovom istraživanju omogućili su prikupljanje relevantnih i pouzdanih podataka o motivaciji učenika, stavovima prema obrazovnim robotima i ostvarenju ishoda učenja u nastavi Informatike uz primjenu čovjekolikog robota NAO. Njihova kombinirana primjena osigurala je metodološki utemeljenu osnovu za testiranje postavljenih hipoteza i istraživačkih pitanja u okviru ove disertacije.

3.5 Valjanost i pouzdanost mjernih instrumenata

Prije statističke obrade prikupljenih podataka ispitana je valjanost i pouzdanost mjernih instrumenata. Upitnik motivacije za obrazovne materijale i Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima prilagođeni su kontekstu istraživanja. Taj je proces uključivao analizu teorijskog okvira i konstrukata koje instrumenti mjere, prilagodbu formulacija čestica dobi i iskustvu sudionika te konzultacije sa stručnjacima, čime je osigurana njihova sadržajna primjerenost (Creswell, 2009). Dodatno je provedeno pilot-istraživanje na manjem uzorku kako bi se provjerila razumljivost i prikladnost čestica prije njihove primjene u glavnom istraživanju.

U sljedećem koraku provedena je procjena psihometrijskih svojstava upitnika primjenom parcijalnog modeliranja strukturnih jednadžbi (PLS-SEM), što je u skladu s preporukama za evaluaciju reflektivnih mjernih modela (Hair i sur., 2022). Za procjenu pouzdanost indikatora analizirana su faktorska opterećenja. Cronbachov alfa koeficijent, ρ_A i kompozitna pouzdanost korišteni su za procjenu unutarnje konzistentnosti konstrukata. Konvergentna valjanost procijenjena je pomoću prosječno izdvojene varijance (AVE), a diskriminantna valjanost primjenom heterotrait–monotrait omjera (engl. Heterotrait–Monotrait Ratio - HTMT).

Važno je pritom naglasiti da PLS-SEM pristup u ovom istraživanju nije primijenjen za procjenu strukturnih odnosa među konstruktima niti za usporedbu eksperimentalne i kontrolne skupine. Primijenjen je isključivo za procjenu psihometrijskih svojstava korištenih mjernih instrumenata, odnosno njihovih reflektivnih mjernih modela. Procjena Upitnika motivacije za obrazovne materijale provedena je samo na podacima učenika eksperimentalne skupine. Upitnik je bio sadržajno prilagođen iskustvu učenja uz primjenu čovjekolikog robota te njegove čestice nisu bile primjenjive na učenike kontrolne skupine, koji nisu sudjelovali u takvu obliku nastave. Stoga PLS-SEM analiza ovog instrumenta nije obuhvatila cjelokupan uzorak istraživanja, nego samo učenike koji su imali iskustvo rada s robotom. Rezultate povezane s motivacijom potrebno je tumačiti kao nalaze koji opisuju iskustvo učenika eksperimentalne skupine, a ne kao izravan dokaz razlika u motivaciji između dviju skupina.

Pouzdanost testova za provjeru znanja procijenjena je primjenom Cronbachova alfa koeficijenta za sva provedena mjerenja (početna provjera znanja, tri provjere tijekom intervencije i završna provjera znanja). Dobivene vrijednosti interpretirane su u skladu s metodološkim preporukama za obrazovna istraživanja, uzimajući u obzir heterogenost sadržaja testova i različite kognitivne razine zadataka, što može utjecati na razinu unutarnje konzistentnosti (Garay-Rondero i sur., 2020).

Na temelju provedenih postupaka može se zaključiti da su primijenjeni mjerni instrumenti pokazali zadovoljavajuća psihometrijska svojstva te pružaju pouzdanu osnovu za interpretaciju dobivenih rezultata.

3.6 Proces prikupljanja podataka

U provedbi istraživanja sudjelovale su tri učiteljice Informatike, koji su imali ključnu ulogu u organizaciji i provedbi nastavnih aktivnosti u kontrolnim i eksperimentalnim skupinama. Učiteljice su provodile nastavu u skladu s važećim kurikulumom te su, u eksperimentalnim skupinama, integrirale čovjekolikog robota u nastavne aktivnosti prema unaprijed pripremljenim scenarijima podučavanja. Njihova je uloga bila osigurati pedagoški primjereno i inkluzivno okruženje, kontinuitet nastave te prilagodbu aktivnosti učenicima koji se školuju prema redovitom, individualiziranom i prilagođenom obrazovnom programu.

Za planiranje istraživačkog postupka, pripremu i prilagodbu mjernih instrumenata, koordinaciju provedbe istraživanja te nadzor nad procesom prikupljanja podataka bio je zadužen istraživač. Tijekom administracije upitnika osiguravani su standardizirani uvjeti ispunjavanja, davane su upute učenicima te je nadzirano poštivanje etičkih načela istraživanja uključujući dobrovoljnost sudjelovanja i zaštitu osobnih podataka.

Za prikupljanje podataka korišten je alat Microsoft Forms, koji je dio paketa Microsoft 365 Copilot. Učenici su upitnike ispunjavali koristeći svoje AAI@Edu.Hr identitete, koje redovito koriste u okviru školskog sustava, čime je osigurana autentifikacija sudionika unutar službenog obrazovnog okruženja. Na taj je način osigurano sigurno i kontrolirano *online* okruženje za prikupljanje podataka, u skladu s važećim pravilima digitalne sigurnosti i zaštite osobnih podataka.

Primjena digitalnog alata omogućila je standardiziranu i učinkovitu administraciju upitnika, smanjenje mogućnosti pogrešaka pri unosu podataka te pouzdanu pohranu prikupljenih podataka u zaštićenom institucionalnom sustavu, dostupnom isključivo istraživaču. Time je dodatno osigurana metodološka dosljednost i vjerodostojnost procesa prikupljanja podataka.

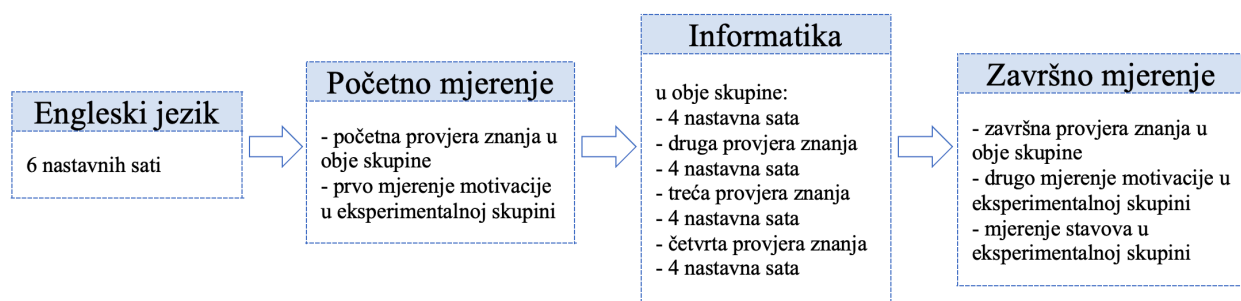
Proces prikupljanja podataka proveden je prema unaprijed definiranom vremenskom slijedu, usklađenom s kvazi-eksperimentalnim dizajnom istraživanja. Inicijalne provjere znanja provedene su prije početka nastavne intervencije u svim uključenim razrednim odjeljenjima, kako u eksperimentalnim tako i u kontrolnim skupinama, s ciljem utvrđivanja početne razine znanja

učenika i osiguravanja usporedivosti skupina. U inicijalnoj provjeri znanja učenika petoga razreda dio zadataka odnosio se na Scratch, koji su učenici koristili u četvrtome razredu. Sve nastavne aktivnosti povezane s programiranjem, kao i provjere znanja tijekom i nakon intervencije, provedene su u programskom jeziku Python.

Tijekom provedbe eksperimenta u svim je razrednim odjelima provedeno vrednovanje projektnih zadataka pomoću tri provjere znanja, koje su služile za praćenje napretka učenika i kontinuirano vrednovanje ostvarenih ishoda učenja. Navedene provjere provedene su u skladu s nastavnim sadržajima i planiranim ishodima učenja te su bile dio redovitog nastavnog procesa.

Po završetku nastavne intervencije u svim je razrednim odjeljenjima provedena završna provjera znanja, kojom se procjenjivala razina usvojenosti nastavnih sadržaja nakon provedbe eksperimenta.

Mjerenje motivacije i stavova provedeno je isključivo u eksperimentalnoj skupini jer je cilj istraživanja bio ispitati specifičnu situacijsku motivaciju učenika za učenje uz primjenu čovjekolikog robota, a ne njihovu opću akademsku motivaciju. Budući da su samo učenici u eksperimentalnoj skupini imali strukturirano i višekratno iskustvo rada s robotom u nastavi, jedino je u tim skupinama bilo metodološki opravdano mjeriti motivaciju povezanu s tim iskustvom. Tijek prikupljanja podataka prikazan je Slikom 3.2.



Slika 3 Tijek prikupljanja podataka

U ovom istraživanju motivacija nije operacionalizirana kao stabilna osobina učenika niti kao opća motivacija za predmet Informatika, već kao kontekstualno uvjetovana motivacija za rad s čovjekolikim robotom NAO. Takav pristup u skladu je s teorijskim okvirom ARCS modela, koji motivaciju promatra kao reakciju na specifično oblikovan nastavni materijal i okruženje.

Mjerenje opće akademske motivacije u kontrolnoj skupini ne bi bilo u skladu s ciljem istraživanja jer kontrolna skupina nije bila izložena intervenciji koja uključuje robota, pa se ne bi mogla ispitivati motivacija za rad s tehnologijom koja nije korištena. Time je izbjegnuta konceptualna neusklađenost između mjerenog konstrukta i stvarnog nastavnog iskustva učenika.

3.7 Etička razmatranja

Istraživanje je provedeno u skladu s temeljnim etičkim načelima znanstvenog istraživanja u području obrazovanja (Milas, 2005), uz poštivanje ljudskih prava i dostojanstva struke, zadržavanje visoke razine kompetentnosti, prihvaćajući stručnu i znanstvenu odgovornost, uz promicanje integriteta znanosti i struke. Svi postupci planiranja, provedbe i obrade podataka osmišljeni su tako da osiguraju dobrovoljno sudjelovanje, informiranost sudionika, njihovih roditelja i skrbnika, povjerljivost podataka te minimiziranje mogućih rizika povezanih s istraživačkim aktivnostima.

Prije početka istraživanja pribavljena su potrebna institucionalna i roditeljska odobrenja. Ravnatelj škole u kojoj je provedeno istraživanje dao je pisani pristanak za provedbu istraživanja u školskom okruženju, čime je potvrđeno kako su planirane istraživačke aktivnosti u skladu s organizacijskim, pedagoškim i sigurnosnim pravilima ustanove. Pristanak ravnatelja priložen je dokumentaciji disertacije i dio je priloga. Nadalje, roditelji odnosno zakonski skrbnici svih učenika uključenih u istraživanje potpisali su pisani informirani pristanak, u kojem su bili detaljno upoznati s ciljevima istraživanja, vrstom i trajanjem nastavnih aktivnosti, načinom prikupljanja podataka, mjerama zaštite privatnosti te pravima sudionika.

Roditeljima i skrbnicima jasno je istaknuto da je sudjelovanje djece u istraživanju u potpunosti dobrovoljno, da mogu u bilo kojem trenutku povući suglasnost bez ikakvih negativnih posljedica za dijete te da odbijanje sudjelovanja ne utječe na nastavne obveze niti na ocjenjivanje učenika. Obrazac pisanog pristanka roditelja/skrbnika za sudjelovanje djece u istraživanju nalazi se među prilogima disertaciji. Učenici su također, na njima primjeren način (usmeno i u pisanom obliku), informirani o svrsi istraživanja te su prije ispunjavanja upitnika dali svoj pristanak za sudjelovanje. Dodatno, etička prihvatljivost istraživanja formalno je potvrđena mišljenjem Etičkog povjerenstva Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta organizacije i informatike, koje je razmotrilo nacrt istraživanja i

zaključilo da je provedba istraživanja etički prihvatljiva te u skladu sa smjernicama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu. Navedeno službeno mišljenje priloženo je dokumentaciji disertacije.

Posebna pažnja posvećena je zaštiti privatnosti i anonimnosti sudionika. Tijekom istraživanja nisu prikupljani osobni identifikacijski podaci učenika, a svi odgovori obrađivani su isključivo u anonimiziranom obliku. Prikupljeni podaci pohranjeni su na zaštićenim digitalnim medijima dostupnima isključivo istraživaču te su korišteni isključivo u znanstveno-istraživačke svrhe.

Istraživačke aktivnosti provedene su tijekom redovne i izborne nastave Informatike, bez dodatnog opterećenja učenika i bez narušavanja redovnog nastavnog procesa. Interakcija s čovjekolikim robotom NAO bila je pedagoški strukturirana, kontrolirana i sigurna, a učenici su u svakom trenutku bili pod nadzorom učiteljica. Robot je korišten u skladu s tehničkim i sigurnosnim smjernicama proizvođača, čime su izbjegnuti potencijalni fizički i psihološki rizici.

Cjelokupni istraživački postupak proveden je u skladu s važećim nacionalnim propisima, institucionalnim pravilnicima te općeprihvaćenim načelima dobre znanstvene prakse. Time je osigurano da istraživanje bude etički utemeljeno, transparentno i usmjereno na zaštitu sudionika, uz očuvanje znanstvene vjerodostojnosti i integriteta istraživanja.

4 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1 Analiza učinka intervencije na motivaciju učenika

U ovom poglavlju prikazani su rezultati testiranja hipoteze H1, kojom se pretpostavlja da primjena čovjekolikog robota NAO pozitivno utječe na motivaciju učenika. Prije testiranja hipoteze provedena je provjera početne ekvivalentnosti eksperimentalne i kontrolne skupine kako bi se osiguralo da eventualne razlike u kasnijim analizama mogu biti povezane s učinkom intervencije, a ne s početnim razlikama između skupina. Nakon provjere početne usporedivosti skupina provedeno je ispitivanje pouzdanosti i valjanosti Upitnika motivacije za obrazovne materijale, mjernog instrumenta koji se koristio za procjenu motivacije učenika u ovom istraživanju.

Naposljetku provedene su statističke analize usmjerene na ispitivanje ukupne motivacije i motivacijskih konstrukata dobivenih primjenom Upitnika motivacije za obrazovne materijale. Analiza je provedena u tri koraka: najprije je ispitana početna ekvivalentnost skupina, zatim je provedeno ispitivanje pouzdanosti i valjanosti mjernog instrumenta, a naposljetku je provedeno testiranje postavljene hipoteze.

4.1.1 Provjera početne usporedivosti skupina

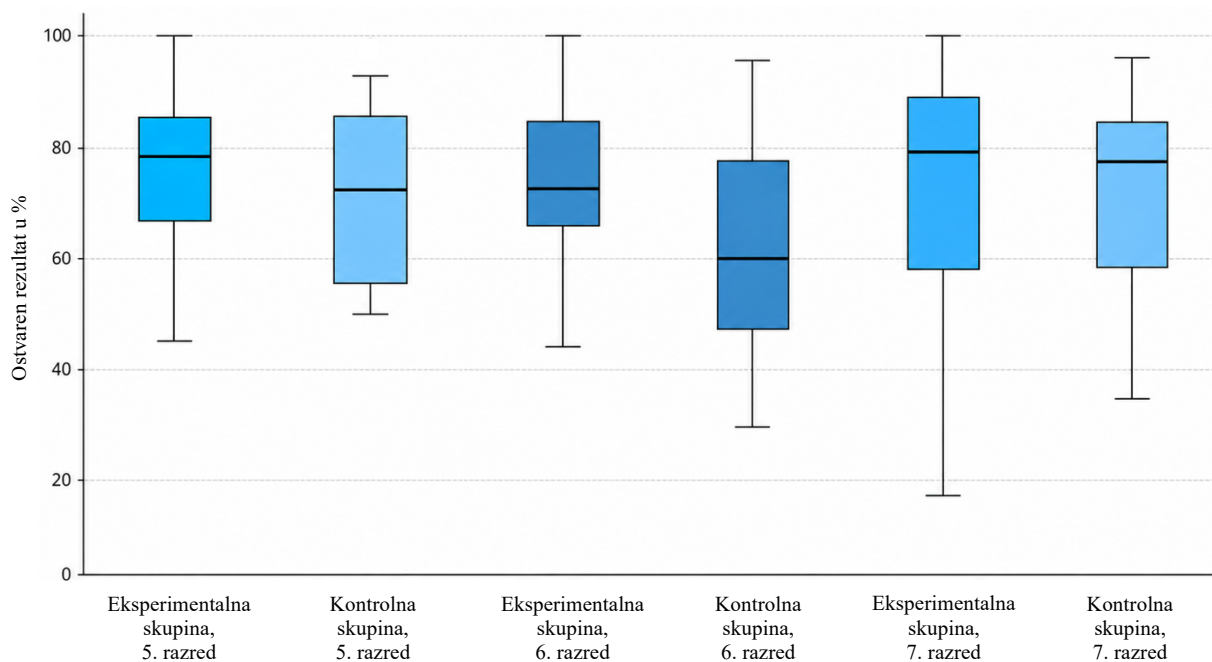
Prije analize učinka intervencije ispitana je početna usporedivost eksperimentalne i kontrolne skupine na rezultatima početne provjere znanja za svaku dobnu skupinu sudionika (učenike petog, šestog i sedmog razreda). Normalnost distribucije rezultata unutar skupina procijenjena je primjenom Shapiro–Wilk testa, a analiza je provedena zasebno za svaku dobnu skupinu. U slučajevima manjih odstupanja od normalnosti razmotreni su i grafički prikazi distribucije (histogrami i Q–Q dijagrami) te vrijednosti asimetrije i spljoštenosti. Budući da veličine uzoraka u svim skupinama omogućuju primjenu parametrijskih postupaka koji se u literaturi smatraju relativno robusnima na umjerena odstupanja od normalnosti, za usporedbu skupina primijenjen je t-test za nezavisne uzorke (Blanca i sur., 2017). Pretpostavka homogenosti varijanci provjerena je Leveneovim testom, a uz statističku značajnost izračunata je i veličina učinka (Cohenov d). U Tablici 3 prikazani su rezultati analize početne usporedivosti eksperimentalne i kontrolne skupine prije provedbe intervencije.

Tablica 3 Početna usporedivost eksperimentalne i kontrolne skupine

Dobna skupina	Skupina	N	M	SD	t	df	p	Cohenov d
5. razred	Eksperimentalna	55	10.56	2.19				
	Kontrolna	34	9.85	2.02	1.531	87	.129	0.34
6. razred	Eksperimentalna	30	68.59	17.82				
	Kontrolna	32	63.61	18.38	1.082	60	.284	0.27
7. razred	Eksperimentalna	51	71.95	23.51				
	Kontrolna	30	72.92	16.95	-0.199	79	.843	-0.05

Rezultati analize pokazali su kako između eksperimentalne i kontrolne skupine nije bilo statistički značajnih razlika u početnoj razini znanja ni u jednoj dobnoj skupini sudionika. Pretpostavka homogenosti varijanci bila je zadovoljena među svim dobnim skupinama sudionika (Leveneov test, $p > .05$), što je omogućilo primjenu t-testa za nezavisne uzorke. Dobivene razlike između skupina bile su male i statistički neznajne: u petom razredu $t(87) = 1.531$, $p = .129$, $d = 0.34$; u šestom razredu $t(60) = 1.082$, $p = .284$, $d = 0.27$; te u sedmom razredu $t(79) = -0.199$, $p = .843$, $d = -0.05$. Deskriptivni rezultati pokazali su da su prosječne vrijednosti eksperimentalnih i kontrolnih skupina u svim dobnim skupinama sudionika bile vrlo slične.

Manja odstupanja od normalnosti distribucije zabilježena su u eksperimentalnim skupinama svih razreda. U petom razredu Shapiro–Wilkov test pokazao je statistički značajno odstupanje ($p < .05$), u šestom razredu dobivena je granična vrijednost ($W = 0.930$, $p = .048$), dok je u sedmom razredu utvrđeno odstupanje od normalnosti u eksperimentalnoj skupini ($W = 0.899$, $p < .001$), a u kontrolnoj skupini distribucija nije značajno odstupala od normalne ($W = 0.949$, $p = .155$). S obzirom na veličine uzoraka i činjenicu da parametrijski postupci pokazuju relativnu robusnost na umjerena odstupanja od normalnosti, primjena t-testa smatrana je metodološki opravdanom. Na Slici 4 prikazane su box-plot distribucije rezultata početne provjere znanja u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika petih, šestih i sedmih razreda.



Slika 4 Box-plot prikaz distribucije rezultata početne provjere znanja u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini

Box-plot prikazi distribucije rezultata početne provjere znanja pokazali su da su medijani i interkvartilni rasponi eksperimentalne i kontrolne skupine vrlo slični, uz značajno preklapanje distribucija, što dodatno potvrđuje početnu usporedivost skupina. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da su eksperimentalne i kontrolne skupine u svim dobnim skupinama bile međusobno usporedive u početnoj razini znanja prije provedbe intervencije.

4.1.2 Ispitivanje pouzdanosti i valjanosti Upitnika motivacije za obrazovne materijale

Za procjenu motivacije sudionika u ovom istraživanju korišten je Upitnik motivacije za obrazovne materijale (engl. *Instructional Materials Motivation Survey – IMMS*), temeljen na ARCS modelu motivacije (engl. *attention, relevance, confidence, satisfaction*) koji je razvio Keller (1987). Prema ovom modelu, motivacija za učenje proizlazi iz međudjelovanja četiriju ključnih dimenzija: privlačenja i održavanja pažnje učenika, percepcije relevantnosti nastavnog sadržaja, osjećaja povjerenja u vlastite sposobnosti učenja te zadovoljstva postignutim rezultatima (Keller, 2010). Budući da je u ovom istraživanju Upitnik motivacije za obrazovne materijale prilagođen

specifičnom kontekstu učenja uz primjenu čovjekolikog robota u nastavi Informatike, prije provedbe glavnih statističkih analiza bilo je potrebno prilagoditi ga specifičnom kontekstu te provjeriti pouzdanost i valjanost mjernog instrumenta.

4.1.2.1 Prilagodba mjernog instrumenta

Prije primjene mjernog instrumenta provedena je analiza njegova teorijskog okvira, konstrukata koje mjeri te konteksta u kojem je izvorno razvijen. Prema Creswellu (2009), razumijevanje konstrukata i varijabli koje instrument mjeri predstavlja ključan korak u planiranju kvantitativnog istraživanja. U skladu s tim, posebna je pozornost posvećena sadržaju i formulacijama čestica kako bi se osigurala njihova razumljivost i primjerenost ciljanoj skupini sudionika.

Formulacije pojedinih tvrdnji prilagođene su jeziku, dobi i iskustvu sudionika, uz zadržavanje izvorne namjene čestica. Također su provedene konzultacije sa stručnjacima iz područja obrazovanja i metodike nastave kako bi se procijenila prikladnost terminologije i sadržaja čestica te osigurala sadržajna valjanost instrumenta.

Nakon prilagodbe mjerni je instrument ispitan u pilot-istraživanju na manjem uzorku sudionika, s ciljem provjere razumljivosti čestica i prikladnosti upitnika prije njegove primjene u glavnom istraživanju (Creswell, 2009). Povratne informacije sudionika korištene su za dodatnu doradu formulacija pojedinih čestica. Primijenjeni izvorni mjerni instrument sadrži ukupno 17 čestica za mjerenje četiriju konstrukata: Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo. Sudionici su procjenjivali svaku tvrdnju na petostupanjskoj Likertovoj skali (1 – u potpunosti se ne slažem, 5 – u potpunosti se slažem).

4.1.2.2 Procjena mjernog instrumenta

Procjena pouzdanosti i valjanosti mjernog instrumenta provedena je korištenjem softverskog paketa SmartPLS (verzija 4), u skladu s preporukama za vrednovanje reflektivnih mjernih modela u okviru PLS-SEM pristupa (Hair i sur., 2022). Procjena Upitnika motivacije za obrazovne materijale provedena je na podacima eksperimentalne skupine jer je instrument bio usmjeren na motivaciju učenika tijekom rada s čovjekolikim robotom. PLS-SEM postupak u ovom je dijelu korišten isključivo za procjenu pouzdanosti i valjanosti mjernog instrumenta, a ne za usporedbu eksperimentalne i kontrolne skupine. Ovaj pristup posebno je prikladan za istraživanja s kompleksnim modelima i reflektivnim konstrukcijama jer omogućuje istovremenu procjenu

pouzdanosti i valjanosti mjernih instrumenata (Hair i sur., 2022). Prema navedenim preporukama, procjena mjernog modela obuhvaća četiri ključna kriterija: pouzdanost indikatora (engl. *indicator reliability*), unutarnju konzistentnost konstrukata (engl. *internal consistency reliability*), konvergentnu valjanost (engl. *convergent validity*) i diskriminantnu valjanost (engl. *discriminant validity*). Dodatna prednost PLS-SEM pristupa jest njegova robusnost pri radu s manjim uzorcima, zbog čega je prikladan i za ovo istraživanje, u kojem omjer broja sudionika i čestica mjernog instrumenta iznosi približno 8.64 : 1 (147 sudionika i 17 čestica upitnika).

4.1.2.3 Pouzdanost indikatora

Pouzdanost indikatora procijenjena je analizom faktorskih opterećenja (engl. *outer loadings*) pojedinih čestica na pripadajuće konstrukte. Prema preporukama u literaturi, poželjno je da faktorska opterećenja budu veća od 0.70, dok se vrijednosti između 0.60 i 0.70 još uvijek mogu smatrati prihvatljivima u eksplorativnim istraživanjima (Hair i sur., 2022).

Početna analiza pokazala je da jedna čestica (Bojao/la sam se koristiti robota) ima niže faktorsko opterećenje od preporučene granice, zbog čega je narušavala pouzdanost mjernog instrumenta. Slijedom toga, ta je čestica uklonjena iz daljnje analize. Uklanjanje indikatora s niskim faktorskim opterećenjem uobičajena je praksa u PLS-SEM analizi kada takvi indikatori narušavaju pouzdanost i valjanost konstrukta (Hair i sur., 2022). Nakon njezina uklanjanja provedena je ponovna procjena mjernog modela, pri čemu su sva preostala faktorska opterećenja bila iznad preporučene granice. Faktorska opterećenja indikatora Upitnika motivacije za obrazovne materijale prikazana su u Tablici 4.

Tablica 4 Faktorska opterećenja indikatora Upitnika motivacije za obrazovne materijale

Čestica	Pažnja	Relevantnost	Povjerenje	Zadovoljstvo
Pažnja_1	0.854			
Pažnja_2	0.868			
Pažnja_3	0.787			
Pažnja_4	0.851			
Pažnja_5	0.873			
Pažnja_6	0.854			
Relevantnost_1		0.894		

Relevantnost_2	0.946	
Relevantnost_3	0.887	
Relevantnost_4	0.750	
Povjerenje_1		0.765
Povjerenje_2		0.688
Povjerenje_3		0.863
Povjerenje_4		0.824
Zadovoljstvo_1		0.815
Zadovoljstvo_2		0.936

Napomena. Prikazana su standardizirana faktorska opterećenja indikatora nakon uklanjanja čestice s nedovoljnim opterećenjem.

Rezultati pokazuju da su sva faktorska opterećenja veća od 0.60, dok većina prelazi preporučenu vrijednost od 0.70, što potvrđuje zadovoljavajuću pouzdanost indikatora.

4.1.2.4. Unutarnja konzistentnost konstrukata

Unutarnja konzistentnost konstrukata procijenjena je pomoću Cronbachova alfa koeficijenta, Dijkstra-Henselerova pokazatelja pouzdanosti (ρ_A) i kompozitne pouzdanosti (engl. *composite reliability* – CR). Prema metodološkim preporukama, vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta trebaju biti ≥ 0.70 , dok se vrijednosti kompozitne pouzdanosti trebaju kretati između 0.70 i 0.95 (Hair i sur., 2022). U Tablici 5 prikazani su pokazatelji unutarnje konzistentnosti i konvergentne valjanosti konstrukata.

Tablica 5 Pokazatelji unutarnje konzistentnosti i konvergentne valjanosti konstrukata

Konstrukt	Cronbach α	ρ_A	CR	AVE
Pažnja	0.922	0.923	0.939	0.720
Povjerenje	0.803	0.859	0.867	0.621
Relevantnost	0.892	0.901	0.926	0.760
Zadovoljstvo	0.717	0.842	0.870	0.770

Napomena. CR = kompozitna pouzdanost; AVE = prosječno izdvojena varijanca.

Dobiveni rezultati pokazali su da svi konstrukti zadovoljavaju preporučene kriterije unutarnje konzistentnosti. Vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta kreću se od 0.717 do 0.922, dok se vrijednosti kompozitne pouzdanosti kreću od 0.867 do 0.939, što potvrđuje visoku pouzdanost mjernog modela.

4.1.2.5 Konvergentna valjanost

Konvergentna valjanost procijenjena je pomoću prosječno izdvojene varijance (AVE). Prema metodološkim preporukama, vrijednost AVE trebala bi biti najmanje 0.50 (Hair i sur., 2022). Rezultati pokazuju da su sve vrijednosti AVE veće od 0.50, što potvrđuje zadovoljavajuću konvergentnu valjanost konstrukata.

4.1.2.6 Diskriminantna valjanost

Diskriminantna valjanost procijenjena je pomoću HTMT kriterija (Heterotrait–Monotrait Ratio). Preporučuje se da vrijednosti HTMT omjera budu niže od 0.90 (Hair i sur., 2022). U Tablici 6 prikazani su HTMT omjeri za procjenu diskriminantne valjanosti između konstrukata.

Tablica 6 HTMT omjeri za procjenu diskriminantne valjanosti konstrukata

Konstrukt	Pažnja	Povjerenje	Relevantnost	Zadovoljstvo
Pažnja	—			
Povjerenje	0.741	—		
Relevantnost	0.934	0.817	—	
Zadovoljstvo	0.911	0.758	0.849	—

Rezultati pokazuju kako većina parova konstrukata zadovoljava preporučeni kriterij diskriminantne valjanosti. Međutim, HTMT vrijednosti između konstrukata Pažnja i Relevantnost (0.934) te između konstrukata Pažnja i Zadovoljstvo (0.911) neznatno prelaze preporučeni prag. Budući da se radi o dimenzijama motivacije koje su dio istog teorijskog okvira ARCS modela, ovakvi rezultati mogu upućivati na konceptualnu povezanost konstrukata, a ne nužno na nedostatak diskriminantne valjanosti mjernog modela. Slične pojave zabilježene su u istraživanjima u kojima se primjenjuju višedimenzionalni motivacijski modeli, gdje se pojedine dimenzije djelomično preklapaju jer zajedno opisuju isti psihološki konstrukt (Keller, 2010; Henseler i sur., 2015). Ipak,

u istraživanjima konstrukata koji su teorijski blisko povezani, dopušta se i nešto viša granična vrijednost (do 0.95), osobito kada konstrukti pripadaju istom teorijskom modelu ili predstavljaju različite dimenzije istog fenomena (Henseler i sur., 2015).

Takav nalaz upućuje na snažnu konceptualnu povezanost pojedinih dimenzija motivacije, što je očekivano s obzirom na zajednički teorijski okvir ARCS modela. Slični rezultati zabilježeni su i u drugim istraživanjima u kojima se koristio Upitnik motivacije za obrazovne materijale u specifičnim obrazovnim kontekstima (Keller, 2010).

4.1.2.7 Zaključak o psihometrijskim svojstvima instrumenta

Rezultati provedenih analiza pokazuju da prilagođena verzija Upitnika motivacije za obrazovne materijale pokazuje zadovoljavajuća psihometrijska svojstva. Analiza faktorskih opterećenja potvrdila je pouzdanost indikatora, dok su pokazatelji unutarnje konzistentnosti potvrdili visoku pouzdanost konstrukata. Također, rezultati procjene konvergentne valjanosti pokazali su da konstrukti u dovoljnoj mjeri objašnjavaju varijancu svojih indikatora.

Iako su pojedine HTMT vrijednosti blago premašile preporučeni prag, visoka unutarnja konzistentnost konstrukata i zadovoljavajuće AVE vrijednosti sugeriraju da mjerni model zadržava prihvatljivu razinu valjanosti, pri čemu povišene HTMT vrijednosti prije ukazuju na snažnu konceptualnu povezanost dimenzija motivacije nego na metodološki nedostatak modela. Budući da konstrukti Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo predstavljaju međusobno povezane dimenzije motivacije unutar ARCS modela, određena razina preklapanja među njima teorijski je očekivana (Keller, 2010). Slijedom navedenoga može se zaključiti da prilagođena verzija Upitnika motivacije za obrazovne materijale predstavlja pouzdan i valjan instrument za procjenu motivacije učenika u kontekstu učenja uz primjenu čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike. Upitnik motivacije za obrazovne materijale nalazi se u prilogu.

4.1.3 Testiranje hipoteze H1

Na temelju teorijskih polazišta i dosadašnjih empirijskih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju, formilirana je sljedeća hipoteza (H1): Primjena čovjekolikog robota pozitivno utječe na motivaciju učenika.

Kako bi se ispitalo procjenjuju li učenici aktivnosti u kojima sudjeluje čovjekoliki robot NAO kao motivirajuće, provedeno je testiranje hipoteze primjenom t-testa za jedan uzorak (engl. *one-sample*

t-test). Budući da je u istraživanju korištena Likertova skala od 1 do 5, neutralna vrijednost skale iznosi 3. U istraživanjima u području društvenih znanosti kompozitni rezultati dobiveni zbrajanjem ili prosječivanjem više čestica Likertove skale često se tretiraju kao približno intervalne varijable, što omogućuje primjenu parametrijskih statističkih metoda poput *t*-testa (Norman, 2010). *T*-test koristi se za ispitivanje postojanja statistički značajnog odstupanja prosječne vrijednosti promatranog konstrukta od zadane referentne vrijednosti, a uz rezultate testa preporučuje se i izvještavanje o veličini učinka (Lakens, 2013).

4.1.3.1 Analiza ukupne motivacije

Za potrebe dodatne provjere hipoteze H1 izračunata je ukupna motivacija sudionika kao kompozitna varijabla dobivena prosjekom svih čestica Upitnika motivacije za obrazovne materijale. Na temelju tako dobivenog rezultata provedeno je testiranje postojanja statistički značajnog odstupanja prosječne vrijednosti ukupne motivacije od neutralne vrijednosti Likertove skale (3) primjenom *t*-testa za jedan uzorak. Rezultati *t*-testa prikazani su u Tablici 7.

Tablica 7 Rezultati *t*-testa ukupne motivacije i motivacijskih konstrukata u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)

Varijabla	N	M	SD	t	df	p	Cohenov d
Motivacija	147	3.51	0.99	6.232	146	< .001	0.514
Pažnja	147	3.43	1.09	4.784	146	< .001	0.395
Relevantnost	147	3.34	1.17	3.497	146	< .001	0.288
Povjerenje	147	3.76	0.95	9.654	146	< .001	0.796
Zadovoljstvo	147	3.60	1.20	6.047	146	< .001	0.499

Napomena. Testna vrijednost = 3.

Rezultati prikazani u Tablici 7 pokazuju kako je prosječna vrijednost ukupne motivacije sudionika statistički značajno viša od neutralne vrijednosti skale. Srednja vrijednost ukupne motivacije iznosi $M = 3.51$ ($SD = 0.99$), a rezultat *t*-testa pokazuje statistički značajnu razliku u odnosu na neutralnu vrijednost skale, $t(146) = 6.232$, $p < .001$. Veličina učinka iznosila je Cohenov $d = 0.514$, što prema kriterijima koje predlaže Cohen (1988) predstavlja srednji učinak.

Slično tome, svi analizirani motivacijski konstrukti također pokazuju statistički značajno više vrijednosti od neutralne vrijednosti skale. Najviša prosječna vrijednost zabilježena je kod konstrukta Povjerenje ($M = 3.76$), uz velik učinak ($d = 0.796$), dok konstrukti Zadovoljstvo ($d = .499$), Pažnja ($d = 0.395$) i Relevantnost ($d = 0.288$) pokazuju srednje do manje veličine učinka. Ovi rezultati upućuju na to da sudionici aktivnosti s čovjekolikim robotom doživljavaju motivirajućima, čime se pruža empirijska potpora hipotezi H1.

4.1.3.2 Analiza ukupne motivacije po dobnim skupinama sudionika

Kako bi se dodatno ispitalo razlikuje li se percepcija ukupne motivacije između sudionika različitih dobnih skupina, provedena je analiza ukupne motivacije prema dobnim skupinama. Za svaku dobnu skupinu sudionika proveden je t-test za jedan uzorak kojim se ispitalo odstupa li prosječna vrijednost ukupne motivacije od neutralne vrijednosti skale (3). Rezultati t-testa prikazani su u Tablici 8.

Tablica 8 Rezultati t-testa ukupne motivacije prema dobnim skupinama sudionika u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)

Dobna skupina	N	M	SD	t	df	p	Cohenov d
5. razred	56	3.74	0.86	6.424	55	< .001	0.858
6. razred	38	3.30	1.11	1.667	37	.104	0.270
7. razred	53	3.42	1.00	3.047	52	.004	0.419

Napomena. Testna vrijednost = 3.

Rezultati pokazuju da učenici petog razreda iskazuju najvišu razinu ukupne motivacije ($M = 3.74$, $SD = 0.86$). Razlika u odnosu na neutralnu vrijednost skale bila je statistički značajna, $t(55) = 6.424$, $p < .001$. Kod učenika šestog razreda prosječna vrijednost ukupne motivacije iznosila je $M = 3.30$ ($SD = 1.11$). Razlika u odnosu na neutralnu vrijednost skale nije bila statistički značajna ($t(37) = 1.667$, $p = .104$). U skupini učenika sedmog razreda prosječna vrijednost ukupne motivacije iznosila je $M = 3.42$ ($SD = 1.00$), a dobivena razlika u odnosu na neutralnu vrijednost skale bila je statistički značajna ($t(52) = 3.047$, $p = .004$). Rezultati upućuju na to da učenici petog i sedmog razreda aktivnosti s robotom procjenjuju statistički značajno motivirajućima, dok kod učenika

šestog razreda razlika u odnosu na neutralnu vrijednost nije bila statistički značajna. Ipak, prosječna vrijednost ukupne motivacije u svim dobnim skupinama nalazi se iznad neutralne vrijednosti skale, što ukazuje na općenito pozitivan doživljaj aktivnosti s robotom.

4.1.3.3 Rezultati t-testa za motivacijske konstrukte

Analiza je provedena u programu IBM SPSS Statistics (verzija 29.0.2.0). Testirana je razlika između neutralne vrijednosti skale i prosječnih vrijednosti konstrukata: Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo. U analizu je uključeno 147 sudionika. Za svaki konstrukt izračunati su deskriptivni statistički pokazatelji (aritmetička sredina i standardna devijacija), vrijednost t-testa, stupnjevi slobode, razina statističke značajnosti te veličina učinka (Cohenov d). Veličina učinka interpretirana je prema kriterijima koje predlaže Cohen (1988), pri čemu vrijednosti od 0.20 označavaju mali učinak, 0.50 srednji učinak, a 0.80 veliki učinak. Rezultati t-testa pokazali su kako su prosječne vrijednosti svih promatranih konstrukata statistički značajno veće od neutralne vrijednosti skale.

Za konstrukt Pažnja dobivena je prosječna vrijednost $M = 3.43$ ($SD = 1.09$). Rezultat t-testa pokazao je statistički značajnu razliku u odnosu na neutralnu vrijednost skale, $t(146) = 4.784$, $p < .001$, uz veličinu učinka $d = 0.395$. Za konstrukt Relevantnost dobivena je prosječna vrijednost $M = 3.34$ ($SD = 1.17$). Dobivena razlika također je bila statistički značajna, $t(146) = 3.497$, $p < .001$, uz veličinu učinka $d = 0.288$. Najviša prosječna vrijednost zabilježena je kod konstrukta Povjerenje ($M = 3.76$, $SD = 0.95$). Rezultat t-testa pokazao je statistički značajnu razliku u odnosu na neutralnu vrijednost, $t(146) = 9.654$, $p < .001$, uz velik učinak ($d = 0.796$). Za konstrukt Zadovoljstvo dobivena je prosječna vrijednost $M = 3.60$ ($SD = 1.20$). Razlika u odnosu na neutralnu vrijednost skale bila je statistički značajna, $t(146) = 6.047$, $p < .001$, uz srednji učinak ($d = 0.499$). Rezultati t-testa prikazani su u Tablici 9.

Tablica 9 Rezultati t-testa u odnosu na neutralnu vrijednost skale (3)

Konstrukt	N	M	SD	t	df	p	Cohenov d
Pažnja	147	3.43	1.09	4.784	146	< .001	0.395
Relevantnost	147	3.34	1.17	3.497	146	< .001	0.288
Povjerenje	147	3.76	0.95	9.654	146	< .001	0.796
Zadovoljstvo	147	3.60	1.20	6.047	146	< .001	0.499

Napomena. Testna vrijednost = 3.

Dobiveni rezultati pokazuju da su sudionici sve promatrane aspekte rada s robotom procijenili statistički značajno višima od neutralne vrijednosti skale, što upućuje na pozitivan doživljaj aktivnosti i percepciju motivirajućeg iskustva tijekom rada s robotom. Najizraženiji pozitivan učinak utvrđen je kod konstrukta Povjerenje, gdje je zabilježena najviša prosječna vrijednost i velik efekt. To upućuje na činjenicu da su sudionici posebno pozitivno procijenili taj aspekt iskustva rada s robotom. Konstrukt Zadovoljstvo pokazao je srednji učinak, dok su konstrukti Pažnja i Relevantnost pokazali manji, ali i dalje statistički značajan učinak.

4.1.3.4 Analiza motivacijskih konstrukata prema dobnim skupinama

Kako bi se dodatno ispitalo razlikuje li se percepcija motivacijskih konstrukata između sudionika različitih dobnih skupina, provedena je deskriptivna analiza na razini konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale za svaku dobnu skupinu posebno. Rezultati deskriptivne analize konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale prikazani su u Tablici 10.

Tablica 10 Prosječne vrijednosti i standardne devijacije konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale prema dobnim skupinama

Konstrukt	5. razred M (SD)	6. razred M (SD)	7. razred M (SD)
Pažnja	3.71 (0.91)	3.22 (1.24)	3.29 (1.11)
Relevantnost	3.61 (1.12)	3.07 (1.23)	3.25 (1.15)
Povjerenje	3.88 (0.83)	3.57 (1.16)	3.76 (0.89)
Zadovoljstvo	3.79 (0.99)	3.47 (1.41)	3.49 (1.24)

Rezultati pokazuju kako su prosječne vrijednosti svih konstrukata u svim dobnim skupinama iznad neutralne vrijednosti skale (3). Najviše prosječne vrijednosti uočene su kod konstrukta Povjerenje, dok su nešto niže vrijednosti zabilježene kod konstrukta Relevantnost, osobito u šestom razredu. Za utvrđivanje postojanja razlike između dobnih skupina sudionika u percepciji motivacijskih konstrukata, provedena je jednosmjerna analiza varijance (ANOVA). U analizi je dobnja skupina (razred) korištena kao nezavisna varijabla, dok su konstrukti Upitnika motivacije za obrazovne materijale predstavljali zavisne varijable. Za svaki konstrukt provedena je zasebna jednosmjerna ANOVA analiza, a rezultati su prikazani u Tablici 11.

Tablica 11 Rezultati jednosmjerne ANOVA analize konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale prema dobnim skupinama

Konstrukt	F	df	p	η^2
Pažnja	3.114	2.144	.047	0.041
Relevantnost	2.673	2.144	.072	0.036
Povjerenje	1.243	2.144	.292	0.017
Zadovoljstvo	1.103	2.144	.335	0.015

Rezultati pokazuju kako je statistički značajna razlika između dobnih skupina sudionika utvrđena samo kod konstrukta Pažnja ($p < .05$), dok za ostale konstrukte motivacije (Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo) nisu utvrđene statistički značajne razlike između različitih dobnih skupina.

Veličina učinka za konstrukt Pažnja bila je mala ($\eta^2 = 0.041$), što upućuje na relativno ograničenu razliku između dobnih skupina. Deskriptivni rezultati pokazuju da učenici petog razreda imaju nešto višu razinu pažnje u odnosu na učenike šestog i sedmog razreda. Za ostale konstrukte motivacije razlike između dobnih skupina nisu statistički značajne, što sugerira da sudionici različitih dobnih skupina u velikoj mjeri na sličan način percipiraju motivacijski potencijal aktivnosti s čovjekolikim robotom. Budući da je statistički značajna razlika utvrđena samo za jedan konstrukt i uz malu veličinu učinka, nije bilo potrebe za provođenjem dodatnih post-hoc testova.

4.1.3.5 Zaključak o testiranju hipoteze H1

Hipoteza H1 glasi: Primjena čovjekolikog robota pozitivno utječe na motivaciju učenika. Dobiveni rezultati potvrđuju hipotezu H1, što upućuje na zaključak da učenici aktivnosti u kojima sudjeluje čovjekoliki robot NAO percipiraju kao motivirajuće u kontekstu procesa učenja.

Rezultati provedenih analiza pokazuju da sudionici obrazovne aktivnosti u kojima sudjeluje čovjekoliki robot NAO općenito procjenjuju pozitivno te ih doživljavaju motivirajućima u kontekstu procesa učenja. Prosječne vrijednosti svih konstrukata Upitnika motivacije za obrazovne materijale bile su statistički značajno više od neutralne vrijednosti skale, što upućuje na pozitivan doživljaj aktivnosti s robotom. Dodatna analiza prema dobnim skupinama pokazala je da sudionici različitih dobnih skupina u velikoj mjeri slično procjenjuju motivacijske aspekte aktivnosti s robotom, uz nešto izraženiji učinak na dimenziju pažnje kod mlađih sudionika.

Važno je naglasiti da istraživanje nije uključivalo kontrolnu i eksperimentalnu skupinu za mjerenje motivacije Upitnikom motivacije za obrazovne materijale, zbog čega dobiveni rezultati ne omogućuju donošenje strogo uzročno-posljedičnih zaključaka o učinku robota na motivaciju. Rezultati se stoga interpretiraju u smislu percepcije motivacije sudionika tijekom rada s robotom. Slijedom navedenoga može se zaključiti da rezultati istraživanja podupiru hipotezu H1 u smislu da sudionici rad s robotom percipiraju kao motivirajuće iskustvo u procesu učenja.

4.2 Analiza učinka intervencije na ostvarenost ishoda učenja

U ovom poglavlju prikazani su rezultati analiza kojima se ispituje hipoteza H2, prema kojoj primjena čovjekolikog robota doprinosi boljem postizanju ishoda učenja. Prije testiranja postavljene hipoteze provedena je provjera početne usporedivosti eksperimentalne i kontrolne skupine, kako bi se utvrdilo postoje li početne razlike između skupina koje bi mogle utjecati na interpretaciju učinka intervencije. Takva analiza predstavlja važan korak u eksperimentalnim istraživanjima jer omogućuje utvrđivanje jesu li skupine na početku istraživanja međusobno usporedive s obzirom na početnu razinu znanja. U sljedećem koraku analizirana je unutarnja konzistentnost testova provjere znanja korištenih u istraživanju. Pouzdanost mjernog instrumenta procijenjena je primjenom Cronbachova alfa koeficijenta za ukupno pet mjerenja: početnu provjeru znanja, tri provjere znanja tijekom provedbe intervencije te završnu provjeru znanja. Nakon provedenih preliminarnih analiza pristupilo se testiranju hipoteze H2, pri čemu je analiziran utjecaj primjene čovjekolikog robota na postizanje ishoda učenja učenika.

4.2.1 Provjera početne usporedivosti skupina

Početna usporedivost eksperimentalne i kontrolne skupine procijenjena je na temelju rezultata početne provjere znanja za učenike petih, šestih i sedmih razreda. Rezultati analize pokazali su da među skupinama nije bilo statistički značajnih razlika u početnoj razini znanja, što upućuje na njihovu međusobnu usporedivost prije provedbe intervencije. Detaljan postupak analize i interpretacije rezultata prikazani su u Poglavlju 4.1.1.

4.2.2 Ispitivanje pouzdanosti mjernog instrumenta za provjeru znanja

Unutarnja konzistentnost provjera znanja (početna provjera znanja, tri provjere tijekom provedbe intervencije te završna provjera znanja), ukupno pet mjerenja, procijenjena je primjenom Cronbachova alfa koeficijenta. Cronbachov alfa koeficijent jedna je od najčešće korištenih mjera pouzdanosti instrumenta te omogućuje procjenu stupnja u kojemu su pojedine čestice provjere međusobno povezane i usmjerene na mjerenje istog konstrukta. U Tablicama 12, 13 i 14 prikazane su vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta za svih pet mjerenja prema dobnim skupinama sudionika.

Tablica 12 Pouzdanost provjera znanja – peti razred

Provjera znanja	Broj zadataka	Cronbach α	Interpretacija
Početna provjera znanja	14	0.673	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Provjera znanja 1	10	0.574	niska, ali prihvatljiva
Provjera znanja 2	10	0.678	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Provjera znanja 3	10	0.649	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Završna provjera znanja	10	0.654	granična, ali prihvatljiva pouzdanost

Za provjere znanja sudionika petih razreda dobiveni Cronbachovi alfa koeficijenti kretali su se između $\alpha = 0.574$ i $\alpha = 0.678$, što ukazuje na nižu do graničnu, ali prihvatljivu unutarnju konzistentnost instrumenta. Početna provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.673$ za ukupno 14 zadataka, što upućuje na graničnu, ali prihvatljivu pouzdanost instrumenta.

U prvoj provjeri znanja dobivena vrijednost iznosila je $\alpha = 0.574$ za 10 zadataka, što ukazuje na nižu, ali još uvijek prihvatljivu razinu pouzdanosti instrumenta. U drugoj provjeri znanja dobiven je Cronbachov koeficijent $\alpha = 0.678$ za 10 zadataka, što upućuje na graničnu, ali prihvatljivu unutarnju konzistentnost instrumenta. Treća provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.649$ za 10 zadataka, što ukazuje na graničnu, ali prihvatljivu razinu pouzdanosti instrumenta. U završnoj provjeri znanja Cronbachov alfa koeficijent iznosio je $\alpha = 0.654$ za ukupno 10 zadataka, što također upućuje na graničnu, ali prihvatljivu razinu pouzdanosti instrumenta.

Tablica 13 Pouzdanost provjera znanja – šesti razred

Provjera znanja	Broj zadataka	Cronbach α	Interpretacija
Početna provjera znanja	21	0.679	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Provjera znanja 1	11	0.716	prihvatljiva unutarnja konzistentnost
Provjera znanja 2	14	0.588	niska, ali prihvatljiva
Provjera znanja 3	10	0.576	niska, ali prihvatljiva
Završna provjera znanja	18	0.643	granična, ali prihvatljiva pouzdanost

Za provjere znanja sudionika šestih razreda dobiveni Cronbachovi alfa koeficijenti kretali su se između $\alpha = 0.576$ i $\alpha = 0.716$, što ukazuje na umjerenu do zadovoljavajuću unutarnju konzistentnost instrumenta. Početna provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.679$ za ukupno 21 zadatak, što upućuje na graničnu, ali prihvatljivu pouzdanost instrumenta.

U prvoj provjeri znanja dobivena vrijednost iznosila je $\alpha = 0.716$ za 11 zadataka, što ukazuje na dobru unutarnju konzistentnost instrumenta. U drugoj provjeri znanja dobiven je Cronbachov koeficijent $\alpha = 0.588$ za 14 zadataka, što upućuje na nižu, ali još uvijek prihvatljivu razinu pouzdanosti instrumenta. Treća provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.576$ za 10 zadataka, što ukazuje na nisku ali prihvatljivu unutarnju konzistentnost instrumenta. U završnoj provjeri znanja Cronbachov alfa koeficijent iznosio je $\alpha = 0.643$ za ukupno 18 zadataka, što upućuje na zadovoljavajuću razinu pouzdanosti instrumenta.

Tablica 14 Pouzdanost provjera znanja – sedmi razred

Provjera znanja	Broj zadataka	Cronbach α	Interpretacija
Početna provjera znanja	26	0.721	prihvatljiva unutarnja konzistentnost
Provjera znanja 1	13	0.664	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Provjera znanja 2	14	0.687	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Provjera znanja 3	16	0.694	granična, ali prihvatljiva pouzdanost
Završna provjera znanja	23	0.649	granična, ali prihvatljiva pouzdanost

Za provjere znanja sudionika sedmih razreda dobiveni Cronbachovi alfa koeficijenti kretali su se između $\alpha = 0.649$ i $\alpha = 0.721$, što ukazuje na zadovoljavajuću unutarnju konzistentnost instrumenta. Početna provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.721$ za ukupno 26 zadataka, što upućuje na dobru unutarnju konzistentnost instrumenta.

U prvoj provjeri znanja dobivena vrijednost iznosila je $\alpha = 0.664$ za 13 zadataka, što ukazuje na zadovoljavajuću razinu pouzdanosti instrumenta. U drugoj provjeri znanja dobiven je Cronbachov koeficijent $\alpha = 0.687$ za 14 zadataka, što također upućuje na zadovoljavajuću unutarnju konzistentnost instrumenta. Treća provjera znanja pokazala je vrijednost $\alpha = 0.694$ za 16 zadataka, što ukazuje na zadovoljavajuću razinu pouzdanosti instrumenta. U završnoj provjeri znanja

Cronbachov alfa koeficijent iznosio je $\alpha = 0.649$ za ukupno 23 zadatka, što upućuje na umjerenu, ali prihvatljivu razinu pouzdanosti instrumenta.

Razlike u vrijednostima pouzdanosti mogu se objasniti s nekoliko metodoloških i sadržajnih čimbenika. Provjere znanja u ovom istraživanju bile su usmjerene na provjeru više ishoda učenja, što uključuje zadatke različite težine i različitih kognitivnih razina. U Tablici 15 prikazani su ishodi učenja iz predmeta Informatika u domeni Računalno razmišljanje i programiranje za pojedine dobne skupine učenika.

Tablica 15 Ishodi učenja po dobnim skupinama

Dobna skupina	Ishod za predmet Informatika u domeni Računalno razmišljanje i programiranje
5. razred	B.5.1 koristi se programskim alatom za stvaranje programa u kojemu se koristi ulaznim i izlaznim vrijednostima te ponavljanjem B.5.2 stvara algoritam za rješavanje jednostavnoga zadatka, provjerava ispravnost algoritma, otkriva i popravljja pogreške.
6. razred	B.6.1 stvara, prati i preuređuje programe koji sadrže strukture grananja i uvjetnoga ponavljanja te predviđa ponašanje jednostavnih algoritama koji mogu biti prikazani dijagramom, riječima govornoga jezika ili programskim jezikom B.6.2 razmatra i rješava složeniji problem rastavljajući ga na niz potproblema.
7. razred	B.7.1 razvija algoritme za rješavanje različitih problema koristeći se nekim programskim jezikom pri čemu se koristi prikladnim strukturama i tipovima podataka B.7.2 primjenjuje algoritam (sekvencijalnog) pretraživanja pri rješavanju problema B.7.3 dizajnira i izrađuje modularne programe koji sadrže potprograme u programskom jeziku B.7.4 koristi se simulacijom pri rješavanju nekoga, ne nužno računalnoga, problema.

Takva heterogenost sadržaja može dovesti do nižih vrijednosti unutarnje konzistentnosti jer pojedini zadaci mjere različite aspekte znanja. U tom smislu, provjere znanja u ovom istraživanju ne predstavljaju jedinstvenu skalu, već instrumente koji obuhvaćaju širi raspon kompetencija i kognitivnih procesa. Budući da Cronbachov α koeficijent raste s povećanjem broja čestica instrumenta, na vrijednosti pouzdanosti može utjecati i broj zadataka u pojedinoj provjeri znanja, Osim toga, niže vrijednosti koeficijenta mogu biti povezane i s manjom varijabilnošću rezultata učenika, odnosno većom homogenosti postignuća u određenom trenutku mjerenja.

U obrazovnim istraživanjima relativno niže vrijednosti Cronbachova α koeficijenta mogu se smatrati prihvatljivima, osobito kada instrumenti obuhvaćaju više različitih ishoda učenja. Primjerice, Incognito i Tarchi (2021) navode vrijednost $\alpha = 0.57$ za test prethodnog znanja, koju smatraju prihvatljivom za istraživačke svrhe. Slično tome, Kotzebue i Müller (2021) ističu da se vrijednosti u rasponu 0.50 – 0.60 mogu smatrati prihvatljivima kada instrumenti mjere šire ili heterogene konstrukte. Također, u području obrazovnog vrednovanja vrijednosti Cronbachova α koeficijenta između 0.50 i 0.80 često se smatraju metodološki prihvatljivima (Garay-Rondero i sur., 2020).

Dobivene vrijednosti Cronbachovih alfa koeficijenata za provjere znanja u svim dobnim skupinama ukazuju na prihvatljivu razinu unutarnje konzistentnosti primijenjenih provjera znanja. Kod pojedinih testova, osobito u skupini učenika petoga razreda, utvrđena je niža ili granična unutarnja konzistentnost, što upućuje na nešto veću prisutnost pogreške mjerenja. Pritom je važno istaknuti da su provjere bile usmjerene na više različitih ishoda učenja i sastojale su se od relativno malog broja zadataka. Budući da vrijednost Cronbachova alfa koeficijenta ovisi i o broju zadataka te njihovoj sadržajnoj homogenosti, niže vrijednosti ne moraju nužno značiti da provjere nisu bile sadržajno primjerene. Ipak, one zahtijevaju oprez pri tumačenju razlika između eksperimentalne i kontrolne skupine.

Na temelju navedenog može se zaključiti da primijenjeni instrumenti predstavljaju pouzdano sredstvo za procjenu postignuća učenika te su prikladni za daljnje statističke analize provedene u okviru ovog istraživanja.

4.2.3 Testiranje hipoteze H2

Testiranje hipoteze H2 provedeno je mješovitom analizom varijance s ponovljenim mjerenjima. Faktor unutar skupina bio je Vrijeme (početna provjera, tri projektne provjere i završna provjera znanja), dok su post-hoc usporedbe provedene uz Bonferroni korekciju.

Za svaku dobnu skupinu sudionika (učenike petih, šestih i sedmih razreda) prije provedbe analize provjerene su pretpostavke za primjenu analize varijance s ponovljenim mjerenjima. U tu svrhu proveden je Boxov test jednakosti kovarijacijskih matrica kako bi se ispitala pretpostavka homogenosti kovarijacijskih matrica između skupina, kao i Mauchlyjev test sferičnosti kojim se provjerava pretpostavka sferičnosti unutar ponovljenih mjerenja. U slučajevima kada je Mauchlyjev test bio statistički značajan, u interpretaciji rezultata primijenjena je Greenhouse–Geisser korekcija stupnjeva slobode. Rezultati mješovite analize varijance po dobnim skupinama sažeto su prikazani u Tablici 16.

Tablica 16 Sažetak rezultata mješovite analize varijance po dobnim skupinama

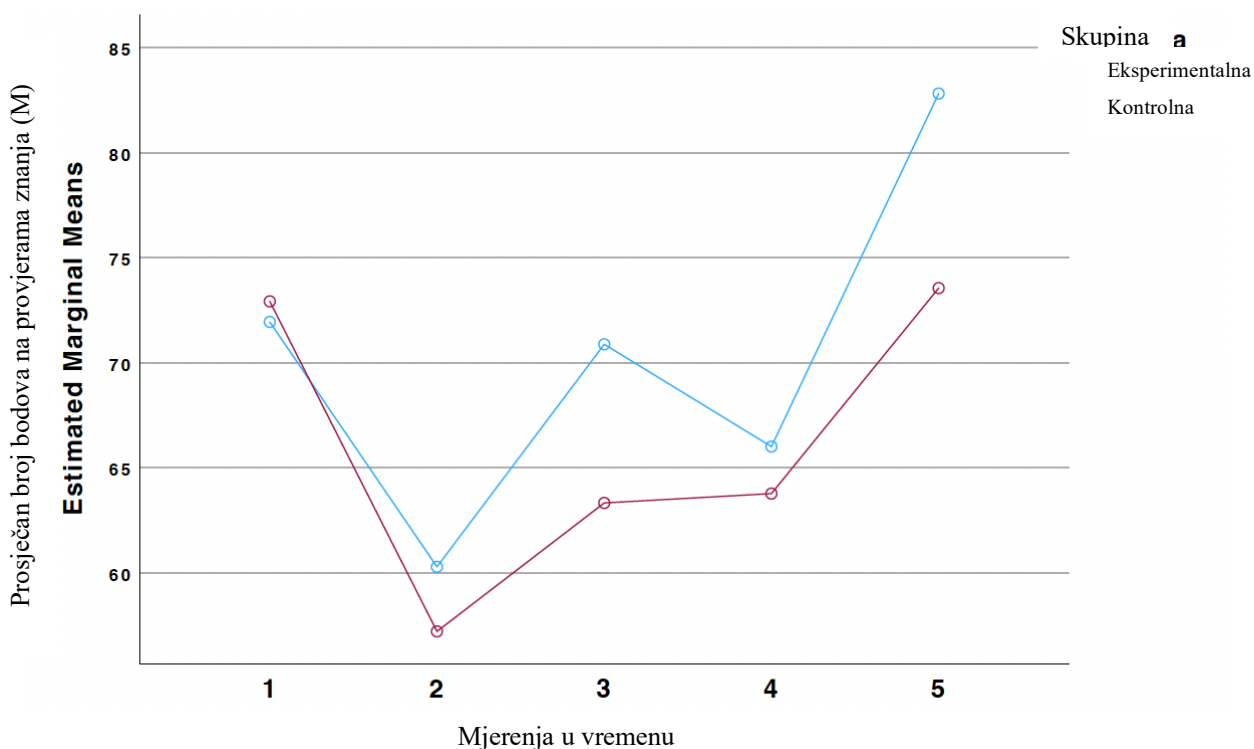
Dobna skupina	Glavni učinak vremena	Glavni učinak skupine	Interakcija Vrijeme × Skupina	η^2 interakcije	Snaga testa
5. razred	$F(3.596,312.814)=79.226, p<.001$	$F(1,87)=1.021, p=.315$	$F(3.596,312.814)=2.518, p=.047$	.028	.68
6. razred	$F(4,240)=4.838, p<.001$	$F(1,60)=1.121, p=.294$	$F(4,240)=2.159, p=.074$	.035	.63
7. razred	$F(3.360,265.422)=15.781, p<.001$	$F(1,79)=2.255, p=.137$	$F(3.360,265.422)=1.239, p=.296$	.015	.35

Napomena. η^2 – parcijalna eta kvadrat; $1-\beta$ – procijenjena snaga testa.

Za dobnu skupinu učenika petih razreda Boxov test jednakosti kovarijacijskih matrica nije bio statistički značajan ($p > .05$), čime je zadovoljena pretpostavka homogenosti kovarijacijskih matrica. Mauchlyjev test sferičnosti bio je statistički značajan ($p < .05$), stoga su u interpretaciji korištene Greenhouse–Geisser korekcije stupnjeva slobode. Utvrđen je statistički značajan glavni

učinak vremena, $F(3.596, 312.814) = 79.226$, $p < .001$, $\eta^2 = .477$, što upućuje na značajnu promjenu postignuća kroz vrijeme neovisno o skupini, dok glavni učinak skupine nije bio statistički značajan, $F(1,87) = 1.021$, $p = .315$, $\eta^2 = .012$.

Utvrđena je statistički značajna interakcija između vremena i skupine, $F(3.596, 312.814) = 2.518$, $p = .047$ (Greenhouse–Geisser korekcija), $\eta^2 = .028$. Procijenjena snaga testa za detekciju interakcijskog učinka Vrijeme $\times$ Skupina iznosila je $1-\beta = .68$ pri $\alpha = .05$, što upućuje na umjerenu statističku snagu. Rezultate stoga, osobito s obzirom na malu veličinu učinka, treba interpretirati oprezno te ih promatrati kao indikativne. Ovaj nalaz upućuje na različit obrazac promjene postignuća kroz vrijeme između eksperimentalne i kontrolne skupine, pri čemu je veličina učinka mala. Na Slici 5 prikazana je promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika petih razreda.

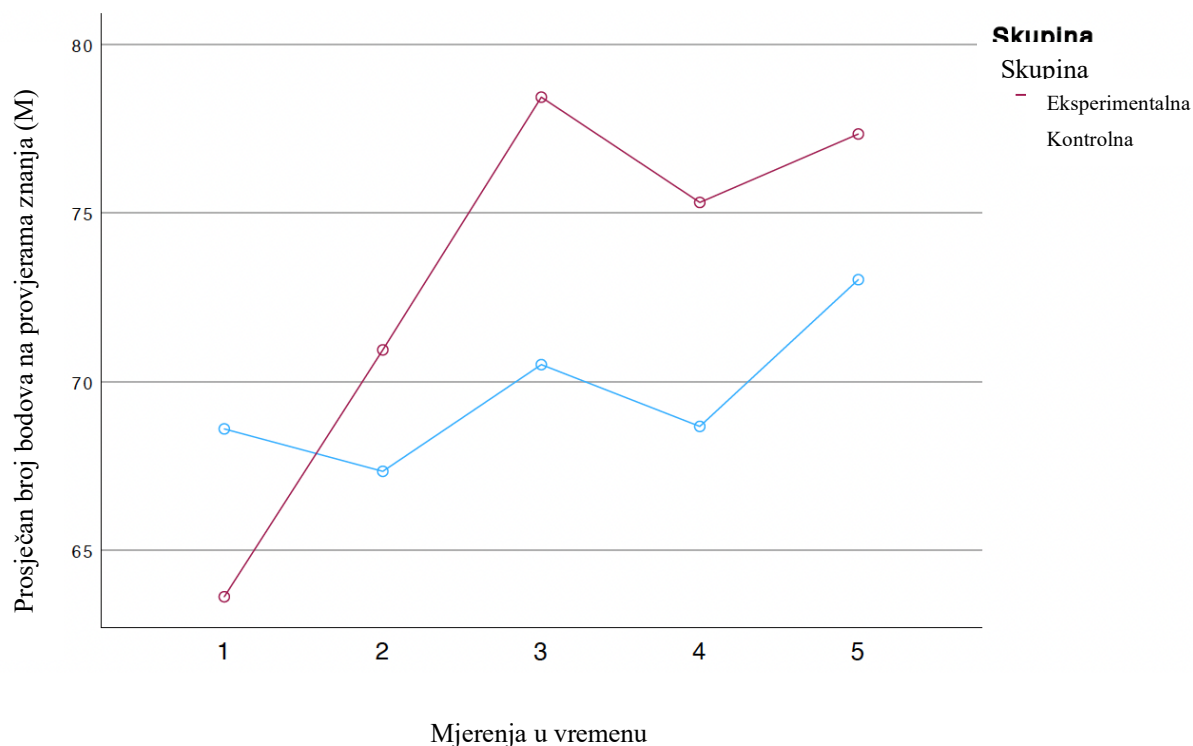


Slika 5 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika petog razreda

Post-hoc usporedbe uz Bonferroni korekciju pokazale su da su rezultati početne provjere znanja bili statistički značajno viši u odnosu na drugo, četvrto i završno mjerenje ($p < .05$), dok između ostalih mjerenja nisu utvrđene statistički značajne razlike. Kao što je prikazano na Slici 5, rezultati u obje skupine pokazuju sličan obrazac promjene kroz vrijeme, pri čemu se nakon početnog mjerenja bilježi pad rezultata uz manje oscilacije tijekom projektnih provjera. Na završnom su mjerenju razlike između skupina male, što je u skladu s rezultatima analize koja nije pokazala statistički značajan učinak skupine.

Za dobnu skupinu učenika šestih razreda Boxov test jednakosti kovarijacijskih matrica bio je statistički značajan ($p = .002$), što upućuje na odstupanje od pretpostavke homogenosti. To znači da se kovarijacijska struktura rezultata mjerenja kroz vrijeme razlikuje između eksperimentalne i kontrolne skupine, odnosno da odnosi između pojedinih mjerenja nisu jednaki u obje skupine. Mauchlyjev test sferičnosti nije bio statistički značajan ($p = .330$), čime je pretpostavka sferičnosti zadovoljena te su interpretirani rezultati pod pretpostavkom sferičnosti. Utvrđen je statistički značajan glavni učinak vremena, $F(4, 240) = 4.838$, $p < .001$, $\eta^2 = .075$, što upućuje na značajnu promjenu postignuća kroz vrijeme neovisno o skupini. Glavni učinak skupine nije bio statistički značajan, $F(1, 60) = 1.121$, $p = .294$, $\eta^2 = .018$.

Multivarijatni pokazatelji upućuju na statistički značajnu interakciju vremena i skupine (Pillai's Trace = .174, $F(4,57) = 3.004$, $p = .026$, $\eta^2 = .174$), dok univarijatni test nije dosegao konvencionalnu razinu značajnosti, $F(4, 240) = 2.159$, $p = .074$, $\eta^2 = .035$. Procijenjena snaga testa za interakciju bila je umjerena ($1-\beta \approx .63$). Na Slici 6 prikazana je promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika šestih razreda.



Slika 6 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika šestih razreda

S obzirom na narušavanje pretpostavke homogenosti kovarijacijskih matrica, interpretacija se temeljila na robusnijem multivarijatnom kriteriju Pillai's Trace. Nalaz upućuje na moguće razlike u obrascu promjene postignuća kroz vrijeme između skupina, no s obzirom na malu veličinu učinka i graničnu značajnost, rezultate treba interpretirati oprezno.

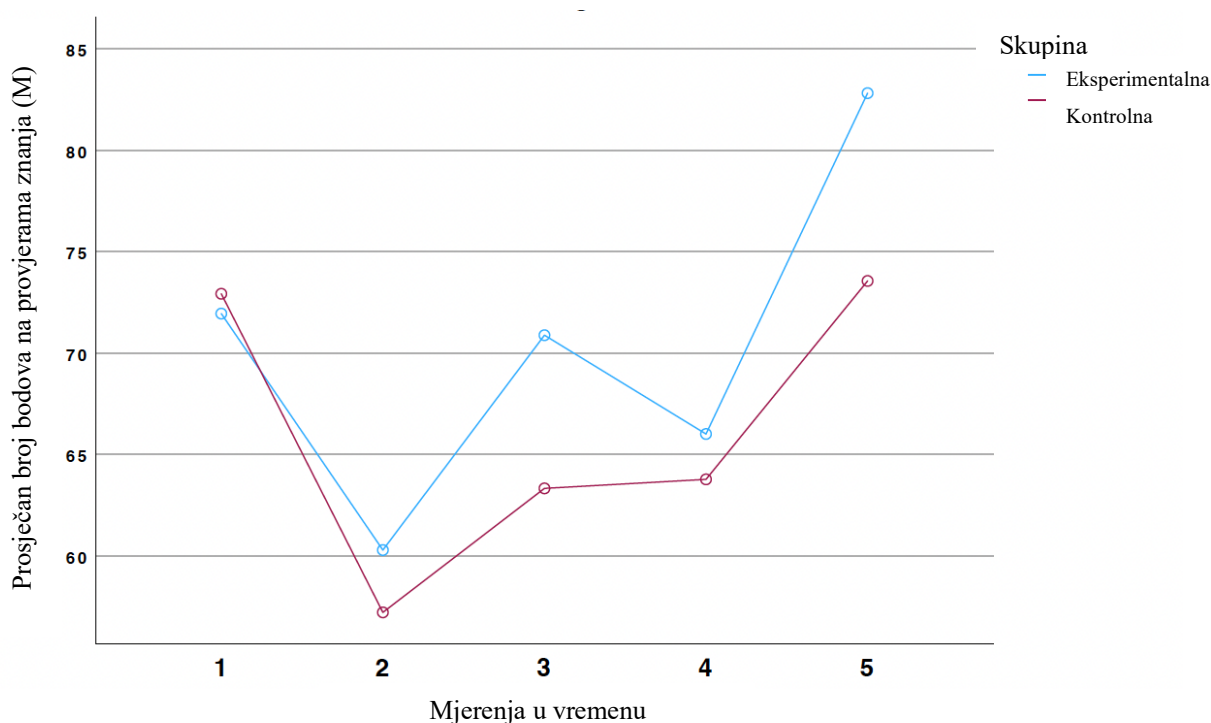
Post-hoc usporedbe Bonferroni korekcijom pokazuju da su rezultati u trećem i završnom mjerenju bili statistički značajno viši u odnosu na prvo mjerenje ($p < .01$), dok ostale usporedbe nisu pokazale značajne razlike. Rezultati potvrđuju opći trend porasta postignuća tijekom vremena.

Za dobnu skupinu učenika sedmih razreda Boxov test jednakosti kovarijacijskih matrica bio je statistički značajan (Box's $M = 27.896$, $p = .040$), što upućuje na moguće odstupanje od pretpostavke homogenosti kovarijacijskih matrica. S obzirom na relativnu robusnost multivarijatnih testova, interpretacija rezultata temeljila se na Pillai's Trace kriteriju. Mauchlyjev test sferičnosti bio je statistički značajan ($W = .695$, $p < .001$), stoga su u interpretaciji korištene Greenhouse–Geisser korekcije stupnjeva slobode.

Utvrđen je statistički značajan glavni učinak vremena, $F(3.360, 265.422) = 15.781$, $p < .001$, $\eta^2 = .166$, što upućuje na značajnu promjenu postignuća kroz vrijeme neovisno o skupini. Glavni učinak

skupine nije bio statistički značajan, $F(1,79) = 2.255$, $p = .137$, $\eta^2 = .028$, što upućuje na to da prosječne razine postignuća između eksperimentalne i kontrolne skupine nisu statistički značajno različite.

Interakcija između vremena i skupine nije bila statistički značajna, $F(3.360, 265.422) = 1.239$, $p = .296$, $\eta^2 = .015$. Procijenjena snaga testa za detekciju interakcijskog učinka iznosila je $1-\beta = .351$, što upućuje na relativno nisku statističku snagu. Ovaj nalaz sugerira da se obrazac promjene postignuća kroz vrijeme ne razlikuje značajno između eksperimentalne i kontrolne skupine. Na Slici 7 prikazana je promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika sedmih razreda.



Slika 7 Promjena prosječnih rezultata provjera znanja kroz vrijeme u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini učenika sedmih razreda

Post-hoc usporedbe uz Bonferroni korekciju pokazale su da su rezultati u drugom mjerenju bili statistički značajno niži u odnosu na prvo mjerenje ($p < .001$) te u odnosu na treće mjerenje ($p = .027$), dok je završno mjerenje pokazalo statistički značajno više rezultate u odnosu na drugo, treće

i četvrto mjerenje ($p < .001$). Ovi rezultati upućuju na izražen pad postignuća nakon početnog mjerenja, nakon čega slijedi postupni porast rezultata do završnog mjerenja.

Rezultati mješovite analize varijance pokazali su da je u sve tri dobne skupine utvrđen statistički značajan glavni učinak vremena, što upućuje na to da su se rezultati učenika na provjerama znanja značajno mijenjali kroz mjerenja neovisno o pripadnosti skupini. Taj je učinak bio najsnažniji u petom razredu, gdje je zabilježena i najveća promjena postignuća kroz vrijeme, dok je u šestom i sedmom razredu učinak vremena bio statistički značajan, ali slabijeg intenziteta.

Glavni učinak skupine nije bio statistički značajan ni u jednoj dobnoj skupini učenika, što upućuje na to da između eksperimentalne i kontrolne skupine nije utvrđena značajna razlika u ukupnim postignućima. Učenici eksperimentalne skupine nisu u prosjeku postigli značajno bolje rezultate u odnosu na učenike kontrolne skupine.

Kada promatramo interakciju vremena i skupine, statistički značajan učinak utvrđen je samo u petom razredu, no uz malu veličinu učinka ($\eta^2 = .028$) i umjerenu statističku snagu testa. U šestom razredu interakcija nije dosegla razinu statističke značajnosti, iako rezultati upućuju na moguć trend različitog obrasca promjene kroz vrijeme između skupina. U sedmom razredu interakcijski učinak nije bio statistički značajan, a veličina učinka bila je vrlo mala.

Rezultati sugeriraju da su se postignuća učenika mijenjala kroz vrijeme u svim dobnim skupinama, no nije pronađen jasan i dosljedan dokaz da se taj obrazac promjene razlikuje između eksperimentalne i kontrolne skupine. Iako je u petom razredu zabilježena statistički značajna interakcija, njezina mala veličina i umjerena statistička snaga upućuju na potrebu oprezne interpretacije. Može se zaključiti da primjena čovjekolikog robota u ovom istraživanju nije dovela do sustavno različitog obrasca promjene postignuća učenika u odnosu na kontrolni uvjet, iako pojedini rezultati upućuju na moguće, ali slabe učinke intervencije.

4.2.3.1 Dodatna analiza završnog postignuća

Radi preciznije procjene učinka intervencije na završno postignuće provedena je jednofaktorska analiza kovarijance (ANCOVA) za svaku dobnu skupinu zasebno. U analizi je rezultat završne provjere znanja postavljen kao zavisna varijabla, skupina (eksperimentalna i kontrolna) kao nezavisna varijabla, dok je rezultat početne provjere znanja uključen kao kovarijata kako bi se kontrolirale početne razlike u razini znanja među sudionicima.

Za dobnu skupinu učenika petog razreda Leveneov test homogenosti varijanci nije bio statistički značajan ($p > .05$), čime je zadovoljena pretpostavka jednakosti varijanci. Početna razina znanja pokazala se statistički značajnim prediktorom završnog postignuća ($p < .001$), što upućuje na to da učenici s višim početnim rezultatima u pravilu postižu i bolje završne rezultate. Međutim, nakon kontrole početne razine znanja učinak skupine nije bio statistički značajan, $F(1,87) = 0.845$, $p = .472$, $\eta^2 = .010$. Veličina učinka bila je vrlo mala, a procijenjena snaga testa niska, što upućuje na izostanak učinka intervencije na završno postignuće u ovoj dobnoj skupini.

Za dobnu skupinu učenika šestih razreda također nije utvrđeno narušavanje pretpostavke homogenosti varijanci (Leveneov test: $F(1,60) = 2.289$, $p = .136$). Početna razina znanja pokazala se statistički značajnim prediktorom završnog postignuća, $F(1,59) = 8.329$, $p = .005$, $\eta^2 = .124$. To znači da učenici koji započinju s višim razinama znanja ostvaruju i više rezultate na završnoj provjeri znanja. Učinak skupine nakon kontrole početnog znanja nije bio statistički značajan, $F(1,59) = 2.111$, $p = .152$, $\eta^2 = .035$. Veličina učinka bila je mala, a procijenjena snaga testa niska ($1-\beta = .298$), što upućuje na to da intervencija nije dovela do statistički značajne razlike u završnom postignuću između skupina.

Za dobnu skupinu učenika sedmih razreda Leveneov test pokazao je narušavanje pretpostavke homogenosti varijanci ($F = 8.729$, $p = .004$), stoga rezultate treba interpretirati s oprezom. Analiza je pokazala da je početna razina znanja statistički značajan prediktor završnog postignuća, $F(1,78) = 4.386$, $p = .039$, $\eta^2 = .053$. Također je utvrđen statistički značajan učinak skupine na završno postignuće, nakon kontrole početne razine znanja, $F(1,78) = 6.934$, $p = .010$, $\eta^2 = .082$. Procijenjene marginalne sredine pokazale su da je eksperimentalna skupina postigla više rezultate na završnoj provjeri znanja ($M = 82.87$) u odnosu na kontrolnu skupinu ($M = 73.45$), što upućuje na pozitivan učinak intervencije u ovoj dobnoj skupini. U Tablici 17 prikazan je sažetak rezultata ANCOVA analize završnog postignuća za svaku dobnu skupinu sudionika.

Tablica 17 Sažetak rezultata ANCOVA analize završnog postignuća

Dobna skupina	Učinak kovarijate (početno znanje)	Učinak skupine	η^2	Zaključak
5. razred	$p < .001$	$p = .472$	.006	nema učinka
6. razred	$p = .005$	$p = .152$	.035	nema učinka
7. razred	$p = .039$	$p = .010$	.082	eksperimentalna skupina viša

Napomena. η^2 – parcijalna eta kvadrat

Rezultati ANCOVA analize pokazuju da je početna razina znanja značajan prediktor završnog postignuća u svim dobnim skupinama učenika, što znači da učenici koji započinju s višom razinom znanja u pravilu ostvaruju i bolje završne rezultate. Međutim, učinak intervencije nije bio statistički značajan u petom i šestom razredu, dok je u sedmom razredu utvrđen statistički značajan učinak skupine, pri čemu su učenici eksperimentalne skupine postigli više rezultate na završnoj provjeri znanja.

4.2.3.2 Zaključak o testiranju hipoteze H2

Rezultati mješovite analize varijance upućuju na razlike u obrascu promjene postignuća kroz vrijeme između eksperimentalne i kontrolne skupine u pojedinim dobnim skupinama sudionika. Međutim, analiza završnog postignuća uz kontrolu početne razine znanja nije pokazala konzistentno statistički značajan učinak intervencije u svim dobnim skupinama, zbog čega je hipoteza H2 djelomično potvrđena.

Važno je naglasiti da su u početnoj provjeri znanja učenika petoga razreda bili uključeni i sadržaji povezani sa Scratchom, kako bi se procijenila znanja stečena u četvrtome razredu. Tijekom eksperimenta učenici svih razreda, u eksperimentalnim i kontrolnim skupinama, radili su isključivo u programskom jeziku Python. Stoga u okviru intervencije nije došlo do prijelaza sa Scratcha na Python, niti se takav prijelaz može smatrati mogućom skrivenom varijablom pri tumačenju učinka robota.

U petom razredu utvrđeno je da se skupine razlikuju u dinamici promjene postignuća tijekom vremena, dok završni rezultat nije pokazao statistički značajnu razliku između eksperimentalne i

kontrolne skupine. To upućuje na mogućnost da je intervencija utjecala na proces učenja i tempo napredovanja tijekom provedbe, ali se taj učinak nije u potpunosti odrazio na završno postignuće. Suprotno tome, u sedmom razredu nije utvrđena statistički značajna razlika u obrascu promjene postignuća kroz vrijeme, ali je analiza završnog postignuća pokazala razliku između skupina. To može upućivati na činjenicu da se učinak intervencije u ovoj dobnoj skupini primarno očituje u višim završnim postignućima, a manje u promjenama dinamike učenja tijekom samog procesa. Ovakav obrazac rezultata upućuje na mogućnost da intervencija različito utječe na procese učenja ovisno o dobnoj skupini sudionika, što je u skladu s nalazima prethodnih istraživanja koja ukazuju na to da učinci primjene robota u obrazovanju mogu varirati s obzirom na razvojnu dob sudionika (Konijn i Hoorn, 2020; Serholt i sur., 2022; Chalmers i sur., 2022). U nekim slučajevima učinak intervencije očituje se kroz promjene u dinamici napredovanja tijekom vremena, dok se u drugim slučajevima prvenstveno odražava u višim završnim postignućima sudionika.

S pedagoškog stajališta rezultati mogu upućivati na zaključak da primjena robota u nastavi ne djeluje jednako na sve dobne skupine učenika (Konijn i Hoorn, 2020; Serholt i sur., 2022; Chalmers i sur., 2022). Kod mlađih učenika intervencija može imati veći utjecaj na proces učenja i angažman tijekom aktivnosti, dok se kod starijih učenika njezin učinak može očitovati ponajprije u razini postignutih ishoda učenja. Također je moguće da na dobivene rezultate utječu i drugi čimbenici koji nisu bili predmet ovog istraživanja, poput specifičnosti provedbe nastave ili konteksta škole, što upućuje na potrebu za daljnjim istraživanjima u različitim obrazovnim okruženjima.

Tablica 18 Sažetak testiranja hipoteze H2

Dobna skupina	Analiza	Statistički test	P	Veličina učinka	Rezultat	Interpretacija u odnosu na H2
5. razred	mješovita ANOVA	Interakcija Vrijeme × Skupina	.047	$\eta^2 = .028$	značajno	djelomična potpora
5. razred	ANCOVA	Učinak skupine	.472	$\eta^2 = .006$	nije značajno	hipoteza nije potvrđena
6. razred	mješovita ANOVA	Interakcija Vrijeme × Skupina	.074	$\eta^2 = .035$	granično	hipoteza nije potvrđena

6. razred	ANCOVA	Učinak skupine	.152	$\eta^2 = .035$	nije značajno	hipoteza nije potvrđena
7. razred	mješovita ANOVA	Interakcija Vrijeme $\times$ Skupina	.296	$\eta^2 = .015$	nije značajno	hipoteza nije potvrđena
7. razred	ANCOVA	Učinak skupine	.010	$\eta^2 = .082$	značajno	djelomična potpora

Kao što je vidljivo iz Tablice 18, rezultati analiza nisu konzistentni među različitim dobnim skupinama sudionika. Statistički značajna interakcija između vremena i skupine utvrđena je u petom razredu, dok je analiza završnog postignuća uz kontrolu početne razine znanja pokazala statistički značajan učinak skupine samo u sedmom razredu. Hipoteza H2 stoga je djelomično potvrđena, ali rezultati upućuju na moguće razlike u dinamici razvoja znanja tijekom intervencije. Navedene rezultate potrebno je interpretirati u okviru specifičnog obrazovnog konteksta nastave Informatike u osnovnoškolskom obrazovanju, odnosno obrazovnih aktivnosti usmjerenih na učenje programiranja i razvoj vještina računalnog razmišljanja.

Pri donošenju zaključka o hipotezi H2 potrebno je uzeti u obzir i pouzdanost korištenih provjera znanja. Niža unutarnja konzistentnost pojedinih testova mogla je povećati pogrešku mjerenja i umanjiti uočene razlike između eksperimentalne i kontrolne skupine. Stoga rezultati nisu pružili dovoljno dokaza za potvrdu pozitivnog učinka primjene čovjekolikog robota na ishode učenja, ali istodobno ne omogućuju potpuno isključivanje mogućnosti manjeg učinka koji u okviru ovoga uzorka i korištenih instrumenata nije bilo moguće pouzdano utvrditi.

4.2.4 Testiranje hipoteze H3

Na temelju teorijskih polazišta i prethodnih empirijskih istraživanja o primjeni čovjekolikih robota u obrazovanju postavljena je hipoteza H3: Nakon višetjedne interakcije učenika s robotom, njihova je motivacija za rad u nastavi veća.

Kako bi se ispitale promjene u motivaciji sudionika tijekom razdoblja primjene čovjekolikog robota NAO u nastavi, provedena je analiza razlika između rezultata prvog (T1) i drugog mjerenja (T2). U analizu su uključeni učenici šestih razreda (31 sudionik) i sedmih razreda (58 sudionika) eksperimentalne skupine, ukupno 91 sudionik. Prvo mjerenje motivacije (T1) provedeno je prije primjene robota u nastavi Informatike, dok je drugo mjerenje (T2) provedeno nakon završetka eksperimentalnog razdoblja u kojem su sudionici učili programiranje uz primjenu čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike. Prije početka eksperimentalne primjene čovjekolikog robota u nastavi Informatike učenici su tijekom šest nastavnih sati koristili robota u nastavi Engleskog jezika, s ciljem testiranja njegove funkcionalnosti i izbjegavanja tehničkih poteškoća koje bi mogle utjecati na rezultate istraživanja. Motivacija sudionika procijenjena je primjenom Upitnika motivacije za obrazovne materijale, koji se temelji na ARCS modelu motivacije, a analize su obuhvatile četiri konstrukta motivacije: Pažnju, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo. Ukupna motivacija izračunata je kao kompozitna mjera dobivena agregiranjem svih čestica Upitnika motivacije za obrazovne materijale. Razlike između dvaju mjerenja analizirane su primjenom t-testa za zavisne uzorke i analize varijance za ponovljena mjerenja (engl. *repeated measures ANOVA*).

4.2.4.1 Analiza normalnosti distribucije podataka

Prije primjene parametrijskih statističkih postupaka provedena je analiza normalnosti distribucije podataka za sve analizirane konstrukte. Normalnost distribucije procijenjena je analizom vrijednosti asimetrije i spljoštenosti te grafičkim prikazima distribucije rezultata.

Dobivene vrijednosti asimetrije i spljoštenosti nalazile su se unutar prihvatljivih granica (-1 do $+1$), što upućuje na približno normalnu distribuciju podataka. Dodatno, grafički prikazi distribucije nisu pokazali značajna odstupanja od normalnosti.

S obzirom na veličinu uzorka ($N = 91$) i činjenicu da parametrijski statistički postupci pokazuju relativnu robusnost na umjerena odstupanja od normalnosti (Blanca i sur., 2017), zaključeno je da

su ispunjene pretpostavke za primjenu parametrijskih statističkih analiza u daljnjem postupku analize podataka.

4.2.4.2 Rezultati t-testa za zavisne uzorke

Kako bi se ispitalo postoji li promjena motivacije sudionika prije primjene (T1) i nakon primjene (T2) čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike, odnosno između prvog (T1) i drugog (T2) mjerenja, proveden je t-test za zavisne uzorke. Tablica 19 prikazuje deskriptivne pokazatelje i rezultate t-testa za zavisne uzorke kojima je analizirana promjena ukupne motivacije između prvog (T1) i drugog (T2) mjerenja, odnosno prije i nakon razdoblja primjene robota, na razini ukupnog uzorka te unutar pojedinih dobnih skupina.

Tablica 19 Deskriptivni pokazatelji i rezultati t-testa za razlike između prvog (T1) i drugog (T2) mjerenja ukupne motivacije

Uzorak	T1 M	T2 M	T	df	p	Cohen d	Jačina efekta
Ukupni uzorak (N = 91)	2.996	3.258	-8.180	90	<.001	0.86	veliki
6. razred (N = 38)	3.066	3.311	-3.708	37	<.001	0.60	srednji
7. razred (N = 53)	2.945	3.220	-7.213	52	<.001	0.99	veliki

Napomena. T1 = prvo mjerenje; T2 = drugo mjerenje; N = broj sudionika; Cohenov d interpretiran je prema kriterijima (Cohen, 1988): 0.20 = mali efekt, 0.50 = srednji efekt, 0.80 = veliki efekt.

Rezultati analize pokazali su da postoji statistički značajna razlika između prvog i drugog mjerenja ukupne motivacije na razini ukupnog uzorka. Prosječna vrijednost ukupne motivacije porasla je s $M = 2.996$ u prvom mjerenju na $M = 3.258$ u drugom mjerenju, a razlika je bila statistički značajna ($t(90) = -8.180$, $p < .001$). Veličina učinka izražena Cohenovim d pokazuje veliki efekt ($d = 0.86$), što upućuje na izraženo povećanje motivacije između dvaju mjerenja. Ovaj nalaz upućuje na promjenu razine motivacije sudionika tijekom razdoblja primjene čovjekolikog robota u nastavi. Dobiveni rezultati sugeriraju da je interakcija sudionika s robotom tijekom razdoblja učenja programiranja u nastavi Informatike bila povezana s porastom ukupne razine motivacije za rad u nastavi.

Kako bi se dodatno ispitao obrazac promjene motivacije u različitim dobnim skupinama, provedena je analiza unutar pojedinih dobnih skupina sudionika. Kod učenika šestih razreda prosječna vrijednost ukupne motivacije porasla je s $M = 3.066$ u prvom mjerenju na $M = 3.311$ u drugom mjerenju. Rezultati t-testa za zavisne uzorke pokazali su da je ta razlika statistički značajna ($t(37) = -3.708$, $p < .001$), što upućuje na povećanje razine motivacije učenika tijekom razdoblja primjene robota u nastavi. Sličan obrazac rezultata utvrđen je i kod učenika sedmih razreda. Prosječna vrijednost ukupne motivacije povećala se s $M = 2.945$ u prvom mjerenju na $M = 3.220$ u drugom mjerenju, a razlika između dvaju mjerenja također je bila statistički značajna ($t(52) = -7.213$, $p < .001$). Ovi rezultati ukazuju na izražen porast motivacije učenika tijekom razdoblja primjene robota u nastavi. Analiza veličine učinka pokazuje da je kod učenika šestih razreda utvrđen srednji efekt ($d = 0.60$), dok je kod učenika sedmih razreda zabilježen veliki efekt ($d = 0.99$), što dodatno potvrđuje značajno povećanje razine motivacije između dvaju mjerenja.

Na temelju ukupnih rezultata može se zaključiti da je nakon razdoblja primjene robota u nastavi Informatike, u okviru aktivnosti usmjerenih na učenje programiranja i razvoj vještina računalnog razmišljanja, došlo do povećanja ukupne motivacije učenika za rad u nastavi.

4.2.4.3 Zaključak o testiranju hipoteze H3

Hipoteza H3 pretpostavljala je da će nakon višetjedne interakcije učenika s robotom motivacija učenika za rad u nastavi biti veća. Kako bi se provjerila ova pretpostavka, analizirana je promjena ukupne motivacije između prvog (T1) i drugog mjerenja (T2) primjenom t-testa za zavisne uzorke. Rezultati analize pokazali su statistički značajno povećanje ukupne motivacije između dvaju mjerenja. Na razini ukupnog uzorka prosječna vrijednost motivacije porasla je s $M = 2.996$ u prvom mjerenju na $M = 3.258$ u drugom mjerenju, a razlika je bila statistički značajna, $t(90) = -8.180$, $p < .001$. Analiza provedena unutar pojedinih dobnih skupina pokazala je sličan rezultat. U šestom razredu prosječna vrijednost motivacije porasla je s $M = 3.066$ na $M = 3.311$, $t(37) = -3.708$, $p < .001$, dok je u sedmom razredu porasla s $M = 2.945$ na $M = 3.220$, $t(52) = -7.213$, $p < .001$.

Dobiveni rezultati upućuju na povećanje razine motivacije sudionika između prvog i drugog mjerenja, odnosno prije i nakon primjene čovjekolikog robota na nastavi Informatike, na razini ukupnog uzorka kao i unutar dobnih skupina. Ovakav rezultat sugerira da je primjena čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike, tijekom koje su sudionici učili programiranje i razvijali vještine računalnog razmišljanja, bila povezana s povećanjem njihove motivacije za rad u nastavi.

Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da je hipoteza H3 potvrđena. Rezultati istraživanja upućuju na to da višetjedna interakcija učenika s čovjekolikim robotom u nastavnom procesu doprinosi povećanju motivacije za sudjelovanje u nastavnim aktivnostima.

4.3 Analiza povezanosti motivacije i ostvarenja ishoda učenja

Za odgovaranje na istraživačko pitanje IP1 *Na koji su način pojedini motivacijski elementi povezani s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikog robota?* analizirana je povezanost između motivacije sudionika i rezultata koje su postigli na završnoj provjeri znanja.

Prije provođenja korelacijske analize provjerena je normalnost distribucije ukupne motivacije (Motivacija), pojedinih motivacijskih elemenata odnosno konstrukata (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo) te ishoda učenja, odnosno ostvarenog broja bodova na završnoj provjeri znanja (Bodovi). Normalnost distribucije ispitana je primjenom Shapiro–Wilk testa. Tablica 20 prikazuje rezultate testa normalnosti distribucije za ukupnu motivaciju, motivacijske konstrukte i ishode učenja.

Tablica 20 Test normalnosti distribucije za ukupnu motivaciju, motivacijske konstrukte i ishode učenja

Varijabla	M	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro–Wilk	p
Motivacija	3.43	0.98	−0.358	−0.725	0.968	.008
Pažnja	3.34	1.10	−0.384	−0.677	0.959	.002
Relevantnost	3.25	1.15	−0.345	−0.812	0.954	< .001
Povjerenje	3.73	0.94	−0.756	0.590	0.937	< .001
Zadovoljstvo	3.48	1.21	−0.439	−0.820	0.920	< .001
Bodovi	0.71	0.18	−0.269	−0.523	0.966	.006

Napomena. N = 111. Shapiro–Wilk test korišten je za procjenu normalnosti distribucije.

Rezultati prikazani u Tablici 20. pokazuju da sve analizirane varijable statistički značajno odstupaju od normalne distribucije ($p < .05$). Vrijednosti asimetrije i spljoštenosti također ukazuju

na blaga odstupanja od normalne distribucije, posebice kod konstrukta Povjerenje. Budući da pretpostavka normalnosti nije zadovoljena, u daljnjoj analizi povezanosti motivacije i ostvarenih ishoda učenja korišten je Spearmanov koeficijent korelacije. Rezultati korelacijske analize prikazani su u Tablici 21.

Tablica 21 Spearmanovi koeficijenti korelacije između ukupne motivacije, motivacijskih konstrukata i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja

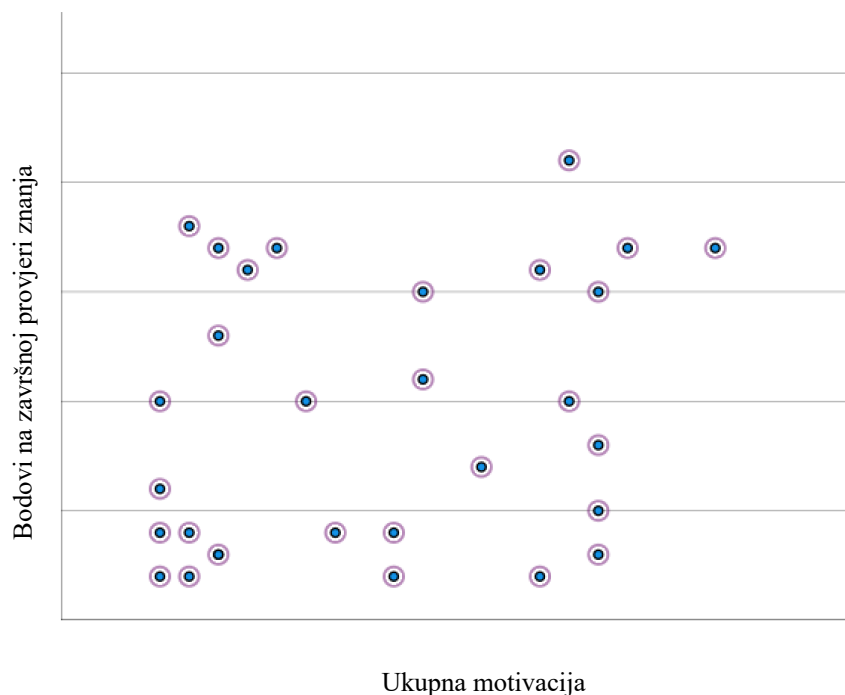
Varijabla	Motivacija	Pažnja	Relevantnost	Povjerenje	Zadovoljstvo
Bodovi	$\rho = -.014, p = .886$	$\rho = -.030, p = .755$	$\rho = -.054, p = .576$	$\rho = .081, p = .397$	$\rho = -.050, p = .601$

Napomena. prikazani su Spearmanovi koeficijenti korelacije (ρ). $N = 111$.

4.3.1 Povezanost ukupne motivacije i ostvarenja ishoda učenja

Rezultati Spearmanove korelacijske analize pokazali su vrlo slabu negativnu povezanost između ukupne motivacije sudionika i postignutih rezultata (Bodova) na završnoj provjeri znanja ($\rho = -.014, p = .886$). Dobivena p-vrijednost veća je od razine statističke značajnosti ($p < .05$), što znači da povezanost nije statistički značajna.

Odnos između ukupne motivacije sudionika i ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja prikazan je na raspršenom dijagramu Slika 8.



Slika 8 Raspršeni dijagram odnosa između ukupne motivacije i bodova na završnoj provjeri znanja

Grafički prikaz pokazuje odsutnost jasnog linearnog odnosa između promatranih varijabli. Točke su raspršene bez vidljivog obrasca, što upućuje na vrlo slabu povezanost između ukupne motivacije i ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja. Ovakav grafički prikaz u skladu je s rezultatima korelacijske analize, koja je pokazala vrlo malu i statistički neznačajnu povezanost između navedenih varijabli. Može se zaključiti da u ovome istraživanju nije utvrđena statistički značajna povezanost između ukupne motivacije sudionika i ostvarenih ishoda učenja.

4.3.2 Povezanost motivacijskih konstrukata i ostvarenja ishoda učenja

Uz ukupnu motivaciju analizirana je i povezanost između pojedinih motivacijskih konstrukata modela ARCS (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo) i rezultata ostvarenih na završnoj provjeri znanja (Bodovi). Rezultati prikazani u Tablici 21 pokazali su vrlo slabu i statistički neznačajnu povezanost između svih analiziranih konstrukata motivacije i rezultata ostvarenih na završnoj provjeri znanja. Između konstrukta Pažnja i Bodova ostvarenih na završnoj provjeri

znanja utvrđena je vrlo slaba negativna povezanost ($\rho = -.030$, $p = .755$), koja nije statistički značajna. Slično tome, između konstrukta Relevantnost i Bodova ostvarenih na završnoj provjeri znanja dobivena je vrlo slaba negativna povezanost ($\rho = -.054$, $p = .576$), koja također nije statistički značajna. Kod konstrukta Povjerenje utvrđena je vrlo slaba pozitivna povezanost s Bodovima ostvarenih na završnoj provjeri znanja ($\rho = .081$, $p = .397$), no ni ova povezanost nije statistički značajna. Također, između konstrukta Zadovoljstvo i Bodova ostvarenih na završnoj provjeri znanja zabilježena je vrlo slaba negativna povezanost ($\rho = -.050$, $p = .601$), koja nije statistički značajna.

Rezultati korelacijske analize pokazuju da u ovom istraživanju nije utvrđena statistički značajna povezanost između motivacije učenika i ostvarenih ishoda učenja. Ukupna motivacija i pojedini motivacijski konstrukti modela ARCS pokazuju vrlo slabu i statistički neznačajnu povezanost s rezultatima ostvarenima na završnoj provjeri znanja. Dobiveni koeficijenti korelacije u svim promatranim dobnim skupinama vrlo su niski, što upućuje na vrlo malu veličinu efekta. Ovi rezultati sugeriraju da, unatoč tome što sudionici aktivnosti u kojima sudjeluje čovjekoliki robot doživljavaju motivirajućima, razina njihove motivacije u ovom istraživanju nije bila povezana s njihovim postignućem na provjeri znanja.

4.3.3 Analiza povezanosti motivacije i ishoda učenja po dobnim skupinama

Kako bi se dodatno ispitala povezanost između motivacijskih elemenata i ostvarenja ishoda učenja među sudionicima različitih dobnih skupina, provedena je Spearmanova korelacijska analiza zasebno za svaku dobnu skupinu sudionika, odnosno za učenike petog, šestog i sedmog razreda. Rezultati su prikazani u Tablici 22.

Tablica 22 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacijskih varijabli i bodova na završnoj provjeri znanja po dobnim skupinama sudionika

Promatrane varijable	Koeficijenti korelacije		
	5. razred (N = 52)	6. razred (N = 32)	7. razred (N = 27)
Motivacija – Bodovi	$\rho = -.159,$ $p = .259$	$\rho = -.020,$ $p = .915$	$\rho = -.068,$ $p = .737$
Pažnja – Bodovi	$\rho = -.195,$ $p = .166$	$\rho = -.075,$ $p = .683$	$\rho = -.065,$ $p = .748$
Relevantnost – Bodovi	$\rho = -.187,$ $p = .184$	$\rho = -.021,$ $p = .910$	$\rho = -.224,$ $p = .262$
Povjerenje – Bodovi	$\rho = -.080,$ $p = .573$	$\rho = .160,$ $p = .381$	$\rho = .322,$ $p = .102$
Zadovoljstvo – Bodovi	$\rho = -.162,$ $p = .251$	$\rho = -.094,$ $p = .610$	$\rho = -.073,$ $p = .718$

Napomena. Prikazani su Spearmanovi koeficijenti rang-korelacije (ρ). Nijedna korelacija nije statistički značajna na razini $p < 0.05$.

Kao što je vidljivo iz Tablice 22, ni u jednoj dobnj skupini nije utvrđena statistički značajna povezanost između ukupne motivacije, pojedinih motivacijskih konstrukata i rezultata ostvarenih na završnoj provjeri znanja.

Kod učenika petog razreda nije utvrđena statistički značajna povezanost između ukupne motivacije i rezultata na završnoj provjeri znanja, niti između pojedinih motivacijskih konstrukata (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo) i ostvarenih rezultata (Bodova) ($p > .05$). Slični rezultati dobiveni su i kod učenika šestog razreda, gdje također nije utvrđena statistički značajna povezanost između ukupne motivacije, pojedinih motivacijskih konstrukata i rezultata na završnoj provjeri znanja ($p > .05$). Kod učenika sedmog razreda također nije utvrđena statistički značajna povezanost između motivacije, motivacijskih konstrukata i ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja ($p > .05$), iako je kod konstrukta Povjerenje zabilježena nešto viša, ali statistički neznčajna pozitivna povezanost. Dobiveni koeficijenti korelacije u svim dobnim skupinama vrlo su niski, što upućuje na vrlo slabu povezanost između ukupne motivacije, pojedinih motivacijskih konstrukata i

ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja.

Rezultati korelacijske analize prema dobnim skupinama sudionika (razredima) pokazuju da ni u jednoj dobnj skupini nije utvrđena statistički značajna povezanost između motivacijskih konstrukata modela ARCS i ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja. Dobiveni koeficijenti korelacije u svim dobnim skupinama sudionika vrlo su niski, što ukazuje na vrlo malu veličinu efekta. Na temelju rezultata može se zaključiti da u ovome istraživanju motivacijski elementi nisu bili povezani s ostvarenjem ishoda učenja, odnosno da razina motivacije sudionika nije značajno doprinosila objašnjenju varijance postignutih rezultata na završnoj provjeri znanja. Unatoč pozitivnoj procjeni motivacijskog potencijala aktivnosti s čovjekolikim robotom, motivacija sudionika nije bila povezana s njihovim kognitivnim postignućem.

4.3.4 Zaključak o povezanosti motivacije i ostvarenja ishoda učenja

Na temelju dobivenih rezultata zaključuje se da u ovome istraživanju nije utvrđena statistički značajna povezanost između motivacijskih elemenata i ostvarenja ishoda učenja kod primjene čovjekolikog robota. Time se može odgovoriti na istraživačko pitanje IP1: ukupna motivacija (Motivacija) niti pojedini motivacijski konstrukti modela ARCS (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo) nisu bili povezani s postignutim rezultatima učenika na završnoj provjeri znanja. Dobiveni koeficijenti korelacije vrlo su niski, što upućuje na vrlo malu veličinu efekta, odnosno na zanemarivu povezanost između promatranih varijabli. Nedostatak statistički značajnih povezanosti djelomično može biti posljedica ograničene varijabilnosti rezultata i relativno homogenog uzorka. Takav nalaz može se objasniti činjenicom da motivacija, iako predstavlja važan čimbenik angažmana učenika u obrazovnim aktivnostima, ne djeluje uvijek izravno na kognitivne ishode učenja, već često djeluje posredno kroz druge procese, poput primjene strategija učenja, samoregulacije učenja i dubine kognitivne obrade nastavnog sadržaja. Prema teoriji očekivanja i vrijednosti, motivacija ovisi o uvjerenju učenika o mogućnosti uspjeha i o vrijednosti koju pripisuju aktivnosti, no sama motivacija ne jamči nužno i bolje rezultate u učenju ako učenici ne primjenjuju učinkovite strategije učenja (Eccles i Wigfield, 2002). Slično tome, teorija samoodlučivanja naglašava kako motivacija može povećati interes i angažman učenika, ali njezin utjecaj na obrazovna postignuća ovisi o zadovoljenju temeljnih psiholoških potreba za autonomijom, kompetencijom i povezanošću (Deci i Ryan, 1985). U kontekstu primjene čovjekolikih robota u obrazovanju, istraživanja pokazuju da roboti često potiču inicijalnu motivaciju i interes učenika

zbog elementa novosti i interaktivnosti, no takav motivacijski učinak ne mora nužno dovesti do značajnih razlika u kognitivnim ishodima učenja (Serholt i sur., 2022; Şişman i sur., 2019, 2024; Riedmann i sur., 2024). Može se stoga zaključiti da motivacija učenika u ovom istraživanju nije djelovala kao izravan prediktor ostvarenja ishoda učenja, već prije kao afektivni čimbenik koji potiče interes, angažman i pozitivno iskustvo sudjelovanja u nastavnim aktivnostima u kojima se koristi čovjekoliki robot.

4.4 Analiza povezanosti stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom

Kako bi se odgovorilo na istraživačko pitanje IP2 *Na koji su način stavovi učenika prema robotu povezani s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom?*, ispitani su odnosi između stavova učenika prema robotu, njihove motivacije i ostvarenih ishoda učenja. Nakon provjere pretpostavki za analizu provedena je korelacijska analiza kako bi se utvrdila povezanost ovih varijabli na razini ukupnog uzorka i po razredima.

4.4.1 Ispitivanje pouzdanosti i valjanosti Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima

Za procjenu stavova učenika prema čovjekolikom robotu NAO u nastavi Informatike korištena je Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima (engl. *Educational Robot Attitude Scale – ERAS*) koju su razvili Sisman i sur. (2019). Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima razvijena je s ciljem mjerenja stavova učenika prema primjeni čovjekolikih robota u obrazovnom okruženju te obuhvaća više psiholoških dimenzija koje utječu na njihovo prihvaćanje ove tehnologije u nastavi. Ljestvica se temelji na konceptu stavova učenika prema tehnologiji, koji se u literaturi definira kao skup pozitivnih ili negativnih procjena pojedinca prema određenom tehnološkom sustavu ili inovaciji (Ajzen, 1991). U kontekstu obrazovne robotike, stavovi učenika predstavljaju važan čimbenik prihvaćanja i učinkovitosti primjene čovjekolikih robota u nastavi. Izvorna Ljestvica

stavova prema obrazovnim robotima sastoji se od 17 čestica organiziranih u četiri dimenzije stavova učenika prema obrazovnim robotima:

- angažman (engl. *engagement*),
- uživanje (engl. *enjoyment*),
- anksioznost (engl. *anxiety*),
- namjera korištenja (engl. *intention to use*).

Budući da je u ovom istraživanju mjerni instrument primijenjen u specifičnom kontekstu korištenja čovjekolikog robota NAO u nastavi Informatike, prije provedbe glavnih statističkih analiza bilo je potrebno provjeriti pouzdanost i valjanost mjernog instrumenta na uzorku sudionika uključenih u istraživanje.

4.4.1.1 Prilagodba mjernog instrumenta

Prije primjene mjernog instrumenta provedena je analiza njegova teorijskog okvira, konstrukata koje instrument obuhvaća te obrazovnog konteksta u kojem je instrument izvorno razvijen. Creswell (2009) naglašava da jasno razumijevanje konstrukata i varijabli koje mjerni instrument obuhvaća predstavlja važan preduvjet za kvalitetno planiranje i provedbu kvantitativnog istraživanja. Slijedom toga, tijekom prilagodbe instrumenta posebna je pozornost posvećena sadržaju i formulaciji pojedinih čestica kako bi se osigurala njihova razumljivost te primjerenost dobi i iskustvu sudionika.

Tijekom procesa prilagodbe pojedine su tvrdnje jezično pojednostavljene i prilagođene kontekstu nastave, pri čemu je zadržano izvorno značenje čestica. Kako bi se osigurala sadržajna valjanost instrumenta, provedene su konzultacije sa stručnjacima iz područja obrazovanja i metodike nastave, koji su procijenili prikladnost terminologije, jasnoću formulacija te relevantnost sadržaja čestica. Po završetku procesa prilagodbe instrument je testiran u pilot-istraživanju provedenom na manjem uzorku sudionika. Cilj pilot-istraživanja bio je provjeriti razumljivost tvrdnji i opću prikladnost mjernog instrumenta prije njegove primjene u glavnom istraživanju (Creswell, 2009). Dobivene povratne informacije sudionika korištene su za dodatno preciziranje i doradu formulacija pojedinih čestica.

Nakon procesa prilagodbe i pilot-testiranja jedna čestica uklonjena je zbog slabijih psihometrijskih pokazatelja, pa se konačna verzija instrumenta sastoji od 16 čestica koje obuhvaćaju četiri konstrukta: Angažman, Uživanje, Anksioznost i Namjeru korištenja robota u nastavi. Sudionici su

svoje slaganje s pojedinim tvrdnjama procjenjivali na petostupanjskoj Likertovoj skali (1 – u potpunosti se ne slažem, 5 – u potpunosti se slažem). Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima prikazana je u prilogu.

4.4.1.2 Procjena mjernog instrumenta

U svrhu provjere kvalitete mjernog instrumenta provedena je analiza njegove pouzdanosti i valjanosti primjenom postupaka predloženih za procjenu reflektivnih mjernih modela u okviru PLS-SEM metodologije (Hair i sur., 2022). Ovaj pristup omogućuje sustavnu procjenu mjernog instrumenta kroz više komplementarnih pokazatelja. Procjena mjernog modela obuhvatila je sljedeće elemente:

- pouzdanost pojedinih indikatora (engl. *indicator reliability*),
- unutarnju konzistentnost konstrukata (engl. *internal consistency reliability*),
- konvergentnu valjanost (engl. *convergent validity*),
- diskriminantnu valjanost (engl. *discriminant validity*).

4.4.1.3 Pouzdanost indikatora

Pouzdanost indikatora procijenjena je na temelju faktorskih opterećenja pojedinih čestica. U početnoj analizi utvrđeno je da jedna čestica (Osjećam se nervozno dok razgovaram s robotom.) ima relativno nisko faktorsko opterećenje (0.538), što je ispod preporučenog praga od 0.70. Uz to, dodatni pokazatelji mjernog instrumenta, uključujući prosječnu izdvojenu varijancu (AVE), diskriminantnu valjanost procijenjenu HTMT omjerima te ukupnu pouzdanost konstrukta, upućivali su na mogućnost poboljšanja mjernog instrumenta uklanjanjem ove čestice. Nakon njezina uklanjanja sva su preostala faktorska opterećenja iznosila između 0.732 i 0.916, čime je potvrđena zadovoljavajuća pouzdanost indikatora i poboljšana ukupna kvaliteta mjernog instrumenta (Hair i sur., 2022). Faktorska opterećenja indikatora Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima prikazana su u Tablici 23.

Tablica 23 Faktorska opterećenja indikatora Ljestvice stavova prema obrazovnim robotima

	Angažman	Anksioznost	Namjera korištenja	Uživanje
Angažman_1	0.835			
Angažman_2	0.843			
Angažman_3	0.732			
Angažman_4	0.837			
Angažman_5	0.875			
Anksioznost_1		0.905		
Anksioznost_2		0.906		
Anksioznost_3		0.891		
Namjera_korištenja_1			0.883	
Namjera_korištenja_2			0.916	
Namjera_korištenja_3			0.913	
Namjera_korištenja_4			0.887	
Uživanje_1				0.852
Uživanje_2				0.800
Uživanje_3				0.892
Uživanje_4				0.808

4.4.1.4 Unutarnja konzistentnost konstrukata

Unutarnja konzistentnost konstrukata procijenjena je pomoću Cronbachova alfa koeficijenta, Dijkstra-Henselerova koeficijenta pouzdanosti (ρ_A) i kompozitne pouzdanosti (engl. *composite reliability* – CR). Prema metodološkim preporukama, vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta trebaju biti $\geq 0,70$, dok se vrijednosti kompozitne pouzdanosti trebaju kretati između 0.70 i 0.95 (Hair i sur., 2022). Rezultati su prikazani u Tablici 24.

Tablica 24 Pokazatelji unutarnje konzistentnosti i konvergentne valjanosti konstrukata

Konstrukt	Cronbach α	rho_A	CR	AVE
Angažman	0.884	0.908	0.914	0.681
Uživanje	0.861	0.885	0.904	0.703
Anksioznost	0.885	0.906	0.928	0.812
Namjera korištenja	0.922	0.922	0.945	0.810

Napomena. CR = kompozitna pouzdanost; AVE = prosječno izdvojena varijanca.

Dobiveni rezultati pokazuju da svi konstrukti zadovoljavaju preporučene kriterije unutarnje konzistentnosti. Vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta kreću se od 0.861 do 0.922, vrijednosti rho_A od 0.885 do 0.922, a kompozitne pouzdanosti od 0.904 do 0.945. Sve su vrijednosti unutar preporučenih granica, što upućuje na zadovoljavajuću do vrlo dobru pouzdanost konstrukata (Hair i sur., 2022).

4.4.1.5 Konvergentna valjanost

Konvergentna valjanost procijenjena je na temelju prosječno izdvojene varijance (Average Variance Extracted - AVE). Prema preporukama, AVE treba biti veći od 0.50 kako bi se smatralo da konstrukt objašnjava više od polovice varijance svojih indikatora (Hair i sur., 2022). U ovom istraživanju vrijednosti AVE-a kreću se od 0.681 do 0.812, što potvrđuje zadovoljavajuću konvergentnu valjanost svih konstrukata.

4.4.1.6 Diskriminantna valjanost

Diskriminantna valjanost konstrukata procijenjena je primjenom HTMT kriterija (engl. *Heterotrait–Monotrait Ratio of Correlations*), koji predstavlja omjer korelacija između različitih i istih konstrukata (Henseler i sur., 2015). Prema metodološkim preporukama, HTMT vrijednosti trebaju biti niže od 0.90, pri čemu vrijednosti bliske tom pragu zahtijevaju oprez u interpretaciji (Hair i sur., 2022). Dobivene vrijednosti prikazane su u Tablici 25.

Tablica 25 HTMT omjeri za procjenu diskriminantne valjanosti konstrukata

	Angažman	Anksioznost	Namjera korištenja
Anksioznost	0.508		
Namjera korištenja	0.908	0.524	
Uživanje	0.904	0.562	0.858

Većina dobivenih HTMT vrijednosti nalazi se ispod preporučenog praga od 0.90, što upućuje na zadovoljavajuću diskriminantnu valjanost konstrukata (Henseler i sur., 2015). Ipak, HTMT vrijednosti između konstrukata Angažman i Namjera korištenja (0.908) te između Angažmana i Uživanja (0.904) neznatno prelaze preporučeni prag od 0.90. Budući da su odstupanja minimalna, a konstrukti teorijski i konceptualno povezani, takav rezultat nije neočekivan. U literaturi se također navodi da se u nekim istraživačkim kontekstima, osobito kada su konstrukti konceptualno bliski, može primijeniti i slobodniji prag od 0.95 (Hair i sur., 2022). Promatrane vrijednosti u ovom istraživanju ostaju ispod tog praga, što dodatno potvrđuje prihvatljivu razinu diskriminantne valjanosti no dobivene rezultate stoga treba tumačiti s određenim oprezom. Povišene HTMT vrijednosti upućuju na mogućnost da učenici Angažman, Uživanje i Namjeru korištenja robota nisu doživljavali kao sasvim odvojene dijelove svojega iskustva. Takav je nalaz razumljiv s obzirom na dob sudionika i način na koji učenici osnovnoškolske dobi procjenjuju nastavne aktivnosti. Učenik koji je bio aktivno uključen u rad s robotom mogao je istodobno doživjeti aktivnost kao ugodnu i izraziti želju da je ponovno iskusi. Zbog toga se te procjene mogu promatrati kao različiti izrazi općenito pozitivnog doživljaja rada s robotom, a ne nužno kao potpuno odvojeni psihološki konstrukti.

Konstrukti su ipak zadržani jer se teorijski odnose na različite aspekte iskustva učenika. Angažman opisuje aktivno uključivanje u nastavnu aktivnost, Uživanje njezinu emocionalnu kvalitetu, a Namjera korištenja spremnost učenika na buduću uporabu robota. Međutim, rezultati pokazuju da njihova razlikovnost u ovom uzorku nije potpuno jasna. Zbog toga se u nastavku rada navedeni konstrukti tumače kao blisko povezani aspekti pozitivnog iskustva učenika, bez pretjeranog naglašavanja manjih razlika među njima.

Ranija istraživanja pokazuju kako viša razina angažmana tijekom korištenja obrazovnih tehnologija često prati pozitivno iskustvo korištenja (npr. uživanje) te snažnije namjere budućeg

korištenja tehnologije (Venkatesh i sur., 2012). U području obrazovne robotike također je pokazano da interakcija s čovjekolikim robotima može povećati angažman i pozitivne emocije učenika, što posljedično utječe na njihovu spremnost na daljnje korištenje tehnologije u učenju (Belpaeme i sur., 2018). S obzirom na navedeno, može se zaključiti da blago prekoračenje preporučenog praga od 0.90 u ovom slučaju prije odražava očekivanu teorijsku povezanost konstrukata nego nedostatak diskriminantne valjanosti mjernog modela.

4.4.1.7 Zaključak o psihometrijskim svojstvima instrumenta

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da prilagođena Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima pokazuje zadovoljavajuća psihometrijska svojstva na uzorku sudionika uključenih u ovo istraživanje. Nakon uklanjanja jedne čestice, potvrđena je pouzdanost indikatora, unutarnja konzistentnost i konvergentna valjanost svih konstrukata. Diskriminantna valjanost također je u najvećoj mjeri potvrđena, uz minimalna odstupanja između teorijski srodnih konstrukata. Može se zaključiti kako je mjerni instrument prikladan za daljnje analize stavova učenika prema korištenju čovjekolikog robota NAO u nastavi informatike.

Ipak, rezultate koji se odnose na Angažman, Uživanje i Namjeru korištenja potrebno je tumačiti oprezno. Navedeni konstrukti pružaju koristan uvid u različite aspekte iskustva učenika, ali se u ovom uzorku ne mogu promatrati kao potpuno neovisni pokazatelji.

4.4.2 Interpretacija testa normalnosti distribucije

Prije provođenja korelacijske analize ispitana je normalnost distribucije motivacijskih konstrukata (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo), konstrukata stavova učenika prema robotu (Angažman, Namjera korištenja, Uživanje i Anksioznost) te ostvarenih ishoda učenja izraženih brojem bodova na završnoj provjeri znanja (Bodovi). Normalnost distribucije provjerena je primjenom Shapiro–Wilk testa, koji se preporučuje za uzorke manjih i srednjih veličina. Rezultati testa normalnosti distribucije prikazani su u Tablici 26.

Tablica 26 Test normalnosti distribucije za motivaciju, stavove i ishode učenja

Varijabla	M	SD	Skewness	Kurtosis	Shapiro–Wilk W	p
Motivacija	3.46	0.98	−0.379	−0.779	0.963	.004
Pažnja	3.34	1.11	−0.378	−0.733	0.957	.001
Relevantnost	3.26	1.15	−0.364	−0.813	0.952	< .001
Povjerenje	3.75	0.92	−0.666	0.407	0.944	< .001
Zadovoljstvo	3.49	1.21	−0.459	−0.778	0.920	< .001
Stavovi	3.34	0.87	−0.091	−0.229	0.983	.192
Angažman	3.22	1.03	−0.281	−0.610	0.970	.014
Namjera korištenja	3.71	1.11	−0.863	−0.144	0.899	< .001
Uživanje	3.63	1.14	−0.681	−0.425	0.916	< .001
Anksioznost	2.81	1.51	0.200	−1.482	0.872	< .001
Bodovi	0.72	0.18	−0.301	−0.414	0.966	.008

Napomena. N = 108. Shapiro–Wilk test korišten je za procjenu normalnosti distribucije.

Distribucija podataka za ukupnu motivaciju (Motivacija), ukupne stavove (Stavovi), motivacijske konstrukte (Pažnja, Relevantnost, Povjerenje i Zadovoljstvo), konstrukte stavova (Angažman, Namjera korištenja, Uživanje i Anksioznost) i ostvarene ishode učenja (Bodovi) ispitana je pomoću Shapiro–Wilk testa normalnosti. Rezultati pokazuju da većina varijabli značajno odstupa od normalne distribucije ($p < .05$) uključujući ukupnu motivaciju, Pažnju, Relevantnost, Povjerenje, Zadovoljstvo, Angažman, Namjeru korištenja, Uživanje, Anksioznost i Bodove. Jedino varijabla ukupnih stavova (Stavovi) ne odstupa značajno od normalne distribucije ($p = .192$). Iako vrijednosti asimetrije i spljoštenosti u većini slučajeva ne upućuju na izrazita odstupanja od simetrične distribucije, rezultati Shapiro–Wilk testa pokazuju da pretpostavka normalnosti nije zadovoljena za većinu analiziranih varijabli. S obzirom na navedeno, u daljnjoj analizi povezanosti stavova učenika prema robotu, motivacije i ostvarenih ishoda učenja korišten je Spearmanov koeficijent korelacije, koji ne zahtijeva pretpostavku normalne distribucije podataka.

4.4.3 Povezanost motivacije, stavova i ishoda učenja

Kako bi se ispitala povezanost između motivacije, stavova prema robotu i ostvarenih bodova na provjeri znanja, provedena je Spearmanova korelacijska analiza. Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacije, stavova i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja prikazani su u Tablici 27.

Tablica 27 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacije, stavova i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja

Varijabla	Motivacija	Bodovi
Stavovi	$\rho = .795, p < .001$	$\rho = -.128, p = .188$

Napomena. N = 108. Prikazani su Spearmanovi koeficijenti korelacije (ρ).

Rezultati prikazani u Tablici 27 pokazuju statistički značajnu i snažnu pozitivnu povezanost između ukupnih stavova prema robotu i ukupne motivacije učenika ($\rho = .795, p < .001$). Na temelju rezultata može se zaključiti da učenici koji imaju pozitivnije stavove prema robotu u nastavi istodobno pokazuju i višu razinu motivacije za sudjelovanje u nastavnim aktivnostima. S druge strane, nije utvrđena statistički značajna povezanost između ukupnih stavova prema robotu i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja ($\rho = -.128, p = .188$). Rezultati upućuju na to da su motivacijski i afektivni aspekti učenja povezani, ali se u ovome istraživanju nužno ne odražavaju izravno na akademsko postignuće učenika.

4.4.4 Povezanost konstrukata stavova s motivacijom i ishodima učenja

U cilju ispitivanja odnosa između stavova prema korištenju čovjekolikog robota u nastavi, motivacije te ostvarenih ishoda učenja provedena je Spearmanova korelacijska analiza. Analizom su obuhvaćeni konstrukti stavova (Uživanje, Angažman, Namjera korištenja i Anksioznost), ukupna motivacija (Motivacija) te ostvareni rezultati (Bodovi) na završnoj provjeri znanja. Rezultati analize prikazani su u Tablici 28.

Tablica 28 Spearmanovi koeficijenti korelacije između konstrukata stavova, motivacije i ostvarenih bodova na završnoj provjeri znanja

Varijabla	Motivacija	Bodovi
Angažman	$\rho = .785, p < .001$	$\rho = .060, p = .539$
Namjera korištenja	$\rho = .832, p < .001$	$\rho = .046, p = .636$
Uživanje	$\rho = .847, p < .001$	$\rho = .020, p = .841$
Anksioznost	$\rho = .016, p = .868$	$\rho = -.333, p < .001$

Napomena. N = 108. Prikazani su Spearmanovi koeficijenti korelacije (ρ).

Rezultati Spearmanove korelacijske analize, prikazani u Tablici 28, ukazuju na statistički značajnu pozitivnu povezanost između konstrukata stavova prema korištenju robota u nastavi i ukupne motivacije učenika. Konkretno, konstrukti Uživanje ($\rho = .847, p < .001$), Angažman ($\rho = .785, p < .001$) i Namjera korištenja ($\rho = .832, p < .001$) pokazuju visoke i statistički značajne pozitivne korelacije s motivacijom. Ovi nalazi upućuju na snažnu povezanost između motivacijskih aspekata iskustva učenja i pozitivnih stavova učenika prema korištenju čovjekolikog robota u nastavi. Suprotno tome, Anksioznost nije pokazala statistički značajnu povezanost s motivacijom ($\rho = .016, p = .868$), što sugerira da razina anksioznosti pri korištenju robota nije povezana s ukupnom motivacijom učenika.

Kada je riječ o ishodima učenja, odnosno ostvarenim bodovima na završnoj provjeri znanja, rezultati ne ukazuju na statistički značajnu povezanost s većinom ispitivanih konstrukata stavova. Naime, korelacije između Bodova i Uživanja ($\rho = .020, p = .841$), Angažmana ($\rho = .060, p = .539$) te Namjere korištenja ($\rho = .046, p = .636$) nisu statistički značajne. Iznimku predstavlja Anksioznost koja pokazuje umjerenu i statistički značajnu negativnu povezanost s ostvarenim rezultatima (Bodovima) ($\rho = -.333, p < .001$). Ovaj nalaz upućuje na to da učenici koji iskazuju višu razinu anksioznosti pri korištenju robota postižu slabije rezultate na završnoj provjeri znanja. Rezultati ukazuju na snažnu međusobnu povezanost motivacijskih konstrukata i konstrukata stavova, dok njihova povezanost s neposrednim ishodima učenja nije potvrđena, osim u slučaju anksioznosti koja je negativno povezana s postignućem. Ovakvi nalazi upućuju na snažan utjecaj robota na afektivne i motivacijske aspekte učenja, dok se taj utjecaj ne mora nužno izravno odraziti na rezultate provjere znanja.

4.4.5 Povezanost motivacije, stavova i ishoda učenja po dobnim skupinama sudionika

Kako bi se ispitalo razlikuju li se odnosi između motivacije, stavova i ishoda učenja s obzirom na dobnu skupinu sudionika, provedena je Spearmanova korelacijska analiza zasebno za svaku dobnu skupinu. Rezultati Spearmanove korelacijske analize prikazani su u Tablici 29.

Tablica 29 Spearmanovi koeficijenti korelacije između motivacije, stavova i ostvarenih bodova po dobnim skupinama

Dobna skupina	Varijable	ρ	p
5. razred	Motivacija – Stavovi	.918	< .001
	Motivacija – Bodovi	-.207	.145
	Stavovi – Bodovi	-.212	.135
6. razred	Motivacija – Stavovi	.701	< .001
	Motivacija – Bodovi	.014	.940
	Stavovi – Bodovi	-.203	.274
7. razred	Motivacija – Stavovi	.669	< .001
	Motivacija – Bodovi	.049	.812
	Stavovi – Bodovi	.223	.275

Napomena. ρ = Spearmanov koeficijent korelacije. Prikazane su p-vrijednosti za svaku korelaciju.

Rezultati prikazani u Tablici 29 pokazuju da u svim analiziranim dobnim skupinama postoji statistički značajna i visoka pozitivna povezanost između motivacije i stavova. U petom razredu ta povezanost iznosi $\rho = .918$ ($p < .001$), u šestom razredu $\rho = .701$ ($p < .001$), dok je u sedmom razredu nešto niža, ali i dalje značajna ($\rho = .669$, $p < .001$). Ovi rezultati ukazuju na stabilan obrazac prema kojemu su motiviraniji učenici ujedno skloni izražavati pozitivnije stavove prema korištenju robota u nastavi, neovisno o dobnoj skupini.

S druge strane, povezanost između motivacije i ostvarenih rezultata na završnoj provjeri znanja nije se pokazala statistički značajnom ni u jednoj dobnoj skupini. U petom razredu zabilježena je slaba negativna korelacija ($\rho = -.207$, $p = .145$), u šestom razredu gotovo nepostojeća povezanost ($\rho = .014$, $p = .940$), dok je u sedmom razredu također vrlo slaba i neznčajna ($\rho = .049$, $p = .812$).

Slično tome, povezanost između Stavova i Bodova nije statistički značajna ni u jednoj dobnoj skupini. U petom razredu uočena je slaba negativna povezanost ($\rho = -.212$, $p = .135$), u šestom razredu također negativna, ali neznačajna ($\rho = -.203$, $p = .274$), dok je u sedmom razredu zabilježena slaba pozitivna povezanost ($\rho = .223$, $p = .275$).

Dodatna analiza konstrukata Stavova pokazuje da su u svim dobnim skupinama konstrukti poput Uživljanja, Angažmana i Namjere korištenja visoko i statistički značajno povezani s Motivacijom, što potvrđuje dosljedan obrazac povezanosti motivacijskih i afektivnih dimenzija učenja. Nasuprot tome, povezanost s ishodima učenja ostaje slaba i statistički neznačajna.

Izuzetak djelomično predstavlja Anksioznost u šestom razredu, gdje je utvrđena statistički značajna negativna povezanost s Motivacijom ($\rho = -.795$, $p < .001$), kao i negativna povezanost s drugim konstruktima stavova. Međutim, ni u ovoj dobnoj skupini Anksioznost nije pokazala statistički značajnu povezanost s Bodovima. Iako na razini ukupnog uzorka Anksioznost nije pokazala značajnu povezanost s Motivacijom, analiza po dobnim skupinama upućuje na postojanje dobnih razlika, pri čemu je u šestom razredu utvrđena snažna negativna povezanost.

Radi jasnijeg prikaza odnosa između varijabli, na Slici 9 prikazana je heat mapa Spearmanovih korelacija.

Varijabla	Motivacija	Bodovi
Stavovi	0,795	-0,128
Angažman	0,785	0,06
Namjera korištenja	0,832	0,046
Uživanje	0,847	0,02
Anksioznost	0,016	-0,333

Slika 9 Heat mapa Spearmanovih korelacija između stavova, motivacije i ishoda učenja

Napomena. Prikazani su Spearmanovi koeficijenti korelacije (ρ). Plava boja označava pozitivnu povezanost, crvena negativnu, a svjetlije nijanse ukazuju na slabiju ili neznačajnu povezanost.

Slika 9 prikazuje heat mapu Spearmanovih korelacija između stavova učenika prema čovjekolikom robotu, motivacije i ostvarenih bodova. Uočljive su snažne pozitivne povezanosti između motivacije i većine konstrukata stavova, dok povezanosti s ishodima učenja uglavnom nisu

značajne. Iznimku predstavlja Anksioznost, koja pokazuje umjerenu negativnu povezanost s postignućem.

4.4.6 Zaključak o povezanosti stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom

Na temelju rezultata korelacijske analize može se odgovoriti na istraživačko pitanje IP2 *Na koji su način stavovi učenika prema robotu povezani s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom?*

Rezultati pokazuju da su stavovi učenika prema čovjekolikom robotu u nastavi snažno povezani s njihovom motivacijom za sudjelovanje u nastavnim aktivnostima. Učenici koji iskazuju višu razinu pažnje, percepcije relevantnosti, povjerenja i zadovoljstva tijekom rada s robotom ujedno pokazuju i pozitivnije stavove prema robotu. Također, konstrukti stavova poput Angažmana, Namjere korištenja i Uživljanja značajno su pozitivno povezani s motivacijom učenika. Rezultati upućuju na to da su motivacijski procesi i stavovi prema tehnologiji u učenju međusobno povezani te se međusobno potiču.

S druge strane, povezanost stavova prema robotu i motivacije s ostvarenim ishodima učenja nije potvrđena. Rezultati pokazuju da broj bodova ostvaren na završnoj provjeri znanja nije statistički značajno povezan s većinom motivacijskih konstrukata i konstrukata stavova. Navedeno upućuje na to da pozitivni stavovi učenika prema robotu i njihova visoka motivacija ne moraju nužno rezultirati boljim neposrednim rezultatima na provjeri znanja.

Ipak, utvrđena je jedna statistički značajna povezanost. Konstrukat Anksioznosti pokazuje umjerenu negativnu korelaciju s ostvarenim rezultatima, što znači da učenici koji osjećaju veću razinu nesigurnosti ili nelagode pri radu s robotom ostvaruju slabije rezultate na provjeri znanja.

Može se zaključiti da su stavovi učenika prema čovjekolikom robotu snažno povezani s njihovom motivacijom za učenje, dok njihova povezanost s ostvarenim ishodima učenja nije potvrđena, uz iznimku anksioznosti koja je negativno povezana s postignućem.

5 Rasprava

U ovome poglavlju prikazana je interpretacija rezultata provedenog istraživanja. Cilj je istraživanja identificirati i objasniti učinak primjene čovjekolikog robota na motivaciju učenika i ostvarenost ishoda učenja. Također se ispituje povezanost stavova učenika prema robotu s ostvarenim ishodima, uz usporedbu s postojećim teorijskim i empirijskim saznanjima. Važno je naglasiti da je istraživanje provedeno u stvarnome obrazovnom okruženju, tijekom nastave Informatike, kada su učenici učili programiranje i razvijali vještine računalnog razmišljanja koristeći programski jezik Python. Navedeno je područje učenicima često izazovno jer zahtijeva logičko razmišljanje, apstrakciju i rješavanje problema. Motivacija i uspješnost učenja u ovome kontekstu dobivaju stoga dodatnu važnost.

Istraživanje je provedeno kao kvazi-eksperiment, bez nasumične raspodjele sudionika u skupine, što je omogućilo njegovo provođenje u stvarnim uvjetima. Iako je trajalo dulje od mnogih sličnih provedenih istraživanja, moguće je da razdoblje od šesnaest nastavnih sati ipak nije bilo dovoljno da se uoče izraženije promjene u složenijim kognitivnim ishodima. Potrebno je stoga dobivene rezultate promatrati u kontekstu u kojemu su nastali.

5.1 Učinak primjene čovjekolikog robota na motivaciju učenika

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da je motivacija učenika značajno viša od neutralne razine, čime je potvrđena hipoteza H1: *Primjena čovjekolikog robota pozitivno utječe na motivaciju učenika*. Može se zaključiti da su učenici obrazovne aktivnosti, u kojima su koristili čovjekolikog robota NAO, doživjeli kao zanimljive, poticajne i vrijedne truda. Takav nalaz u skladu je s prethodnim istraživanjima koja pokazuju da čovjekoliki roboti imaju pozitivan učinak na motivaciju učenika (Belpaeme i sur., 2018; Chen i sur., 2020; Woo i sur., 2021).

Promatraju li se pojedinačne dimenzije motivacije, posebno se ističu pažnja i zadovoljstvo. Učenici su bili usmjereni na zadatke i pritom osjećali određenu razinu zadovoljstva, što upućuje na zaključak da su aktivnosti bile i kognitivno i emocionalno angažirajuće. On je u skladu s pretpostavkom da interaktivnost i aktivno sudjelovanje imaju važnu ulogu u razvoju motivacije, osobito kada se učenje odvija uz pomoć tehnologije. Može se reći da čovjekoliki robot ovdje nije

bio samo dodatak, nego element koji je mijenjao način na koji učenici doživljavaju zadatke. Pri tumačenju ovih nalaza potrebno je razlikovati situacijski interes za rad s robotom od dugoročnog interesa za programiranje i rješavanje problema. Čovjekoliki robot svojim izgledom, pokretima i mogućnošću interakcije može snažno potaknuti situacijski interes, odnosno neposrednu pažnju, znatiželju i spremnost učenika na sudjelovanje. Međutim, pozitivan doživljaj rada s robotom ne znači nužno da su učenici razvili trajniji interes za nastavni sadržaj koji su uz njegovu pomoć učili. U ovom istraživanju interes za robota nije mjeren odvojeno od interesa za nastavne sadržaje. Zbog toga nije moguće pouzdano utvrditi jesu li učenici bili motivirani ponajprije interakcijom s tehnologijom ili su razvili dublju i trajniju usmjerenost prema nastavnim sadržajima. Pedagošku vrijednost robota stoga ne treba procjenjivati samo prema tome koliko je aktivnost učenicima bila zanimljiva, nego i prema tome potiče li samostalno rješavanje problema, razumijevanje programskih koncepata i nastavak bavljenja sadržajem bez prisutnosti robota.

Učenici su čovjekolikog robota doživjeli kao pouzdanog i podržavajućeg suradnika, a ne samo kao alat za učenje. Takav odnos može se objasniti društvenom dimenzijom čovjekolikog robota (Ekström i Pareto, 2022), ali i teorijom društvene prisutnosti (Biocca i sur., 2003; Lee i Nass, 2005). Kada učenici imaju osjećaj da „netko“ s njima sudjeluje u aktivnosti, a ne samo da rade s tehnologijom, povećava se njihova uključenost. Osjećaj sigurnosti koji pritom nastaje može se povezati s teorijom samoučinkovitosti (Bandura, 1997). Učenici su spremniji pokušavati, griješiti i učiti kada se ne boje negativne reakcije. U kontekstu programiranja, gdje su pogreške sastavni dio procesa, to je posebno važno.

Rezultati se mogu dodatno promatrati kroz ARCS model motivacije (Keller, 2010). Pažnja, relevantnost, povjerenje i zadovoljstvo kao pojedinačne dimenzije motivacije nisu djelovali odvojeno, nego zajedno. U stvarnoj se učionici učenik, koji je zainteresiran za obrazovnu aktivnost, često istovremeno osjeća sigurnije i zadovoljnije. Upravo se zato među pojedinačnim dimenzijama motivacije pojavljuje preklapanje, što potvrđuju i rezultati ranijih istraživanja (Henseler i sur., 2015).

Poseban značaj ovim nalazima daje kontekst učenja. Učenici nisu obavljali jednostavne ili zabavne zadatke sami po sebi, već su učili programirati u programskom jeziku Python. Takav sadržaj zahtijeva razumijevanje logike i struktura te nije intuitivan za početnike. Upravo je zato visoka razina motivacije posebno značajna; pokazuje da čovjekoliki robot može pomoći učenicima da ostanu angažirani i u zahtjevnim situacijama. Razlike među dobnim skupinama dodatno potvrđuju

ovaj nalaz. Mlađi učenici snažnije reagiraju na novost i interaktivnost, dok stariji više promišljaju o smislu i korisnosti aktivnosti. Ovakav obrazac može se objasniti teorijom vrijednosti i očekivanja (Eccles i Wigfield, 2002), prema kojoj motivacija ovisi o tome koliko učenici aktivnost smatraju vrijednom i koliko vjeruju da će u njoj uspjeti.

Važno je imati na umu da dobiveni rezultati mogu biti djelomično povezani s efektom novosti, odnosno početnim interesom učenika za rad s tehnologijom koja im je nova i drugačija od uobičajenih nastavnih iskustava. Također, u istraživanje nije bila uključena kontrolna skupina, što otežava potpuno razdvajanje učinka čovjekolikog robota od drugih čimbenika koji su mogli utjecati na motivaciju učenika. Iz gledišta ovoga istraživanja navedeni elementi ne dovode u pitanje dobivene rezultate, ali podsjećaju na potrebu da ih se promatra u kontekstu u kojemu su nastali. Uvođenje kontrolnih skupina i dulje praćenje učenika moglo bi pružiti još jasniji uvid u to kako se motivacija razvija tijekom vremena i koliko je stabilan utjecaj čovjekolikog robota u nastavi. Istraživanje zato predstavlja korak u razumijevanju složenoga odnosa tehnologije i motivacije, ali i poticaj za njegovo daljnje istraživanje.

5.2 Učinak primjene čovjekolikog robota na ishode učenja

Za razliku od motivacije, rezultati istraživanja nisu pokazali jasan i dosljedan učinak primjene čovjekolikog robota na ishode učenja, zbog čega je hipoteza H2: *Primjena čovjekolikog robota dovodi do boljeg postizanja ishoda učenja*, samo djelomično potvrđena. Iako su učenici bili motiviraniji, angažiraniji i pozitivnije doživljavali aktivnosti, taj se učinak nije u potpunosti preslikao na njihova postignuća.

Ovakav nalaz u skladu je s rezultatima prethodnih istraživanja. Roboti često imaju izraženiji utjecaj na afektivne dimenzije učenja nego na kognitivne ishode. Primjerice, učenici postižu slične rezultate bez obzira na to uče li s čovjekolikim robotom, nastavnikom ili drugim digitalnim alatima, ali pritom uz robota pokazuju veće zadovoljstvo, angažman i pozitivno raspoloženje (Zhexenova i sur., 2020; Yueh i sur., 2020). Čovjekoliki robot može promijeniti način na koji učenici doživljavaju učenje, ali ne nužno i krajnji rezultat u kratkome vremenskom okviru.

S druge strane, postoje istraživanja koja pokazuju pozitivne pomake u učenju, ali u specifičnim uvjetima. Chen i sur. (2020) pokazali su da čovjekoliki roboti mogu poboljšati usvajanje

vokabulara kada preuzimaju ulogu aktivnog sudionika u učenju stranog jezika, dok Konijn i Hoorn (2020) nalaze poboljšanja u rezultatima testova znanja kada je robot integriran u strukturirane nastavne aktivnosti. Navedeno upućuje na zaključak da učinak čovjekolikog robota uvelike ovisi o njegovoj ulozi u nastavi i načinu na koji je uključen u proces učenja.

U kontekstu ovoga istraživanja posebno je važna složenost sadržaja. Programiranje u programskom jeziku Python zahtijeva razvoj apstraktnog mišljenja, razumijevanje logičkih struktura i kontinuiranu praksu. Motivacija može pomoći učenicima da ostanu uključeni i ustrajni, ali ne može zamijeniti proces usvajanja znanja. Slično potvrđuju i istraživanja u području računalnog razmišljanja, gdje je pokazano da se napredak razvija tijekom dulje i intenzivnije interakcije s čovjekolikim robotom (Qu i Fok, 2021) .

Razlike u rezultatima učenika petoga, šestoga i sedmog razreda mogu se tumačiti i iz perspektive teorije kognitivnog opterećenja, prema kojoj je učenje ograničeno kapacitetom radnog pamćenja (Sweller i sur., 2011). Iako su svi učenici radili u Pythonu, sadržaji i zadaci razlikovali su se po složenosti. Kako raste zahtjevnost programskih koncepata, učenici istodobno moraju pratiti sintaksu, logiku programa i moguće pogreške u kodu. U takvim okolnostima robot može olakšati učenje ako pruža jasne i pravodobne upute, ali može i dodatno opteretiti učenika ako njegove informacije nisu izravno povezane sa zadatkom. Dobiveni rezultati stoga upućuju na to da didaktička vrijednost robota ovisi o složenosti zadataka i načinu na koji je njegova podrška uklopljena u nastavu. Budući da kognitivno opterećenje nije izravno mjereno, ovo tumačenje treba promatrati kao moguće objašnjenje razlika među razredima.

Pri tumačenju rezultata važno je uzeti u obzir i mjerna obilježja provjera znanja. Niža ili granična pouzdanost pojedinih testova, osobito u petome razredu, mogla je smanjiti preciznost mjerenja i otežati uočavanje manjih razlika između skupina. To je posebno važno u istraživanjima u kojima se očekuju manji učinci intervencije, jer se oni teže razlikuju od slučajnih varijacija u rezultatima. Zbog toga izostanak statistički značajnih razlika ne treba tumačiti kao konačan dokaz da učinak robota nije postojao, nego kao nalaz koji u uvjetima ovoga istraživanja nije bio dovoljno jasno i pouzdano potvrđen.

Dodatno, važno je uzeti u obzir i vremensku dimenziju. Velik broj istraživanja provodi se u kratkim intervencijama, što otežava uočavanje longitudinalnih učinaka čovjekolikog robota na učenje. U preglednom radu ističe se da su kratkotrajne aktivnosti (često jednosatne ili jednodnevne) vrlo

česte, dok su longitudinalna istraživanja rijetka. Upravo to može objasniti zašto učinci na ishode učenja nisu uvijek jasno vidljivi.

Sve navedeno upućuje na zaključak da čovjekoliki robot ima važnu, ali posrednu ulogu u učenju. On stvara uvjete za angažman i interes, ali stvaran napredak ovisi o kvaliteti dizajna nastave, vremenu i dubini obrade sadržaja. Takvi rezultati upućuju na razliku između motivacije i ishoda učenja, kao i na to da se oni ne razvijaju uvijek istom brzinom. Učenici mogu biti zainteresirani, uključeni i pozitivno doživljavati aktivnosti, ali se to neće odraziti na njihove rezultate. Na slične odnose upućuju i druga istraživanja, koja pokazuju da veći angažman ne mora nužno značiti i bolja postignuća (Guggemos i sur., 2020). U tome smislu uloga čovjekolikog robota može se promatrati kao podrška procesu učenja. Robot pomaže stvoriti uvjete u kojima su učenici spremniji učiti, dok stvaran napredak ovisi o vremenu, razumijevanju i iskustvu koje učenici razvijaju postupno.

5.3 Promjena motivacije tijekom vremena

Rezultati provedenog istraživanja pokazuju da se motivacija učenika povećavala tijekom vremena, čime je potvrđena hipoteza H3: *Nakon višetjedne interakcije učenika s robotom, motivacija učenika za rad u nastavi je veća*. Dobiveni rezultati upućuju na to da se motivacijski učinak nije ograničio samo na početnu reakciju na novost, nego se održao tijekom kontinuiranog iskustva rada s čovjekolikim robotom. Ovaj nalaz posebno je značajan jer promatra tzv. efekt novosti. Iako se često smatra da interes za tehnologiju opada nakon početnog susreta, istraživanja pokazuju da čovjekoliki roboti mogu održavati angažman i tijekom duljeg razdoblja. Primjerice, Osawa i sur. (2022) pokazuju da robot može održati interes učenika bez pojave dosade čak i tijekom duljih aktivnosti. Peura i sur. (2023) naglašavaju da se tijekom dulje interakcije s robotom povećava ustrajnost učenika i njihovo aktivno sudjelovanje, pri čemu učenje postaje prirodan dio aktivnosti, a ne obveza. Ovakav nalaz posebno je važan u kontekstu zahtjevnih sadržaja poput programiranja, gdje je kontinuitet rada ključan za uspjeh.

Stabilna razina motivacije tijekom osam tjedana pokazuje da se pozitivan doživljaj nastavnih aktivnosti održao tijekom intervencije. Ipak, taj nalaz sam po sebi ne potvrđuje razvoj dugoročnog interesa za učenjem programiranja. Situacijski interes može trajati i dulje ako učenicima aktivnost ostaje zanimljiva, interaktivna i poticajna. Za zaključak o razvoju dugoročnog interesa bilo bi

potrebno utvrditi pokazuju li učenici i izvan rada s robotom trajniju želju za programiranjem, samostalno traže dodatne zadatke i sadržaju pridaju osobnu važnost.

Rezultati stoga pokazuju da se pozitivno motivacijsko iskustvo održalo tijekom istraživanja, ali ne pružaju dovoljno dokaza da je situacijski interes prerastao u stabilan dugoročni interes za nastavne sadržaje.

Kontinuirana interakcija s čovjekolikim robotom može pridonijeti razvoju osjećaja sigurnosti. Učenici se postupno navikavaju na način rada, što smanjuje nesigurnost i povećava spremnost na sudjelovanje. Ovaj proces može se povezati s razvojem samopouzdanja i osjećaja kompetentnosti, što dodatno potiče motivaciju.

Važno je istaknuti i društvenu dimenziju čovjekolikog robota. Prethodna istraživanja pokazuju da roboti, zahvaljujući svojoj sposobnosti komunikacije i izražavanja, mogu potaknuti emocionalni angažman učenika (Chen i sur., 2020). Upravo ta kombinacija kognitivne i emocionalne uključenosti može objasniti zašto motivacija ne opada, nego raste.

Većina prethodnih istraživanja obuhvaćala je kratkoročne intervencije s robotom, često ograničene na jednu ili nekoliko nastavnih aktivnosti (Donnermann i sur., 2020; Belpaeme i sur., 2018), zbog čega nije bilo moguće donositi zaključke o dugoročnijim učincima čovjekolikog robota na motivaciju. Rezultati ovoga istraživanja zbog toga dobivaju dodatnu vrijednost jer se temelje na duljem razdoblju i omogućuju uvid u razvoj motivacije tijekom vremena u stvarnim nastavnim uvjetima. Može se zaključiti da motivacija učenika u ovome istraživanju nije bila prolazna niti isključivo vezana uz početni interes za novu tehnologiju, već stabilna i održiva tijekom kontinuirane interakcije. Time se pokazuje da čovjekoliki roboti nemaju samo potencijal privući pažnju učenika, već i održati njihovu motivaciju, što ih čini posebno vrijednima u učenju zahtjevnih i kognitivno složenih sadržaja.

5.4 Povezanost motivacije i ishoda učenja

Promatramo li istraživačko pitanje IP1: *Na koji su način pojedini motivacijski elementi povezani s ostvarenjem ishoda učenja kod primjene čovjekolikog robota?*, rezultati ovoga istraživanja nisu pokazali značajnu povezanost između motivacije i ishoda učenja. Iako se često pretpostavlja da motiviraniji učenici postižu bolje rezultate, istraživanja pokazuju da taj odnos nije uvijek linearan. Primjerice, iako čovjekoliki roboti povećavaju angažman i pozitivno iskustvo učenja, učenici ne postižu nužno bolje rezultate u odnosu na druge oblike podučavanja (Zhexenova i sur., 2020).

Jedno je od mogućih objašnjenja da motivacija može biti usmjerena na različite aspekte aktivnosti. Dio motivacije u ovome istraživanju vjerojatno je bio povezan s interakcijom s čovjekolikim robotom, a ne isključivo s učenjem programiranja. Slične nalaze donose i druga istraživanja koja pokazuju da učenici često percipiraju čovjekolikog robota kao zanimljivog suradnika, što povećava njihovo zadovoljstvo, ali ne mora nužno dovesti do dubljeg razumijevanja sadržaja.

U kontekstu učenja programiranja taj odnos dodatno dolazi do izražaja. Razvoj računalnog razmišljanja zahtijeva strukturirano razmišljanje, analizu i rješavanje problema. Istraživanja pokazuju da se te vještine razvijaju longitudinalnom praksom i interakcijom (Qu i Fok, 2021), što znači da motivacija može biti početni poticaj, ali ne i dovoljan uvjet za uspjeh. Ovaj nalaz naglašava važnost integriranog pristupa u kojemu se motivacija koristi kao sredstvo za poticanje učenja, uz osiguravanje kvalitetnih zadataka, podrške i vremena potrebnog za razvoj znanja. Time se potvrđuje da je motivacija važan, ali ne i dovoljan uvjet za uspješno učenje; ona može potaknuti angažman i ustrajnost učenika, ali ne mora rezultirati boljim postignućima. Upravo ju je zato potrebno promatrati kao polazište procesa učenja, a ne kao njegov konačni ishod.

5.5 Povezanost stavova, motivacije i ishoda učenja

Promatra li se istraživačko pitanje IP2: *Na koji su način stavovi učenika prema robotu povezani s ostvarenim ishodima učenja i motivacijom?*, rezultati pokazuju snažnu povezanost između stavova učenika prema robotu i njihove motivacije. Učenici koji čovjekolikog robota doživljavaju kao zanimljivog, korisnog i pristupačnog, pokazuju veću uključenost i spremnost za rad. Ovaj nalaz u skladu je s istraživanjima koja naglašavaju važnost percepcije čovjekolikog robota u procesu učenja. Sisman i sur. (2019) ističu da su angažman i užitak ključni čimbenici u formiranju

pozitivnih stavova prema robotima, pri čemu upravo angažman ima najsnažniji utjecaj. Također, prethodna istraživanja pokazuju da učenici čovjekolike robote često doživljavaju kao poželjne suradnike u učenju, a ponekad, u određenim aktivnostima, čak i poželjnije od ljudskih suradnika (Yueh i sur., 2020). Bliska povezanost angažmana, uživanja i namjere korištenja može se objasniti i iz didaktičke perspektive. Učenici osnovnoškolske dobi nastavnu aktivnost često doživljavaju kao cjelovito iskustvo. Ako im je rad s robotom bio zanimljiv i ugodan, vjerojatnije je da će iskazati veću uključenost i želju da takvu aktivnost ponove. Zbog toga im razlike između tih konstrukata možda nisu potpuno jasne, iako su teorijski različiti. Pozitivan doživljaj rada s robotom stoga je opravdanije promatrati kao zajednički obrazac iskustva učenika nego kao niz potpuno odvojenih učinaka.

Istovremeno, rezultati pokazuju da stavovi nisu izravno povezani s ishodima učenja. Ovaj nalaz potvrđuju i druga istraživanja koja pokazuju da pozitivna percepcija čovjekolikog robota ne jamči bolje rezultate, već prije utječe na angažman i iskustvo učenja. Percepcija čovjekolikog robota može biti složena i promjenjiva. Istraživanja pokazuju da učenici koji dulje rade s robotima mogu razviti i kritičnije stavove, osobito u vezi s njihovim sposobnostima i „ljudskim“ osobinama (Serholt, 2019). Odnos učenika i čovjekolikog robota stoga nije statičan, nego se razvija iskustvom. Posebno se ističe nalaz vezan uz anksioznost. Učenici koji su se osjećali nesigurno postizali su slabije rezultate, što potvrđuje važnost emocionalnog aspekta učenja. Rezultati također ukazuju na moguće dobne razlike u ulozi anksioznosti, budući da analiza po dobnim skupinama pokazuje varijacije u povezanosti između anksioznosti i motivacije. Čovjekoliki robot tako može imati dvostruku ulogu; može potaknuti motivaciju, ali i izazvati nelagodu ako učenici nisu sigurni u rad s njim. Ovi rezultati upućuju na to da način na koji učenici doživljavaju robota ima važnu ulogu u njihovoj motivaciji i spremnosti za rad. Oni koji ga doživljavaju kao zanimljivog i korisnog, lakše se uključuju u aktivnosti i pokazuju veći angažman. Unatoč tome, pozitivan doživljaj ne podrazumijeva nužno i bolje rezultate učenja, što potvrđuje činjenicu da su stavovi i motivacija važni, ali sami po sebi nedovoljni za njihovo ostvarivanje.

6 Zaključak

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da primjena čovjekolikog robota u nastavi može imati snažan i pozitivan učinak na motivaciju i angažman učenika, čak i u zahtjevnim područjima poput učenja programiranja u programskom jeziku Python i razvoja računalnog razmišljanja. Učenici su aktivnosti u kojima je sudjelovao čovjekoliki robot NAO doživjeli kao zanimljive, poticajne i vrijedne truda, što potvrđuje nalaze prethodnih istraživanja o pozitivnom utjecaju čovjekolikih robota na angažman i iskustvo učenja (Belpaeme i sur., 2018; Chen i sur., 2020). Ovakvi rezultati upućuju na to da robot može imati važnu ulogu u stvaranju okruženja u kojem učenici pristupaju učenju s većim zanimanjem i otvorenosti.

Istodobno, rezultati pokazuju da povećana motivacija ne dovodi nužno do boljih ishoda učenja. Iako su učenici bili angažirani i pozitivno usmjereni prema radu, to se nije uvijek odrazilo na njihova postignuća. Takav nalaz potvrđuju i druga istraživanja koja upozoravaju da je utjecaj robota na ishode učenja često neujednačen i ovisi o različitim čimbenicima, poput trajanja aktivnosti, nastavnog dizajna i složenosti sadržaja (Guggemos i sur., 2020; Ružić i Balaban, 2024). Učenje programiranja zahtijeva vrijeme, kontinuiranu praksu i postupno razvijanje razumijevanja pa se napredak ne može uvijek očekivati u kratkome razdoblju.

U tom se kontekstu robot može promatrati kao element koji mijenja način na koji učenici ulaze u proces učenja. On ne zamjenjuje nastavnika niti proces učenja, ali može značajno utjecati na početnu spremnost učenika, njihovu uključenost i ustrajnost. Upravo se uloga čovjekolikog robota kao podrške i poticaja procesu učenja ističe kao njegova najveća vrijednost. Ovakvo razumijevanje u skladu je s pristupima koji naglašavaju važnost integracije tehnologije i pedagogije, pri čemu tehnologija ima smisla samo ako doprinosi kvaliteti učenja (Holmes i sur., 2019; Luckin i sur., 2016).

Važan je doprinos ovoga istraživanja u tome što su motivacija učenika, njihovi stavovi prema čovjekolikom robotu i ishodi učenja promatrani zajedno, unutar stvarnoga nastavnog okruženja. Takav pristup omogućio je dublje razumijevanje njihove međusobne povezanosti i dao uvid u to kako se razvijaju iskustvom učenja. Rezultati su pokazali da su stavovi učenika prema robotu snažno povezani s njihovom motivacijom, što je u skladu s modelima prihvaćanja tehnologije koji naglašavaju važnost percepcije korisnosti i jednostavnosti korištenja (Davis, 1993; Venkatesh i

sur., 2003). S druge strane, izostanak povezanosti s ishodima učenja dodatno potvrđuje da motivacija i pozitivni stavovi ne jamče nužno i bolje rezultate.

Posebna vrijednost ovoga istraživanja proizlazi iz njegova konteksta. Istraživanje je provedeno u stvarnome nastavnom okruženju, u nastavi Informatike, i to u području koje učenicima često predstavlja izazov. Učenje programiranja u programskom jeziku Python i razvoj računalnog razmišljanja zahtijevaju logičko zaključivanje, apstrakciju i rješavanje problema, što za mnoge učenike nije intuitivno. Upravo u takvome kontekstu dolazi do izražaja važnost motivacije i angažmana jer bez njih učenici teško ustraju u radu. Rezultati ovoga istraživanja pokazuju da čovjekoliki robot može imati važnu ulogu u održavanju interesa i spremnosti učenika za rad čak i kada je sadržaj zahtjevan. Time se čovjekoliki roboti potvrđuju ne kao zamjena nastavniku, nego kao potencijalno vrijedan pedagoški medij suvremene nastave.

6.1 Ograničenja istraživanja

Važno je u obzir uzeti i ograničenja ovoga istraživanja. Provedeno je u jednoj školi, u nastavi jednog predmeta, što može ograničiti mogućnost šire primjene rezultata. Dodatno, korištenje jednog robota moglo je utjecati na dinamiku rada i razinu individualne interakcije učenika, osobito u situacijama kada su učenici morali dijeliti pristup robotu. Iako je istraživanje trajalo dulje od mnogih sličnih provedenih istraživanja, moguće je da razdoblje od osam tjedana, šesnaest nastavnih sati, ipak nije bilo dovoljno za uočavanje značajnijih promjena u složenim kognitivnim vještinama poput učenja programiranja u programskom jeziku Python. Također, korišteni instrumenti za mjerenje ishoda učenja možda nisu u potpunosti obuhvatili sve dimenzije računalnog razmišljanja, što je izazov koji se prepoznaje i u drugim istraživanjima ovoga područja. Jedno od ograničenja istraživanja odnosi se na pouzdanost pojedinih provjera znanja. Kod dijela testova utvrđene su niže ili granične vrijednosti Cronbachova alfa koeficijenta, što je moglo povećati pogrešku mjerenja i smanjiti preciznost procjene stvarnih razlika među učenicima i skupinama. Time je mogla biti umanjena i mogućnost otkrivanja manjeg učinka intervencije. Zaključke povezane s hipotezom H2 stoga je potrebno tumačiti oprezno, osobito kada nisu utvrđene statistički značajne razlike između eksperimentalne i kontrolne skupine.

Dodatno ograničenje proizlazi iz načina primjene Upitnika motivacije za obrazovne materijale. Budući da je mjerni instrument bio prilagođen iskustvu rada s čovjekolikim robotom, ispunjavali su ga samo učenici eksperimentalne skupine. Time nije bilo moguće izravno usporediti motivaciju učenika eksperimentalne i kontrolne skupine niti provjeriti jesu li mjerni konstrukti u objema skupinama jednako shvaćeni. Dobivene nalaze o motivaciji stoga treba promatrati kao uvid u motivacijsko iskustvo učenika koji su sudjelovali u nastavi uz primjenu robota, a ne kao potvrdu da je njihova motivacija bila viša od motivacije učenika u kontrolnoj skupini.

Ograničenje odnosi se na to što istraživanjem nije odvojeno mjeren situacijski interes za rad s čovjekolikim robotom od dugoročnog interesa za programiranje i Informatiku. Zbog toga nije moguće pouzdano utvrditi odražavaju li dobivene vrijednosti motivacije ponajprije privlačnost i interaktivnost robota ili trajniju usmjerenost učenika prema sadržaju učenja. Također, izostanak značajnog pada motivacije tijekom osam tjedana ne može se smatrati potvrdom razvoja stabilnog dugoročnog interesa.

Jedno od ograničenja ovog istraživanja odnosi se na Ljestvicu stavova prema obrazovnim robotima. Povišene HTMT vrijednosti upućuju na to da učenici nisu u potpunosti jasno razlikovali konstrukte Angažman, Uživane i Namjera korištenja. Moguće je da su te konstrukte doživljavali kao međusobno povezane dijelove općenito pozitivnog iskustva rada s robotom. Zbog toga rezultate za svaki od tih konstrukata treba tumačiti s oprezom, osobito kada su utvrđene razlike ili povezanosti male. U budućim bi istraživanjima bilo korisno dodatno provjeriti koliko su čestice razumljive učenicima različite dobi te razmotriti je li opravdano zadržati te konstrukte odvojeno ili ih obuhvatiti širim konstruktom pozitivnog iskustva rada s robotom.

Istraživanje nije zasebno razlikovalo interes učenika za rad s robotom od interesa za sadržaje programiranja i računalnog razmišljanja. Zbog toga nije moguće utvrditi je li zabilježena motivacija odražavala ponajprije situacijski interes potaknut atraktivnošću tehnologije ili razvoj trajnijega individualnog interesa za nastavne sadržaje predmeta Informatika.

Također, među ograničenjima je važno istaknuti da ovo istraživanje nije izravno mjereno kognitivno opterećenje učenika. Zbog toga nije moguće pouzdano utvrditi jesu li razlike među razredima povezane sa složenošću programskih sadržaja, prethodnim znanjem učenika, dobi ili načinom na koji je podrška robota bila uklopljena u nastavne aktivnosti.

Unatoč navedenim ograničenjima, istraživanje pruža vrijedan i višeslojan uvid u mogućnosti primjene čovjekolikih robota u obrazovanju. Pokazuje da robot može imati važnu ulogu ne samo

kao tehnološki alat, nego kao element koji utječe na način na koji učenici doživljavaju učenje, njihovu uključenost i spremnost na sudjelovanje. Time se otvara prostor za promišljanje o novim pristupima poučavanju koji povezuju tehnologiju i pedagogiju na način usmjeren na učenika.

6.2 Preporuke za buduća istraživanja

Za buduća istraživanja preporučuje se provođenje longitudinalnih studija koje bi omogućile bolje razumijevanje dugoročnih učinaka primjene robota na učenje i razvoj učenika (Donnermann i sur., 2020). Također, važno je istražiti primjenu čovjekolikog robota u različitim nastavnim predmetima i različitim obrazovnim kontekstima, kao i učinke rada s većim brojem robota koji bi omogućili veću razinu individualne interakcije. Dodatnu pozornost potrebno je usmjeriti na načine povezivanja motivacije s postizanjem ishoda učenja pažljivo osmišljenim nastavnim aktivnostima i strategijama poučavanja.

Buduća bi istraživanja trebala uključiti opći instrument motivacije koji je sadržajno primjenjiv u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini, uz dodatne čestice namijenjene procjeni iskustva rada s robotom. Takav bi pristup omogućio izravnu usporedbu skupina, provjeru invarijantnosti mjerenja te provedbu višeskupinskih analiza.

Također, buduća bi istraživanja trebala odvojeno mjeriti situacijski interes za rad s robotom i dugoročni interes za programiranje i Informatiku. Korisno bi bilo uključiti i naknadna mjerenja nakon završetka intervencije kako bi se utvrdilo održava li se interes za sadržaj i kada robot više nije prisutan. Dodatni pokazatelji, poput dobrovoljnog odabira programskih zadataka, samostalnog rada i želje za daljnjim učenjem, omogućili bi pouzdaniju procjenu prerasta li početna zainteresiranost u trajniji interes za sadržaj.

U konačnici, ovo istraživanje potvrđuje potencijal čovjekolikih robota za obogaćivanje obrazovnoga procesa, ali i pokazuje da njihova stvarna vrijednost ne proizlazi iz same tehnologije. Ona se očituje u načinu njezine primjene, kao podrške aktivnom, smislenom i na učenika usmjerenom učenju, što je jedan od ključnih izazova i smjerova razvoja suvremenog obrazovanja.

Popis literature

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Alhashmi, M., Mubin, O., & Baroud, R. B. (2021). Examining the use of robots as teacher assistants in UAE classrooms: Teacher and student perspectives. *Journal of Information Technology Education: Research*, 20, 245–261. <https://doi.org/10.28945/4749>
- Ali, S., Devasia, N., Park, H. W., & Breazeal, C. (2021). Social robots as creativity eliciting agents. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, Article 673730. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.673730>
- Arar, C., Belazoui, A., & Telli, A. (2021). Adoption of social robots as pedagogical aids for efficient learning of second language vocabulary to children. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 17(3), 119–126. <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135551>
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.
- Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E., & Zoghbi, S. (2009). Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. *International Journal of Social Robotics*, 1(1), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s12369-008-0001-3>
- Bartneck, C., Nomura, T., Kanda, T., Suzuki, T., & Kato, K. (2005). A cross-cultural study on attitudes towards robots. *HCI International Conference Proceedings*.
- Baxter, P., Ashurst, E., Read, R., Kennedy, J., & Belpaeme, T. (2017). Robot education peers in a situated primary school study: Personalisation promotes child learning. *PLOS ONE*, 12(5), Article e0178126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178126>
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3(21), eaat5954. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat5954>
- Beran, T. N., Ramirez-Serrano, A., Kuzyk, R., Fior, M., & Nugent, S. (2011). Understanding how children understand robots: Perceived animism in child–robot interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(7–8), 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2011.04.003>

- Biocca, F., Harms, C., & Burgoon, J. K. (2003). Toward a more robust theory and measure of social presence: Review and suggested criteria. *Presence*, 12(5), 456–480.
<https://doi.org/10.1162/105474603322761270>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), 552–557.
<https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Boland, A., Cherry, M. G., & Dickson, R. (2017). *Doing a systematic review: A student's guide* (2nd ed.). SAGE.
- Chalmers, C., Keane, T., Boden, M., & Williams, M. (2022). Humanoid robots go to school. *Education and Information Technologies*, 27, 7563–7581. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10913-z>
- Chen, G., Ahmad, W. F. W., & Chen, N.-S. (2020). Effects of robot-assisted learning on cognitive and affective outcomes in STEM education. *Computers & Education*, 150, 103858. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103858>
- Chen, H., Park, H. W., & Breazeal, C. (2020). Teaching and learning with children: Impact of reciprocal peer learning with a social robot on children's learning and emotive engagement. *Computers & Education*, 150, Article 103836.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103836>
- Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G.-J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cook, D. A., Beckman, T. J., Thomas, K. G., & Thompson, W. G. (2009). Motivational influences on computer-based instruction: A comparison of three instructional interventions. *Advances in Health Sciences Education*, 14(3), 439–450.
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed.). SAGE.
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: System characteristics, user perceptions, and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38(3), 475–487.

- Davison, D. P., Wijnen, F. M., van der Meij, J., Reidsma, D., & Evers, V. (2020). Designing a social robot to support children's inquiry learning: A contextual analysis of children working together at school. *International Journal of Social Robotics*, 12, 883–907.
<https://doi.org/10.1007/s12369-019-00555-6>
- de Haas, M., Vogt, P., & Krahmer, E. (2020). The effects of feedback on children's engagement and learning outcomes in robot-assisted second language learning. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, Article 101. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00101>
- de Souza Jeronimo, B., de Albuquerque Wheler, A. P., de Oliveira, J. P. G., Melo, R., Bastos-Filho, C. J. A., & Kelner, J. (2022). Comparing social robot embodiment for child musical education. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 105, Article 28.
<https://doi.org/10.1007/s10846-022-01604-5>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
- Donnermann, M., Lein, M., Messingschlager, T., Riedmann, A., Schaper, P., Steinhäusser, S., & Lugin, B. (2021). Social robots and gamification for technology supported learning: An empirical study on engagement and motivation. *Computers in Human Behavior*, 121, Article 106792. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106792>
- Donnermann, M., Schaper, P., & Lugin, B. (2020). Social robots in education: A review. *Computers & Education*, 162, Article 104098.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104098>
- Donnermann, M., Schaper, P., & Lugin, B. (2022). Social robots in applied settings: A long-term study on adaptive robotic tutors in higher education. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, Article 831633. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.831633>
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt Brace.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109–132.
- Ekström, S., & Pareto, L. (2022). The dual role of humanoid robots in education: As didactic tools and social actors. *Education and Information Technologies*.
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-10974-0>

- Elgarf, M., Salam, H., & Peters, C. (2024). Fostering children's creativity through LLM-driven storytelling with a social robot. *Frontiers in Robotics and AI*, 11, Article 1457429. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1457429>
- Escobar-Planas, M., Charisi, V., & Gómez, E. (2022). That robot played with us! Children's perceptions of a robot after a child-robot group interaction. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 6(CSCW2), Article 393. <https://doi.org/10.1145/3555118>
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Addison-Wesley.
- Fiske, S. T., Cuddy, A. J. C., Glick, P., & Xu, J. (2002). A model of (often mixed) stereotype content: Competence and warmth respectively follow from perceived status and competition. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(6), 878–902. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.82.6.878>
- Francis, R. (2017). *Motivation in education: Theory and practice*. Routledge.
- Garay-Rondero, C. L., Castillo-Paz, A. M., Rondero-Castillo, A., & López-López, E. (2020). Competency-based assessment tools for engineering education: A systematic literature review. *International Journal of Engineering Education*, 36(5), 1597–1611.
- Guggemos, J., Seufert, S., & Sailer, M. (2020). The role of technology acceptance in the use of digital learning environments. *Computers in Human Behavior*, 102, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.08.020>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (3rd ed.). SAGE.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115–135.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Incognito, O., & Tarchi, C. (2021). The association between sourcing skills and intertextual integration in multiple document comprehension. *Reading and Writing*, 34(7), 1727–1752. <https://doi.org/10.1007/s11145-020-10110-4>
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2–10.

- Keller, J. M. (2010). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer.
- Keller, J. M., & Suzuki, K. (2004). Learner motivation and e-learning design. *Journal of Educational Media*, 29(3), 229–239.
- Kennedy, J., Baxter, P., & Belpaeme, T. (2015). The robot who tried too hard: Social behaviour and learning in robot–student interaction. *International Journal of Social Robotics*, 7(2), 149–165.
- Khalifa, A., Kato, T., & Yamamoto, S. (2019). Learning effect of implicit learning in joining-in-type robot-assisted language learning system. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(2), 105–123. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i02.9212>
- Konijn, E. A., & Hoorn, J. F. (2020). Robot tutor and pupils’ educational ability: Teaching the times tables. *Computers & Education*, 157, Article 103970. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103970>
- Kotzebue, L., & Müller, C. (2021). Cognitive activation in experimental situations in kindergarten and primary school. *Frontiers in Education*, 6, Article 661554. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.661554>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Lee, K. M., & Nass, C. (2005). Social-psychological origins of social responses to computers in media-rich environments. *Computers in Human Behavior*, 21(2), 209–223.
- Leitão, I., Pereira, A., & Gonçalves, R. (2022). Quality of life and motivation in learning contexts: A systematic review. *Education Sciences*, 12(2), 123. <https://doi.org/10.3390/educsci12020123>
- LeTendre, G. K., & Gray, R. (2024). Social robots in a project-based learning environment: Adolescent understanding of robot–human interactions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(1), 192–204. <https://doi.org/10.1111/jcal.12872>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.

- McGill, T. J., & Klobas, J. E. (2012). A task–technology fit view of learning management system impact. *Computers & Education*, 59(4), 1324–1337.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.06.002>
- Milas, G. (2005). *Istraživačke metode u psihologiji i drugim društvenim znanostima*. Jasrebarsko: Naklada Slap.
- Newton, D. P., & Newton, L. D. (2019). Ethical issues in the use of robots in education. *Ethics and Information Technology*, 21(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10676-018-9497-6>
- Nomura, T., Kanda, T., Suzuki, T., & Kato, K. (2004). Psychology in human–robot communication: Negative attitudes and anxiety. *RO-MAN 2004 Proceedings*, 373–378.
- Nomura, T., Suzuki, T., Kanda, T., & Kato, K. (2006). Measurement of negative attitudes toward robots. *Interaction Studies*, 7(3), 437–454.
- Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the 'laws' of statistics. *Advances in Health Sciences Education*, 15(5), 625–632.
- Osawa, H., Horino, K., & Sato, T. (2022). Social agents as catalysts: Social dynamics in the classroom with book introduction robot. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, Article 934325. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.934325>
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement. *Educational Psychologist*, 37(2), 91–105.
- Peura, L., Mutta, M., & Johansson, M. (2023). Playing with pronunciation: A study on robot-assisted French pronunciation in a learning game. *Nordic Journal of Digital Literacy*, 18(2), 100–115. <https://doi.org/10.18261/njdl.18.2.3>
- Pintrich, P. R., & Schunk, D. H. (2002). *Motivation in education: Theory, research, and applications*. Prentice Hall.
- Ramachandran, A., Huang, C.-M., & Scassellati, B. (2019). Toward effective robot-child tutoring: Internal motivation, behavioral intervention, and learning outcomes. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 9(1), Article 2. <https://doi.org/10.1145/3213768>
- Riedmann, A., Schaper, P., & Lugin, B. (2024). Integration of a social robot and gamification in adult learning and effects on motivation, engagement and performance. *AI & Society*, 39, 369–388. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01514-y>

- Rosanda, D., & Istenič Starčič, A. (2020). Social robots in education: A review of the current state and future directions. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(1), 4–18. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i01.11444>
- Ružić, I., & Balaban, I. (2024). The use of social robots as teaching assistants in schools: Implications for research and practice. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 24(78), Article 7. <https://doi.org/10.6018/red.600771>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation. *American Psychologist*, 55(1), 68–78.
- Serholt, S. (2019). Breakdowns in children's interactions with a robotic tutor: A longitudinal study. *Computers in Human Behavior*, 92, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.10.030>
- Serholt, S., Barendregt, W., Leite, I., Hastie, H., Jones, A., & Paiva, A. (2014). Robots in the classroom: Learning outcomes and attitudes. *International Journal of Social Robotics*, 6(2), 129–145.
- Serholt, S., Ekström, S., Küster, D., Ljungblad, S., & Pareto, L. (2022). Comparing a robot tutee to a human tutee in a learning-by-teaching scenario with children. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, Article 836462. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.836462>
- Sharkey, A. (2016). Should children form emotional bonds with robots? *Ethics and Information Technology*, 18, 1–10.
- Sisman, B., Gunay, D., & Kucuk, S. (2019). Development and validation of an educational robot attitude scale (ERAS) for secondary school students. *Interactive Learning Environments*, 27(3), 377–388. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1474234>
- Sisman, B., Steinrücke, J., & de Jong, T. (2024). Does giving students feedback on their concept maps through an on-screen avatar or a humanoid robot make a difference? *International Journal of Social Robotics*, 16, 1783–1796. <https://doi.org/10.1007/s12369-024-01144-y>
- Song, H., Barakova, E. I., Markopoulos, P., & Ham, J. (2021). Personalizing HRI in musical instrument practicing: The influence of robot roles (evaluative versus nonevaluative) on the child's motivation for children in different learning stages. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, Article 699524. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.699524>
- Sun, F., Li, L., Meng, S., Teng, X., Payne, T. R., & Craig, P. (2025). Integrating emotional intelligence, memory architecture, and gestures to achieve empathetic humanoid robot

- interaction in an educational setting. *Frontiers in Robotics and AI*, 12, Article 1635419.
<https://doi.org/10.3389/frobt.2025.1635419>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- Syrdal, D. S., Koay, K. L., Walters, M. L., & Dautenhahn, K. (2009). The Negative Attitudes toward Robots Scale (NARS): A partial validation. *AISB Proceedings*, 109–115.
- Szczepanowski, R., Wierzbicki, A., & Kłopotek, M. (2020). Social robots in education: A review. *Procedia Computer Science*, 176, 371–380.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.08.038>
- van den Berghe, R., de Haas, M., Oudgenoeg-Paz, O., Krahmer, E., Verhagen, J., Vogt, P., & Leseman, P. (2021). A toy or a friend? Children's anthropomorphic beliefs about robots and how these relate to second-language word learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 396–410. <https://doi.org/10.1111/jcal.12497>
- van Straten, C. L., Peter, J., & Kühne, R. (2023). Transparent robots: How children perceive and relate to a social robot that acknowledges its lack of human psychological capacities and machine status. *International Journal of Human-Computer Studies*, 177, Article 103063.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103063>
- Qu, Y., & Fok, W. W. (2021). The impact of robot-assisted learning on computational thinking: A summer camp study. *Computers & Education*, 165, 104146.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104146>
- V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*, 36(1), 157–178. <https://doi.org/10.2307/41410412>
- Vogt, P., de Haas, M., de Jong, C., Baxter, P., & Belpaeme, T. (2017). Second language tutoring using social robots: A large-scale study. *Robotics and Autonomous Systems*, 101, 158–165.
- Woo, H. L., Kim, J. H., & Park, J. H. (2021). The effects of robot-assisted learning on students' motivation and engagement. *Educational Technology & Society*, 24(3), 1–14.

- Yang, W., Luo, H., & Su, J. (2022). Towards inclusiveness and sustainability of robot programming in early childhood: Child engagement, learning outcomes and teacher perception. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1486–1510.
<https://doi.org/10.1111/bjet.13266>
- Yueh, H.-P., Lin, W., Wang, S.-C., & Fu, L.-C. (2020). Reading with robot and human companions in library literacy activities: A comparison study. *British Journal of Educational Technology*, 51(5), 1884–1900. <https://doi.org/10.1111/bjet.13016>
- Zhexenova, Z., Amirova, A., Abdikarimova, M., Kudaibergenov, K., Baimakhan, N., Tleubayev, B., Asselborn, T., Johal, W., Dillenbourg, P., CohenMiller, A., & Sandygulova, A. (2020). A comparison of social robot to tablet and teacher in a new script learning context. *Frontiers in Robotics and AI*, 7, Article 99.
<https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00099>

Prilozi

Prilog 1. Upitnik motivacije za obrazovne materijale

Pažnja

	1	2	3	4	5
Više pratim nastavu kada je robot prisutan.	☐	☐	☐	☐	☐
Nastava mi je zanimljivija uz robota.	☐	☐	☐	☐	☐
S robotom radimo više aktivnosti.	☐	☐	☐	☐	☐
Osjećam se nagrađeno kada učimo s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐
Zabavno mi je koristiti robota.	☐	☐	☐	☐	☐
Želim naučiti više uz robota.	☐	☐	☐	☐	☐

Relevantnost

	1	2	3	4	5
Brže učim s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐
Lakše mi je učiti s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐
Aktivnosti s robotom pomažu u učenju.	☐	☐	☐	☐	☐
Robot bi bio koristan i u drugim predmetima.	☐	☐	☐	☐	☐

Povjerenje

	1	2	3	4	5
Lako je naučiti koristiti robota.	☐	☐	☐	☐	☐
Vježbe s robotom su jednostavne.	☐	☐	☐	☐	☐
Lakše pratim nastavu uz robota.	☐	☐	☐	☐	☐
Učenje s robotom je lakše nego što sam očekivao/la.	☐	☐	☐	☐	☐

Zadovoljstvo

	1	2	3	4	5
Ponavljanje aktivnosti s robotom mi je dosadno.	☐	☐	☐	☐	☐
Svidjelo mi se učiti s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐

Prilog 2. Ljestvica stavova prema obrazovnim robotima

Angažman

	1	2	3	4	5
Više se trudim razumjeti nastavne sadržaje kada se koristi robot.	☐	☐	☐	☐	☐
Lakše se koncentriram kada se koristi robot.	☐	☐	☐	☐	☐
Robota mogu smatrati učiteljem.	☐	☐	☐	☐	☐
Više me zanimaju sadržaji kada se koristi robot.	☐	☐	☐	☐	☐
Uživam u nastavi kada sudjeluje robot.	☐	☐	☐	☐	☐

Uživanje

	1	2	3	4	5
Zanimljivo je promatrati robota.	☐	☐	☐	☐	☐
Zabavno je komunicirati s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐
Volim razgovarati s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐
Sviđa mi se što me robot razumije.	☐	☐	☐	☐	☐

Anksioznost

	1	2	3	4	5
Ne želim robota na nastavi.	☐	☐	☐	☐	☐
Robot stvara ometanje.	☐	☐	☐	☐	☐
Teško je komunicirati s robotom.	☐	☐	☐	☐	☐

Namjera korištenja

	1	2	3	4	5
Volio/voljela bih da robot sudjeluje u nastavi i ubuduće.	☐	☐	☐	☐	☐
Volio/ voljela bih imati robota kod kuće.	☐	☐	☐	☐	☐
Volio/ voljela bih robote i u drugim predmetima.	☐	☐	☐	☐	☐
Roboti su potrebni u nastavi.	☐	☐	☐	☐	☐

Prilog 3. Početna provjera znanja 5. razred

1. Što je Scratch?

- a) Računalna igra
- b) Programski jezik

2. Kada koristiš blokove naredbi u Scratcu ti ...

- a) se igraš.
- b) programiraš.
- c) slažeš igru.
- d) pričaš priču.

3. Što računalo radi kada pokreneš program?

- a) Misli samostalno.
- b) Slijedi točno određene upute.
- c) Crta slike.
- d) Priča priče.

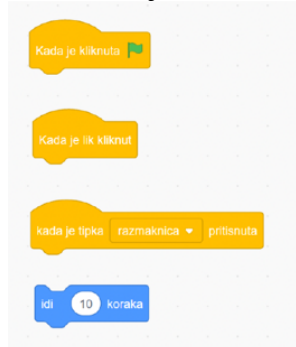
4. Kada slažeš program koristiš blokove. Što su blokovi u programu?

- a) Boje
- b) Pokreti lika
- c) Naredbe
- d) Koraci u igri

5. Što od ponuđenog NIJE naredba u Scratchu?

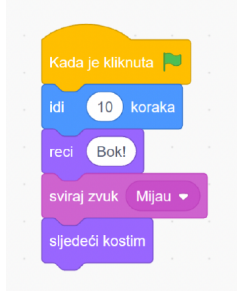
- a) idi 10 koraka
- b) reci "Bok"
- c) sljedeća pozadina
- d) novi lik

6. Izbaci uljeza sa slike!



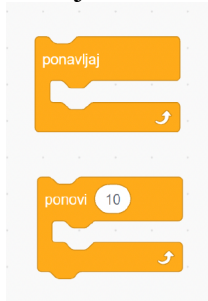
- a) Kada je kliknuta zelena zastavica
- b) Kada je lik kliknut
- c) Kada je tipka razmaknica pritisnuta
- d) idi 10 koraka

7. Kada pokrenemo zelenu zastavicu koja se naredba izvršava prva po redu?



- a) idi 10 koraka
- b) reci "Bok!"
- c) sviraj zvuk Mijau
- d) promijeni kostim

8. Koji blok moraš koristiti ako želiš da tvoj lik ponovi naredbe točno 5 puta?



- a) ponavljaj
- b) ponovi

9. Koju tipku trebaš pritisnuti da bi se tvoj lik pomicao u LIJEVU stranu?



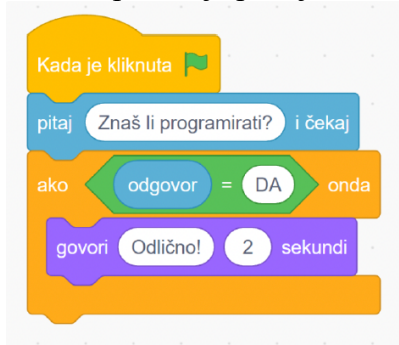
- a) a
- b) b
- c) c
- d) d

10. Koju tipku trebaš pritisnuti da bi se tvoj lik pomicao GORE?



- a) a
- b) b
- c) c
- d) d

11. Tko postavlja pitanje, a tko unosi odgovor?



- a) LIK u Scratchu postavlja pitanje, JA unosim odgovor.
- b) JA postavljam pitanje, LIK unosi odgovor.

12. Što će se dogoditi ako uneseni odgovor bude NE?



- a) Odgovor će biti Odlično!
- b) Odgovor će biti Znaš li programirati?
- c) Ništa se neće dogoditi
- d) Lik će čekati 2 sekunde

13. Što će se dogoditi ako uneseni odgovor bude NE?



- a) Odgovor će biti Odlično!
- b) Odgovor će biti Znaš li programirati?
- c) Odgovor će biti Nema veze, naučit ćeš!
- d) Ništa se neće dogoditi

14. Kreiraš igru u kojoj Mačak lovi miša. Kada ga uhvati osvaja 2 boda. Koja ti naredba treba za to?



- a) postavi BODOVI na 2
- b) postavi moja varijabla na 2
- c) promijeni BODOVI za 2

Prilog 4. Druga provjera znanja 5. razred

1. Kako se naziva osnovni element računalnog programa kojim naređujemo računalu da izvrši neku radnju?

- a) Varijabla
- b) Naredba
- c) Programiranje

2. Koja naredba ispisuje zadane vrijednosti ili rezultate matematičkih izraza?

- a) print()
- b) input()

3. Označi operator za dijeljenje.

- a) *
- b) //
- c) /
- d) -

4. Što označava znak // ?

- a) Dijeljenje
- b) Cjelobrojno dijeljenje
- c) Množenje
- d) Oduzimanje

5. Kako će izgledati ispis u ovom programu?

```
>>>'Zaštitaklime'*5
```

- a) Zaštitaklime*5
- b) ZaštitaklimeZaštitaklimeZaštitaklimeZaštitaklimeZaštitaklime
- c) zaštitaklimezaštitaklimezaštitaklimezaštitaklimezaštitaklime
- d) Zaštitaklime*5Zaštitaklime*5Zaštitaklime*5Zaštitaklime*5Zaštitaklime*5

6. Kako će izgledati ispis u ovom programu?

```
>>>'6'+'5'
```

- a) 11
- b) 6+5
- c) 65
- d) Pogreška u programu.

7. Kako će izgledati ispis u ovom programu?

```
>>>print(15, '. cilj održivog razvoja je Očuvanje života na Zemlji')
```

- a) .cilj održivog razvoja je Očuvanje života na Zemlji
- b) 15 . cilj održivog razvoja je Očuvanje života na Zemlji

8. Varijabli kopno pridruži broj 29.

9. Varijabli cilj pridruži vrijednost Zdravlje i blagostanje

10. Kako bi izgledala naredba za ispis zbroja ove dvije varijable?

```
>>> voda=71  
>>> kopno=29
```

a) `print(71+29)`

b) `print(voda+kopno)`

c) `print(voda=71+kopno=29)`

Prilog 5. Treća provjera znanja 5. razred

1. Naredba za unos podataka _____
2. Naredba za ispis podataka _____
3. Naredba koja omogućuje unos cijelih brojeva _____
4. Koji tip podatka unosimo ako zapisujemo zastupljenost dušika? _____
5. Koji tip podatka unosimo ako zapisujemo česticu u zraku? _____
6. Nabroji dijelove program: _____
7. Koji dio čini obradu u programu? _____
8. Koja se naredba koristi u izlazu programa? _____

Prilog 6. Četvrta provjera znanja 5. razred

1. Ako želimo uz pomoć tipkovnice unijeti brojčanu vrijednost, osim naredbe input potrebno je koristiti i naredbu...

- a) print
- b) int
- c) input
- d) broj

2. Pomnoži brojeve 2 i 3

- a) $2 + 3$
- b) $3 / 2$
- c) $2 * 3$
- d) $2 \% 3$

3. Podijeli brojeve 10 i 4 bez ostatka

- a) $10 // 4$
- b) $10 / 4$
- c) $10 : 4$
- d) $10 \% 4$

4. U varijablu broj zapiši vrijednost 25

- a) broj == 25
- b) Broj = 25
- c) broj = 25
- d) 25 = broj

5. Kako će izgledati ispis ako piše 'Travanj'*3

- a) Travanj3
- b) TRAVANJ3
- c) TravanjTravanjTravanj
- d) TravanjTravanjTravanjTravanj

6. Što je ispis?

```
a=25
b=10
c=15
print('Zbroj brojeva je: ',25+15)
```

- a) Zbroj brojeva je 25 + 15
- b) Zbroj brojeva je: 25 + 15
- c) Zbroj brojeva je: 40
- d) Zbroj brojeva je 40

7. Koliko varijabli sadrži program na slici?

```
broj=int(input('Unesi broj: '))
for i in range(10):
    print(broj, end='')
```

- a) Dvije

- b) Jednu
- c) Ni jednu
- d) Tri

8. Koliko ulaznih varijabli sadrži program na slici?

a=25

b=10

c=15

```
print('Zbroj brojeva je: ',25+15)
```

- a) Dvije
- b) Jednu
- c) Ni jednu
- d) Tri

9. Postupak za rješavanje nekog problema zovemo...

- a) Program
- b) Algoritam
- c) Rješenje
- d) Dijagram tijeka

10. Grafički prikaz algoritma naziva se ...

- a) Dijagram algoritma
- b) Algoritam
- c) Dijagram tijeka
- d) Tijek algoritma

Prilog 7. Završna provjera znanja 5. razred

1. Kako se naziva osnovni element računalnog programa kojim naređujemo računalu da izvrši neku radnju?

- a) Varijabla
- b) Naredba
- c) Programiranje

2. Koja je naredba za unos ulaznih vrijednosti?

- a) print()
- b) input()

3. Označi operator za cjelobrojno dijeljenje.

- a) *
- b) //
- c) /
- d) -

4. U varijablu ime upisuje se ime rijeke po odabiru. Sljedeća linija koda ima jednu grešku.

```
ime=int(input('Unesi ime rijeke: '))
```

Pronađi ju i napiši cijelu liniju koda ispravno.

5. Varijabli ciljevi pridruži brojčanu vrijednost 17.

6. Varijabli cilj pridruži tekstualnu vrijednost Svijet bez gladi

7. U Python programiranju postoje 3 algoritamske strukture. Koju algoritamsku strukturu predstavlja naredba for prikazana na slici?

```
rijec=input("Unesi riječ: ")
```

```
for i in range(10):  
    print(rijec)
```

- a) Algoritamska struktura ponavljanja
- b) Algoritamska struktura grananja
- c) Algoritamska struktura slijeda

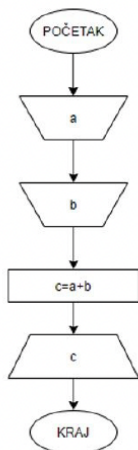
8. Koliko puta će se ispisati vrijednost varijable rijec?

```
rijec=input("Unesi riječ: ")
```

```
for i in range(10):  
    print(rijec)
```

- a) 9
- b) 10
- c) 1

9. Na slici je prikazan:



- a) Algoritam
- b) Tijek
- c) Dijagram tijeka
- d) Dijagram algoritma

10. Na slici je napisan postupak za kuhanje čaja, odnosno prikazan je:

1. korak: Uzmi čajnik ili lonac.
2. korak: Ulij vodu u čajnik.
3. korak: Stavi čajnik na štednjak.
4. korak: Uključi štednjak i pričekaj da voda proključa.
5. korak: Kad voda zavrije, isključi štednjak.
6. korak: Stavi vrećicu čaja (ili listiće čaja) u šalicu.
7. korak: Pažljivo ulij kipuću vodu u šalicu.
8. korak: Pusti čaj da odstoji nekoliko minuta (najčešće 3-5 minuta).
9. korak: Po želji dodaj med, limun ili šećer.
10. korak: Promiješaj i pažljivo pij – čaj je vruć!

- a) Dijagram tijeka kuhanja čaja
- b) Algoritam kuhanja čaja

Prilog 8. Početna provjera znanja 6. razred

1. Što računalo radi kada izvršava programski kod?

- ☐ Misli samostalno
- ☐ Slijedi točno određene upute
- ☐ Crta slike
- ☐ Priča priče

2. Koji se operator koristi za oduzimanje?

- ☐ +
- ☐ -
- ☐ %
- ☐ //
- ☐ *

3. Koji se operator koristi za množenje?

- ☐ +
- ☐ -
- ☐ %
- ☐ //
- ☐ *

4. Koji se operator koristi za cjelobrojno dijeljenje?

- ☐ +
- ☐ -
- ☐ %
- ☐ //
- ☐ *

5. Koji se operator koristi za ostatak pri dijeljenju?

- ☐ +
- ☐ -
- ☐ %
- ☐ //
- ☐ *

6. Koji znak predstavlja pridruživanje?

- ☐ +
- ☐ -
- ☐ =
- ☐ //
- ☐ *

7. Koju naredbu koristimo za stvaranje nove datoteke?

- ☐ Open
- ☐ New File

- Close
- Exit
- Save

8. Koju naredbu koristimo za spremanje datoteke?

- Open
- New File
- Close
- Exit
- Save As

9. Kako pokrećemo program?

- Run Module
- Run
- F5

10. Koja riječ je naredba u Pythonu?

- olovka
- igra
- print
- ptica

11. Što će se ispisati na zaslonu?

```
print("Zdravo, svijete!")
```

- "Zdravo, svijete!"
- print("Zdravo, svijete!")
- Zdravo, svijete!
- print

12. Izmijeni kod da ispisuje 10.

```
print(5)
```

- 5
- 10
- print 10
- print(10)

13. Što će se ispisati (a=3, b=4)?

```
a = 3  
b = 4  
zbroj = a + b  
print(zbroj)
```

- zbroj
- input

- 7
- 3+4

14. Dodaj liniju za umnožak.

```
a = 3
b = 4
zbroj = a + b
print(zbroj)
```

- umnožak
- a*b
- umnožak=a*b
- umnožak:a*b

15. Koliko puta će se ispisati poruka?

```
for i in range(3):
    print("Računala su zabavna!")
```

- 0
- 1
- 2
- 3

16. Što će se ispisati ako je broj=3?

```
broj = 10
if broj > 5:
    print("Broj je veći od 5")
```

- ništa
- 10
- 5
- 3
- Broj je veći od 5.

17. Je li broj 10 pohranjen u varijabli 'broj'?

```
broj = 10
print(broj)
```

- da
- ne

18. Što je program?

- niz uputa
- niz varijabli
- niz brojeva

19. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te izračunaj opseg pravokutnika ($a=5$, $b=15$). Što je program izračunao, koliki je opseg? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```
a=int(input('Upiši stranicu a:'))
b=int(input('Upiši stranicu b:'))
o=2*a+2*b
p=a*b
print('Opseg je',o)
print('Površina je',p)
```

20. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te izračunaj površinu pravokutnika ($a=5$, $b=15$). Što je program izračunao, kolika je površina? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```
a=int(input('Upiši stranicu a:'))
b=int(input('Upiši stranicu b:'))
o=2*a+2*b
p=a*b
print('Opseg je',o)
print('Površina je',p)
```

21. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pretvori km u metre ($km=23$). Broj upiši u odgovarajuće polje.

```
km=int(input('Unesite udaljenost u kilometrima: '))
m=km*1000
print('Udaljenost od', km, 'km iznosi', m, 'm.')
```

Prilog 9. Druga provjera znanja 6. razred

1. Što označava naredba if u programiranju?

- petlju
- uvjet
- ispis
- kraj programa

2. Označi pravilno napisanu naredbu if u Pythonu.

- if x == 5 then:
- if (x == 5):
- if x == 5:
- x == 5 if:

3. Koji izraz predstavlja logički uvjet?

- 5 + 3
- "tekst"
- 7 > 4
- print("bok")

4. Kako se zove operator == u Pythonu?

- Operator dodjeljivanja
- Relacijski operator jednakosti
- Operator zbrajanja
- Operator istinitosti

5. Što će se ispisati nakon izvođenja programa?

```
x = 10
if x < 15:
    print("Manje od 15")
```

- Ispisuje 'Manje od 15'
- Ispisuje 'Veće od 15'
- Ne ispisuje ništa
- Prikazuje grešku

6. Odaberi sve relacijske operatore u Pythonu.

- ==
- !=
- <=
- ++

7. Što znači izraz a != b?

- a je jednako b
- a je različito od b
- a je veće od b

- b nije definirano

8. Što simbol romba predstavlja u dijagramu tijeka?

- Ulaz/izlaz
- Grananje
- Izračun
- Kraj

9. Što će se ispisati nakon izvođenja programa?

```
broj = 8
if broj % 2 == 0:
    print("Paran broj")
```

- Neparan broj
- Paran broj
- Kraj
- Grešku

10. Koji uvjet ima vrijednost False?

- $10 > 5$
- $2 == 2$
- $2 != 2$
- $4 < 10$

11. Što označava else u Python programu?

- Novi uvjet
- Završetak programa
- Blok koji se izvršava ako if nije zadovoljen
- Početak funkcije

12. Koja je svrha naredbe if...elif?

- Višestruko ponavljanje uvjeta
- Višestruko grananje ovisno o više uvjeta
- Brisanje uvjeta
- Unos programa

13. Što će se ispisati nakon izvođenja programa?

```
x = 7
if x < 5:
    print("Manje od 5")
elif x == 7:
    print("Jednako 7")
else:
    print("Veće od 5")
```

- Manje od 5
- Jednako 7

- Veće od 5
- Greška

14. Što učiniti ako program ne daje očekivani rezultat?

- Obrisati program
- Provjeriti ulazne podatke i logičke uvjete
- Isključiti računalo

Prilog 10. Treća provjera znanja 6. razred

1. Što je osnovna struktura IF – ELSE naredbe u Pythonu?
 - if uvjet: # kod ako je uvjet istinit else: # kod ako je uvjet neistinit
 - if uvjet: # kod, else if uvjet2: # drugi kod
 - if uvjet: # samo jedan uvjet
 - if uvjet: # kod bez else
2. Kako se piše IF – ELSE naredba u Pythonu?
 - if (uvjet) { izvrši nešto } else { izvrši nešto drugo }
 - if uvjet izvrši nešto else izvrši nešto drugo
 - if uvjet: izvrši nešto drugo else: izvrši nešto
 - if uvjet: izvrši nešto else: izvrši nešto drugo
3. Koja je svrha IF – ELSE naredbe?
 - Ispisivanje podataka
 - Kreiranje petlji
 - Optimizacija performansi
 - Donošenje odluka na osnovu uvjeta
4. Kako bi izgledala IF – ELSE naredba za provjeru parnosti?
 - if (broj % 2 != 0) ...
 - if (broj / 2 == 0) ...
 - if (broj % 2 == 1) ...
 - if (broj % 2 == 0) ...
5. Što se događa ako zaboravimo dvotočku?
 - Program se izvršava bez greške
 - Izvršava se drugačija funkcija
 - Sintaktička greška
 - Upozorenje, ali se nastavlja
6. Kako se uspoređuju vrijednosti?
 - Aritmetičkim operatorima
 - Samo ako su iste vrste
 - Logičkim operatorima
 - Relacijskim operatorima
7. Što se događa ako je uvjet ispunjen?
 - Izvršava se blok nakon if
 - Izvršava se blok unutar if
 - Program se zaustavlja
 - Izvršava se else blok
8. Kako koristiti IF – ELSE za temperaturu?

- if temp < 0 → hladno, elif ≤ 25 → umjereno, else → vruće
- if temp == 25 → vruće
- if temp > 30 → hladno
- if temp < 10 → vruće

9. Kako IF – ELSE pomaže u igri?

- Donošenje odluka
- Dodavanje zvuka
- Kreiranje grafike
- Samo prikaz poruka

10. Što ako su svi uvjeti lažni?

- Program se prekida
- Izvršava se else ili ništa
- Izvršava se try blok
- Izvršava se if blok

11. Razlika između == i =?

- '=' dodjeljuje, '==' uspoređuje
- '==' dodjeljuje, '=' uspoređuje
- Isto su
- '=' samo u petljama

Prilog 11. Četvrta provjera znanja 6. razred

1. Što je WHILE petlja u Pythonu?
 - WHILE petlja se koristi samo za unos podataka.
 - WHILE petlja u Pythonu ne može imati uvjete.
 - WHILE petlja se koristi za definiranje funkcija.
 - WHILE petlja omogućava ponavljanje izvršavanja koda dok je uvjet istinit.
2. Kako se koristi WHILE petlja za ponavljanje?
 - Za ponavljanje bez uvjeta.
 - Izvršava se samo jednom.
 - Ponavlja se dok je uvjet točan.
 - Za prebacivanje između funkcija.
3. Označi primjer WHILE petlje koja broji od 1 do 5.
 - `int brojac = 1; for (int i = 1; i <= 5; i++)`
 - `int brojac = 0; while (brojac < 5)`
 - `int brojac = 1; do while (brojac < 5);`
 - `int brojac = 1; while (brojac <= 5)`
4. Što se događa ako uvjet u WHILE petlji nikada nije ispunjen?
 - Petlja se izvršava beskonačno.
 - Petlja se nikada ne izvršava.
 - Petlja se izvršava samo ako je uvjet ispunjen.
 - Petlja se izvršava jednom.
5. Kako se koristi FOR petlja u Pythonu?
 - Za rad samo s brojevima.
 - Za definiranje funkcija.
 - Za sortiranje podataka.
 - Za ponavljanje u Pythonu.
6. Označi primjer FOR petlje koja ispisuje brojeve od 1 do 10.
 - `for (int i = 2; i < 10; i++)`
 - `for (int i = 1; i <= 10; i++)`
 - `for (int i = 1; i < 9; i++)`
 - `for (int i = 1; i <= 5; i++)`
7. Koja je razlika između WHILE i FOR petlje?
 - WHILE se koristi samo za određeni broj ponavljanja.
 - FOR se koristi samo za neodređeni broj ponavljanja.
 - Iste su.
 - WHILE za neodređeno, FOR za određeni broj ponavljanja.
8. Označi primjer WHILE petlje s brojačem.
 - `brojac = 0 while brojac < 7: print(brojac) brojac += 2`

- brojac = 0 while brojac < 9: print(brojac) brojac -= 1
- brojac = 1 for i in range(5): print(i) brojac += 1
- brojac = 1 while brojac <= 5: print(brojac) brojac += 1

9. Kako se može prekinuti petlja?

- Korištenjem 'stop'
- Korištenjem 'continue'
- Korištenjem 'break' ili 'return'
- Korištenjem 'exit'

10. Kako se koristi petlja za zbrajanje brojeva?

- Iteracijom i zbrajanjem svakog broja.
- Ispisivanjem brojeva.
- Sortiranjem brojeva.
- Pronalaženjem najvećeg broja.

Prilog 12. Završna provjera znanja 6. razred

1. Što radi naredba IF u Pythonu?

- Naredba IF provjerava uvjet i izvršava kod ako je uvjet zadovoljen ili istinit.
- Naredba IF se koristi za definiranje funkcija.
- Naredba IF izvršava kod bez provjere uvjeta.
- Naredba IF uvijek izvršava kod bez obzira na uvjet.

2. Kada se koristi IF ELIF ELSE u Pythonu?

- IF ELIF ELSE se koristi za grananje u Pythonu.
- IF ELIF ELSE se koristi samo za petlje.
- IF ELIF ELSE se koristi za unos podataka.
- IF ELIF ELSE se koristi za definiranje funkcija.

3. Koja je svrha ELSE naredbe?

- Svrha ELSE naredbe je da ponovi uvjet.
- Svrha ELSE naredbe je da prikazuje grešku.
- Svrha ELSE naredbe je da definira tijek izvršavanja programa ako uvjet IF naredbe nije ispunjen.
- Svrha ELSE naredbe je da završi program.

4. Kako se ispravno koristi petlja FOR u Pythonu?

- a) `for i in range(5):`
 `print(i)`
- b) `for i in range(5):`
 `print(a)`
 ,
- c) `for i in range(5):`
 `input(a)`

5. Označi ispravan primjer korištenja IF naredbe.

- a) `for broj > 10`
 `input('Broj je veći od 10')`
- b) `if broj > 10:`
 `print('Broj je veći od 10')`
- c) `if broj > 10`
 `input('Broj je veći od 10')`

6. Kako se može koristiti IF ELIF ELSE za provjeru više uvjeta?

- IF ELIF ELSE se koristi samo za jedan uvjet.
- IF ELIF ELSE se koristi za petlje, a ne za uvjete.
- IF ELIF ELSE se koristi za provjeru više uvjeta tako da se redom provjeravaju uvjeti.
- IF ELIF ELSE ne može provjeravati uvjete u nizu.

7. Napiši primjer petlje FOR koja ispisuje brojeve od 1 do 5.

a)

```
for i in range(1, 6):  
    print(a)
```

b)

```
for i in range(1, 8):  
    print(i)
```

c)

```
for i in range(1, 6):  
    print(i)
```

8. Označi ispravan primjer korištenja ELSE naredbe nakon IF.

a)

```
if broj != 0:  
    print('Broj je pozitivan')  
else:  
    print('Broj nije pozitivan')
```

b)

```
if broj = 0:  
    print('Broj je pozitivan')  
else:  
    print('Broj nije pozitivan')
```

c)

```
if broj > 0:  
    print('Broj je pozitivan')  
else:  
    print('Broj nije pozitivan')
```

9. Kako grananje utječe na tijek programa?

- Grananje se koristi samo za optimizaciju memorije.
- Grananje usporava izvršavanje programa.
- Grananje ne utječe na tijek programa.
- Grananje omogućava donošenje odluka i kontrolu tijeka programa.

10. Što se događa ako uvjet u IF nije ispunjen?

- IF blok se preskoči bez ikakvih posljedica.
- Izvršava se samo prvi redak koda.
- Program se zaustavlja i javlja grešku.
- Izvršava se ELSE blok ili se nastavlja s sljedećim kodom.

11. Kako se može prekinuti petlja FOR?

- Korištenjem 'continue'
- Korištenjem 'exit'
- Korištenjem 'break'
- Korištenjem 'stop'

12. Označi ispravan primjer koji koristi IF i ELSE za provjeru parnosti broja.

a)

```
if broj % 2 > 0:  
    print('Paran')  
elseif:  
    print('Neparan')
```

b)

```
if broj % 2 > 0:  
    print('Paran')  
else:  
    print('Neparan')
```

c)

```
if broj % 2 == 0:  
    print('Paran')  
else:  
    print('Neparan')
```

13. Označi ispravan primjer koji koristi IF ELIF ELSE.

a)

```
if rezultat >= 90:
    ocjena = '5'
if rezultat >= 80:
    ocjena = '4'
if rezultat >= 70:
    ocjena = '3'
if rezultat >= 60:
    ocjena = '2'
if
    ocjena = '1'
```

b)

```
elif rezultat >= 90:
    ocjena = '5'
elif rezultat >= 80:
    ocjena = '4'
elif rezultat >= 70:
    ocjena = '3'
elif rezultat >= 60:
    ocjena = '2'
elif
    ocjena = '1'
```

c)

```
if rezultat >= 90:
    ocjena = '5'
elif rezultat >= 80:
    ocjena = '4'
elif rezultat >= 70:
    ocjena = '3'
elif rezultat >= 60:
    ocjena = '2'
else:
    ocjena = '1'
```

14. Kako se može koristiti grananje za rješavanje složenijih problema?

- Grananje omogućava rješavanje složenijih problema dijeljenjem na manje dijelove.
- Grananje je metoda koja se koristi isključivo za analizu podataka.
- Grananje ne može pomoći u rješavanju problema.
- Grananje se koristi samo za jednostavne probleme.

15. Označi ispravan primjer koji koristi petlju FOR za zbrajanje brojeva od 1 do 10.

a)

```
zbroj = 0
for i in range(1, 11):
    zbroj += suma

print(suma)
```

b)

```
zbroj = 0
for i in range(1, 11):
    zbroj += i

print(suma)
```

c)

```
zbroj = 0
for i in range(1, 11):
    zbroj += i

print(zbroj)
```

16. Kada se koristi ELSE?

- ELSE se koristi za ponavljanje.
- ELSE pruža alternativno rješenje kada IF uvjet nije ispunjen.
- ELSE se koristi za završavanje programa.
- ELSE se koristi za definiranje varijabli.

17. Kako se koristi ELSE IF za dodavanje dodatnih uvjeta?

- ELSE IF se koristi za dodavanje samo jednog dodatnog uvjeta.
- ELSE IF omogućava provjeru više uvjeta u nizu.
- ELSE IF se ne može koristiti unutar IF blokova.
- ELSE IF se koristi samo za završavanje programa.

18. Što se događa kada se koristi više ELSE IF uvjeta?

- Program se zaustavlja nakon prvog ispunjenog uvjeta.
- Više ELSE IF uvjeta ne može se koristiti u istom IF bloku.
- Svi uvjeti se provjeravaju bez obzira na ispunjenost.
- Izvršava se samo prvi ispunjeni uvjet.

Prilog 13. Početna provjera znanja 7. razred

1. Što računalo radi kada izvršava programski kod?

- a) Misli samostalno.
- b) Slijedi točno određene upute.
- c) Crta slike.
- d) Priča priče.

2. Koji se operator koristi za oduzimanje u programiranju?

- a) +
- b) -
- c) *
- d) %
- e) /
- f) //

3. Koji se operator koristi za množenje?

- a) +
- b) -
- c) *
- d) %
- e) /
- f) //

4. Koji se operator koristi za cjelobrojno djeljenje?

- a) +
- b) -
- c) *
- d) %
- e) /
- f) //

5. Koji operator daje ostatak pri dijeljenju?

- a) +
- b) -
- c) *
- d) %
- e) /
- f) //

6. Koji znak označava pridruživanje vrijednosti varijabli?

- a) ==
- b) =
- c) !=
- d) :

7. Kojom naredbom stvaramo novu datoteku?

- a) Open
- b) New File
- c) Save
- d) Close

8. Kojom naredbom spremamo datoteku prvi put?

- a) Open
- b) Save As
- c) Run
- d) Exit

9. Koja se tipka koristi za pokretanje programa?

- a) F1
- b) F3
- c) F5
- d) F10

10. Koja od sljedećih riječi predstavlja Python naredbu?

- a) igra
- b) ptica
- c) print
- d) olovka

11. Što će se ispisati izvršavanjem naredbe:

```
print("Zdravo, svijete!")
```

- a) print
- b) Zdravo, svijete!
- c) "Zdravo, svijete!"
- d) ništa

12. Koja je ispravna izmjena koda da se ispiše broj 10?

```
print(5)
```

- a) print 10
- b) print(10)
- c) 10
- d) print("10")

13. Što će se ispisati nakon izvršavanja koda:

```
a = 3  
b = 4  
zbroj = a + b  
print(zbroj)
```

- a) zbroj
- b) input

- c) 7
- d) 3+4

14. Koja je ispravna linija za izračun umnoška?

- a) umnožak
- b) a*b
- c) umnožak = a*b
- d) umnožak:a*b

15. Koliko puta će se ispisati poruka:

```
for i in range(3):  
    print("Računala su zabavna!")
```

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 0

16. Što će se ispisati ako je broj = 3:

```
broj = 10  
if broj > 5:  
    print("Broj je veći od 5")
```

- a) ništa
- b) 3
- c) 5
- d) Broj je veći od 5

17. Je li u sljedećem kodu broj 10 spremljen u varijablu „broj”?

```
broj = 10  
print(broj)
```

- a) da
- b) ne

18. Što je program?

- a) niz uputa
- b) niz brojeva
- c) niz varijabli
- d) niz naredbi bez smisla

19. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednosti varijabli a=5 i b=15. Što je program izračunao, koliko je opseg pravokutnika? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```

a=int(input('Upiši stranicu a:'))
b=int(input('Upiši stranicu b:'))
o=2*a+2*b
p=a*b
print('Opseg je',o)
print('Površina je',p)

```

20. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednosti varijabli a=5 i b=15. Što je program izračunao, kolika je površina pravokutnika? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```

a=int(input('Upiši stranicu a:'))
b=int(input('Upiši stranicu b:'))
o=2*a+2*b
p=a*b
print('Opseg je',o)
print('Površina je',p)

```

21. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednost varijable km=23. Što je program izračunao, kolika je udaljenost u metrima? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```

km=int(input('Unesite udaljenost u kilometrima: '))
m=km*1000
print('Udaljenost od', km, 'km iznosi', m, 'm.')

```

22. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednost varijable n=10. Što je program izračunao, koliki je zbroj? Broj upiši u odgovarajuće polje.

```

1 n=int(input('Unesi broj: '))
2 zbroj=0
3 for i in range(1,n+1):
4     if i%3==0:
5         zbroj=zbroj+i
6 print('Zbroj je', zbroj)

```

23. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednosti varijable a=15 i b=25. Poruku koju je program ispisao nakon izvođenja upiši u odgovarajuće polje.

```

a=int(input('Upiši prvi broj: '))
b=int(input('Upiši drugi broj: '))
if a > b:
    print(a, 'je veći od', b)
elif a < b:
    print(a, 'je manji od', b)
else:
    print('Brojevi su jednaki')

```

24. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednosti varijable a=100 i b=100. Što je program ispisao? Poruku upiši u odgovarajuće polje.

```
a=int(input('Upiši prvi broj: '))
b=int(input('Upiši drugi broj: '))
if a == b:
    print('Brojevi su jednaki')
else:
    print('Brojevi su različiti')
```

25. Otvori novu datoteku i upiši programski kod sa slike. Izvedi program te pri izvođenju programa unesi vrijednosti varijable a=100 i b=300. Što je program ispisao? Poruku upiši u odgovarajuće polje.

```
a=int(input('Upiši prvi broj: '))
b=int(input('Upiši drugi broj: '))
if a == b:
    print('Brojevi su jednaki')
if a != b:
    print('Brojevi nisu jednaki')
```

Prilog 14. Druga provjera znanja 7. razred

1. Koji su osnovni tipovi podataka u Pythonu?

- a) tekst, slova, brojevi
- b) int, float, str, bool
- c) suma, proizvod, string
- d) True, False, None

2. Što će se ispisati nakon izvođenja programa:

```
a = 5  
b = "5"  
print(a + int(b))
```

- a) Grešku
- b) 10
- c) 55
- d) "10"

3. Kojem tipu podatka pripada vrijednost "programiranje"?

- a) int
- b) str
- c) bool
- d) float

4. Odaberi sve varijable koje sadrže vrijednosti tipa int:

- a) broj = 17
- b) tekst = "17"
- c) x = -2
- d) brojka = 3.14

5. Odaberi naredbu koja ispisuje duljinu teksta "Hello, world!":

- a) print(len("Hello, world!"))
- b) len("Hello, world!")
- c) print("Hello, world!")
- d) print(float("Hello, world!"))

6. Što će se ispisati nakon izvođenja programa:

```
tekst = "Programiranje"  
print(tekst[0])
```

- a) P
- b) e
- c) 0
- d) greška

7. Koja je razlika između tipova int i float?

- a) float je za tekst, int za brojeve
- b) float je broj s decimalama, int bez
- c) int je riječ, float je rečenica
- d) nema razlike

8. Što znači input() u Pythonu?

- a) Ispis rezultata
- b) Unos podataka s tipkovnice
- c) Zbrajanje brojeva
- d) Pokretanje petlje

9. Koji tip podatka je sljedeći unos?

```
unos = input("Unesi broj: ")
```

- a) int
- b) float
- c) str
- d) bool

10. Što se ispisuje nakon izvođenja programa:

```
popis = ["banana", "jabuka", "kivi"]  
print(popis[1])
```

- a) greška
- b) jabuka
- c) kivi
- d) ništa

11. U kojem je slučaju potrebno koristiti listu (list) kao tip podatka?

- a) Kad pohranjujemo jedan broj
- b) Kad pohranjujemo više podataka u jednom redu
- c) Kad pohranjujemo broj
- d) Kad pohranjujemo jedan logički podatak

12. Kako glasi program u Pythonu koji ispisuje sve brojeve u listi brojevi = [1, 2, 3] koristeći petlju?

```
for broj in brojevi:  
    print(broj)
```

a)

```
for broj at brojevi:  
    print(broj)
```

b)

```
for broj at brojevi:  
    print broj
```

c)

13. Koliko prijatelja je potrebno unijeti u listu prijatelja promatrajući zadani program?
(Odgovor napiši kao broj.)

```
for i in range(5):  
    ime = input("Unesi ime prijatelja: ")  
    prijatelji.append(ime)
```

Prilog 15. Treća provjera znanja 7. razred

1. Koja vrsta podataka se koristi za pohranu niza znakova u Pythonu?

- a) Float
- b) Boolean
- c) Integer
- d) String

2. Koja funkcija se koristi za izračun duljine niza u Pythonu?

- a) SIZE
- b) LEN
- c) COUNT
- d) LENGTH

3. Što učenik treba učiniti prije rješavanja problema?

- a) Zaboraviti na ulazne vrijednosti
- b) Započeti programiranje
- c) Odabrati strategiju rješavanja
- d) Izraditi grafički prikaz

4. Što od navedenog nije jednostavna vrsta podataka u Pythonu?

- a) Integer
- b) String
- c) List
- d) Float

5. Što učenik analizira prilikom rješavanja problema?

- a) Ulazne i izlazne vrijednosti
- b) Samo ulazne vrijednosti
- c) Samo izlazne vrijednosti
- d) Samo vrste podataka

6. Koji od sljedećih operatora se koristi za usporedbu u Pythonu?

- a) +
- b) -
- c) *
- d) ==

7. Koja od navedenih vrsta podataka predstavlja logičke podatke

- a) BOOLEAN
- b) FLOAT
- c) LEN
- d) INTEGER

8. Odaberi numeričke (brojčane) vrste podataka:

- a) BOOLEAN
- b) FLOAT
- c) STRING
- d) INTEGER

9. Označi funkciju za rad sa znakovnim podacima

- a) BOOLEAN
- b) LEN
- c) STRING
- d) INTEGER

10. Odaberi oznaku za znakovne podatke

- a) BOOLEAN
- b) LEN
- c) STRING
- d) INTEGER

11. Oznaka za cjelobrojne brojčane (numeričke) podatke je

- a) BOOLEAN
- b) LEN
- c) STRING
- d) INTEGER

12. Oznaka za decimalne brojčane (numeričke) podatke je

- a) FLOAT
- b) LEN
- c) STRING
- d) INTEGER

Prilog 16. Četvrta provjera znanja 7. razred

1. Označi vrstu algoritmskog pretraživanja
 - a) Sekvencijalno pretraživanje
 - b) Pogreške u kodu
 - c) Složenost algoritma
 - d) Brzina izvođenja naredbi
2. Koji se algoritam preporučuje zbog svoje jednostavnosti?
 - a) Binarno pretraživanje
 - b) Sekvencijalno pretraživanje
 - c) Pretraživanje s grafovima
 - d) Pretraživanje s rekurzijom
3. Koje je obilježje algoritma pretraživanja?
 - a) Složenost
 - b) Brzina
 - c) Jednostavnost
 - d) Kriterij pretraživanja
4. Koji alat se preporučuje za vizualizaciju programskog koda?
 - a) Replit
 - b) Jupyter Notebook
 - c) CodePen
 - d) Python Tutor
5. Analiziranjem problema
 - a) Povećavamo složenost
 - b) Zanimamo se za potprobleme
 - c) Smanjujemo broj modula
 - d) Povezujemo module programa
6. Koji je cilj korištenja modularnih programa?
 - a) Zaboraviti na potprobleme
 - b) Rastaviti problem na manje dijelove
 - c) Smanjiti vrijeme izvođenja
 - d) Povećati složenost
7. Što je potrebno učiniti s parametrima potprograma?
 - a) Povećati njihovu složenost
 - b) Razlikovati ih
 - c) Smanjiti njihov broj
 - d) Zaboraviti ih

8. Koji problem može biti riješen korištenjem sekvencijalnog pretraživanja?
- a) Izrada slika
 - b) Pretraživanje brojeva
 - c) Kreiranje grafova
 - d) Pisanje teksta
9. Koji je kriterij potrebno prepoznati za rješavanje problema odabira?
- a) Kriterij pretraživanja
 - b) Jednostavnost
 - c) Složenost algoritma
 - d) Brzina izvođenja
10. Kako možemo testirati programsko rješenje?
- a) Raspravom u grupi
 - b) Samoizolacijom
 - c) Zanemarivanjem
 - d) Smanjivanjem broja testova
11. Koji je jedan od primjera strategija pretraživanja u svakodnevnom životu?
- a) Uočavanje obrazaca
 - b) Pisanje eseja
 - c) Istraživanje povijesti
 - d) Čitanje knjiga
12. Što je potrebno učiniti s programskim rješenjem nakon testiranja?
- a) Raspraviti o ispravnosti
 - b) Zaboraviti ga
 - c) Smanjiti njegovu složenost
 - d) Povećati broj modula
13. Koji je cilj analize algoritamskih struktura?
- a) Rješavanje problema
 - b) Zanemarivanje problema
 - c) Smanjenje vremena
 - d) Povećanje složenosti
14. Koji je jedan od ciljeva dizajniranja modularnih programa?
- a) Smanjiti složenost
 - b) Povećati broj modula
 - c) Povećati vrijeme izvođenja
 - d) Zanemariti potprobleme
15. Kako možemo prepoznati vrijednosti koje povezuju potproblem s početnim problemom?
- a) Smanjujući njihov broj
 - b) Objašnjavajući njihova obilježja
 - c) Povećavajući složenost

Prilog 17. Završna provjera znanja 7. razred

1. Koje su osnovne strukture podataka u Pythonu?

- a) Matrice
- b) Nizovi
- c) Liste
- d) Grafovi

2. Što je lista u Pythonu i kako se koristi?

- a) Lista u Pythonu ne može sadržavati duplikate.
- b) Lista u Pythonu se koristi isključivo za numeričke podatke.
- c) Lista u Pythonu je kolekcija elemenata koja se koristi za pohranu i manipulaciju podacima.
- d) Lista u Pythonu je samo niz znakova.

3. Kako se definira varijabla u Pythonu?

- a) Varijabla se definira kao ime koje se dodjeljuje vrijednosti koristeći '='.
- b) Varijabla se definira kao blok koda koji se izvršava.
- c) Varijabla se definira kao funkcija koja vraća vrijednost.
- d) Varijabla se definira kao tip podataka u Pythonu.

4. Što je kontrola toka programa?

- a) Kontrola toka programa je proces koji se koristi za kreiranje grafičkog sučelja.
- b) Kontrola toka programa je alat za analizu podataka.
- c) Kontrola toka programa je mehanizam koji upravlja redoslijedom izvršavanja naredbi u programu.
- d) Kontrola toka programa je metoda za optimizaciju memorije.

5. Koje su osnovne strukture u Pythonu?

- a) switch
- b) if, elif, else, for, while, break
- c) case
- d) do while

6. Kako se koristi 'if' uvjet u Pythonu?

- a) 'if' uvjet se koristi za definiranje funkcija.
- b) 'if' uvjet se koristi za kontrolu toka programa na temelju istinitosti izraza.
- c) 'if' uvjet se koristi za unos podataka od korisnika.
- d) 'if' uvjet se koristi samo za ispisivanje poruka.

7. Što je funkcija u Pythonu?

- a) Funkcija u Pythonu je samo za matematičke operacije.
- b) Funkcija u Pythonu je blok naredbi koji se može ponovo koristiti.
- c) Funkcija u Pythonu je samo za unos podataka.
- d) Funkcija u Pythonu ne može imati povratnu vrijednost.

8. Kako se definira funkcija u Pythonu?

- a) Funkcija se definira kao 'def naziv_funkcije(parametri):'.
- b) Funkcija se definira kao 'def funkcija_naziv(parametri)'.
- c) Funkcija se definira kao 'define naziv_funkcije(parametri)'.
- d) Funkcija se definira kao 'function naziv_funkcije(parametri):'.

9. Što su argumenti funkcije?

- a) Vrijednosti koje se vraćaju iz funkcije.
- b) Nazivi funkcija koje se koriste u programu.
- c) Parametri koji se koriste za definiranje funkcije.
- d) Vrijednosti koje se prosljeđuju funkciji prilikom njenog poziva.

10. Kako se poziva funkcija u Pythonu?

- a) Funkcija se poziva kao: funkcija_ime[]
- b) Funkcija se poziva kao: funkcija_ime()
- c) Funkcija se poziva kao: funkcija_ime;
- d) Funkcija se poziva kao: funkcija_ime{}

11. Što je petlja i koje vrste petlji postoje u Pythonu?

- a) Switch petlja
- b) Do while petlja
- c) For each petlja
- d) For petlja, While petlja

12. Kako se koristi 'for' petlja u Pythonu?

- a) 'for' petlja se koristi za definiranje funkcija u Pythonu.
- b) 'for' petlja se koristi za sortiranje podataka u Pythonu.
- c) 'for' petlja se koristi za kreiranje novih klasa u Pythonu.
- d) 'for' petlja se koristi za prolazak kroz elemente kolekcije u Pythonu.

13. Kako se koristi 'while' petlja u Pythonu?

- a) 'while' petlja se koristi za definiranje funkcija.
- b) 'while' petlja se koristi za izvršavanje samo jednom.
- c) 'while' petlja se koristi za ponavljanje dok je uvjet istinit.
- d) 'while' petlja se koristi za sortiranje podataka.

14. Što je algoritam pretraživanja?

- a) Algoritam pretraživanja je metoda za sortiranje podataka.
- b) Algoritam pretraživanja je alat za kreiranje grafičkih prikaza.
- c) Algoritam pretraživanja je postupak za pronalaženje podataka unutar strukture podataka.
- d) Algoritam pretraživanja je proces za brisanje podataka.

15. Kako se provodi sekvencijalno pretraživanje u Pythonu?

- a) Sekvencijalno pretraživanje se ne može implementirati u Pythonu.
- b) Sekvencijalno pretraživanje zahtjeva korištenje rekurzije.
- c) Sekvencijalno pretraživanje se koristi samo za sortirane liste.

d) Sekvencijalno pretraživanje u Pythonu se može implementirati korištenjem petlje koja iterira kroz listu i upoređuje svaki element sa traženim vrednostima.

16. Što je modularno programiranje?

- a) Modularno programiranje je tehnika za smanjenje troškova hardvera.
- b) Modularno programiranje je metoda za optimizaciju brzine programa.
- c) Modularno programiranje se koristi isključivo za web razvoj.
- d) Modularno programiranje je pristup razvoju softvera koji se temelji na razdvajanju programa na manje, samostalne dijelove ili module.

17. Kako se dijele programi na module u Pythonu?

- a) Programi se dijele na module bez potrebe za import funkcijom.
- b) Programi se dijele na module samo u Jupyter Notebooku.
- c) Programi se dijele na module stvaranjem .py datoteka koje se uvoze pomoću 'import'.
- d) Programi se dijele na module korištenjem .exe datoteka.

18. Što su potprogrami i kako se koriste?

- a) Potprogrami su samo za napredne programere.
- b) Potprogrami su samo za grafičko korisničko sučelje.
- c) Potprogrami su alati za upravljanje bazama podataka.
- d) Potprogrami su funkcije ili procedure koje se koriste za organizaciju i ponovnu upotrebu koda.

19. Kako se vraća vrijednost iz funkcije?

- a) Vrijednost se vraća samo ako je funkcija void.
- b) Vrijednost se vraća korištenjem 'output' ključne riječi.
- c) Funkcija ne može vraćati vrijednosti.
- d) Vrijednost se vraća iz funkcije korištenjem 'return' ključne riječi.

20. Kako se koristi 'return' u funkcijama?

- a) 'return' se koristi za pozivanje funkcije.
- b) 'return' se koristi za ispisivanje podataka na ekranu.
- c) 'return' se koristi za vraćanje vrijednosti iz funkcije.
- d) 'return' se koristi za definiranje funkcije.

21. Odaberi ispravan program u koji korisnik unosi imena u listu sve dok ne unese riječ "kraj"

a)

```
imena = []

while True:
    unos = input("Unesi ime (ili 'kraj' za završetak): ")
    if unos.lower() == "kraj":
        break
    imena.append(unos)

print("Unesena imena:", imena)
```

b)

```
imena = []

while True:
    unos = input("Unesi ime (ili 'kraj' za završetak): ")
    if unos.lower() == "kraj":
        break
    imena.append(unos)

print("Unesena imena:", while)
```

c)

```
imena = []

while True:
    unos = input("Unesi ime (ili 'kraj' za završetak): ")
    if unos.lower() == "imena":
        break
    imena.append(unos)

print("Unesena imena:", while)
```

22. Odaberi ispravan program

a)

```
input zbroji(a, b):
    return a + b

a = int(input('Unesi prvi broj: '))
b = int(input('Unesi drugi broj: '))

print('Zbroj je', zbroji(a, b))
```

b)

```
int zbroji(a, b):
    return a + b

a = int(input('Unesi prvi broj: '))
b = int(input('Unesi drugi broj: '))

print('Zbroj je', zbroji(a, b))
```

c)

```
def zbroji(a, b):
    return a + b

a = int(input('Unesi prvi broj: '))
b = int(input('Unesi drugi broj: '))

print('Zbroj je', zbroji(a, b))
```

Prilog 18. Suglasnost roditelja za sudjelovanje u istraživanju

Poštovani roditelji! Za potrebe izrade doktorske disertacije, u I. osnovnoj školi Čakovec provodi se istraživanje na temu „Analiza učinka primjene humanoidnog robota na motivaciju i ostvarenost ishoda učenja u poučavanju informatike“. Ovo istraživanje ispituje učinak humanoidnog robota NAO na motivaciju učenika, ostvarenje ishoda učenja te povezanost stavova učenika prema robotu s njihovim obrazovnim postignućima na predmetu informatika u domeni računalnog razmišljanja i programiranja. Prije ispitivanja željeli smo Vas kao roditelje obavijestiti o istraživanju i zatražiti Vašu suglasnost. Također, Vašoj djeci ćemo pobliže objasniti svrhu ispitivanja, odgovoriti na njihova pitanja, te ih usmeno zamoliti i za njihov pristanak za sudjelovanje u istraživanju. Nakon toga, ispitivanje će se obaviti samo s onim učenicima/cama koji su pristali sudjelovati te ukoliko žele mogu odustati od istraživanja u bilo kojem trenutku. U sklopu istraživanja djeca će raditi s humanoidnim robotom NAO, pratiti će se njihovi rezultati vrednovanja, te će popuniti ankete o svojim stavovima i motivaciji. Na kraju će se svi rezultati anonimizirati i obraditi, te se identitet djece neće otkrivati niti u jednom trenutku. Za sva pitanja možete me kontaktirati na ivana.ruzic@skole.hr Zahvaljujem na suradnji! Ivana Ružić, učiteljica informatike SUGLASNOST Suglasan sam da moje dijete _____ (prezime i ime) učenik/ca _____ razreda I. osnovne škole Čakovec, sudjeluje u istraživanju, uz pridržavanje Etičkog kodeksa i uz zaštitu tajnosti podataka. Molim, zaokružite DA ukoliko ste suglasni da dijete sudjeluje u istraživanju, a NE ukoliko to ne želite. <table style="width: 100%;"><tr><td style="text-align: center;">DA</td><td style="text-align: center;">NE</td></tr></table> Ime i prezime roditelja: _____ Potpis roditelja: _____ Dragi učenici, u vašoj školi provodi se istraživanje na temu „Analiza učinka primjene humanoidnog robota na motivaciju i ostvarenost ishoda učenja u poučavanju informatike“. Namjera nam je, putem upitnika koji se nalazi pred vama, ispitati vašu motivaciju i stavove prema robotu NAO. Vaši su roditelji dozvolili da sudjelujete u ovom istraživanju, no potreban mi je i vaš pristanak. Želim vam još reći da u bilo kojem trenutku tijekom ispunjavanja upitnika imate pravo odustati. Imate li kakvih pitanja? Molim vas da podizanjem ruke potvrdite da želite sudjelovati u istraživanju.	DA	NE
DA	NE	

U Čakovcu, _____

POTPIS ISTRAŽIVAČA:



Prilog 19. Suglasnost ravnatelja za provođenje istraživanja



I. OSNOVNA ŠKOLA ČAKOVEC

Ulica kralja Tomislava 43

Tel. tajništvo - 040/395-157, pedagog – 095 289 77 77

mob. ravnatelj – 099 436 77 77

KLASA: 117-05/25-01/01
URBROJ: 2109-75-01-25-12
Čakovec, 3. veljače 2025.

PREDMET: Suglasnost za provođenje istraživanja

Na temelju zaprimljenog zahtjeva i uvida u svrhu istraživanja, dajem suglasnost, **Ivani Ružić** za provođenje istraživanja u I. osnovnoj školi Čakovec, a u svrhu izrade doktorske disertacije na temu „Analiza učinka primjene humanoidnog robota na motivaciju i ostvarenost ishoda učenja u poučavanju informatike“.

Istraživanje će ispitivati učinak humanoidnog robota NAO na motivaciju učenika, ostvarenje ishoda učenja te povezanost stavova učenika prema robotu s njihovim obrazovnim postignućima u predmetu informatika, posebno u domeni računalnog razmišljanja i programiranja.

Suglasnost se daje pod uvjetom da se istraživanje provodi u skladu s etičkim načelima, da sudjelovanje učenika bude dobrovoljno i uz prethodni pristanak roditelja/skrbnika te da se poštuju sva pravila zaštite osobnih podataka.

S poštovanjem,

Ravnatelj:



Ivana Ružić, prof.

Prilog 20. Mišljenje etičkog povjerenstva



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet organizacije i informatike
Pavlinska 2, 42000 Varaždin

www.foi.unizg.hr
ured-dekana@foi.unizg.hr
tel: +385 42 390 800



ETIČKO POVJERENSTVO

KLASA: 602-11/25-25/1
URBROJ: 2186-62-14-25-9
Varaždin, 10. veljače 2025.

Ivana Ružić

doktorandica na doktorskom studiju Informacijske znanosti na SUZGFOI

MIŠLJENJE ETIČKOG POVJERENSTVA

Etičko povjerenstvo Sveučilišta u Zagrebu Fakulteta organizacije i informatike razmotrilo je načela etičnosti zahtjeva Ivane Ružić, doktorandice na doktorskom studiju Informacijske znanosti SUZGFOI zaprimljenog dana 05.02.2025., Klasa: 602-11/25-25/1, Ubroj: 2186-62-14-25-5 kojim se traži mišljenje za provođenje istraživanja o motivaciji učenika i njihovim stavovima prema humanoidnom robotu kao pomoćniku u učenju. Istraživanje se provodi u okviru doktorske disertacije „Analiza učinka primjene humanoidnog robota na motivaciju i ostvarenost ishoda učenja u poučavanju informatike“.

Etičko povjerenstvo je zaključilo da je provođenje naprijed navedenog istraživanja etički prihvatljivo te da je u skladu sa smjernicama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu.

PREDSJEDNIK ETIČKOG POVJERENSTVA:



Prof. dr. sc. Ruben Picsek

Dostavljeno:

1. Podnositelju zahtjeva
2. Arhiva

Životopis autorice s popisom objavljenih radova

Ivana Ružić diplomirala je 2004. godine na Fakultetu organizacije i informatike Sveučilišta u Zagrebu te stekla akademski naziv diplomirani informatičar. Od 2021. godine polaznica je doktorskog studija Informacijske znanosti na istom fakultetu, gdje provodi istraživanje iz područja primjene čovjekolikih robota u obrazovanju pod mentorstvom prof. dr. sc. Igora Balabana.

Zaposlena je u I. osnovnoj školi Čakovec kao učiteljica Informatike, gdje je napredovala u zvanje učiteljice izvrsne savjetnice. Aktivno sudjeluje u radu stručnih tijela te vodi međunarodne projekte. U svome radu usmjerena je na primjenu suvremenih tehnologija u obrazovanju, posebice obrazovne robotike i digitalnih alata. Autorica je i koautorica udžbenika, obrazovnih materijala te stručnih i znanstvenih radova iz područja obrazovne tehnologije.

Popis radova

Buchem, I., Balaban, I., Badari, J., Ružić, I., & Bäcker, N. (2025). NAO robot in school education: Insights from the European survey and design of teacher training. In R. Balogh, D. Obdržálek, & N. Fachantidis (Eds.), *Robotics in education: Proceedings of the RiE 2025 Conference* (pp. 12–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98762-5_2

Oreški, P., Oreški, T., & Ružić, I. (2025). Primary school students' awareness of the ethical aspects of using artificial intelligence tools. *Informatics in Education*, 24(3), 559–585. <https://doi.org/10.15388/infedu.2025.18>

Ružić, I., Balaban, I., & Badari, J. (2025). Using humanoid robots to enhance student motivation: Practical applications in English language classes. In K. Skala (Ed.), *48th ICT and Electronics Convention MIPRO 2025* (pp. 505–510). Croatian Society for Information, Communication and Electronic Technology – MIPRO. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131831>

Ružić, I. (2025). Gamification and Humanoid Robots in Education: Enhancing Student Engagement and Learning Outcomes. In K. Skala (Ed.), *48th ICT and Electronics Convention*

MIPRO 2025 (pp. 526–530). Croatian Society for Information, Communication and Electronic Technology – MIPRO. <https://doi.org/10.1109/MIPRO65660.2025.11131934>

García-Holgado, L., García-Holgado, A., Ortiz-López, A., Amo-Filvà, D., Vázquez-Ingelmo, A., Orehovački, T., Marchetti, E., Valente, A., Ružić, I., Vadjla, I., et al. (2025). SPADATAS handbook: Practices to reduce data fragility in schools. GRIAL Research Group, University of Salamanca. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15019980>

Marchetti, E., Valente, A., Witfelt, C., Amo-Filvà, D., García-Holgado, A., García-Holgado, L., Vidotto, E., García-Peñalvo, F. J., Fonseca Escudero, D., Orehovački, T., et al. (2025). Integrating GDPR in the school through digital tools – The teacher as a mediator. In B. K. Smith & M. Borge (Eds.), *Learning and collaboration technologies: 12th International Conference, LCT 2025* (pp. 339–357). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93564-0_21

Ružić, I., & Balaban, I. (2024). The use of social robots as teaching assistants in schools: Implications for research and practice. *RED: Revista de Educación a Distancia*, 24(78), 1–29. <https://doi.org/10.6018/red.600771>

Witfelt, C., Marchetti, E., Valente, A., Amo-Filvà, D., García-Holgado, A., García-Holgado, L., Vidotto, E., Garzotto, M. E., García-Peñalvo, F. J., Fonseca Escudero, D., et al. (2024). Designing games for GDPR: Negotiating understandings of GDPR in EU schools. In K. Kilså & R. V. Basaiawmoit (Eds.), *Proceedings of the 18th European Conference on Games Based Learning* (pp. 863–871). Academic Conferences International. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.18.1.2585>

Ružić, I., & Balaban, I. (2024). Social robots: Applications, challenges, and future directions – Literature review. In N. Vrček & D. Korent (Eds.), *Proceedings of the 35th Central European Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 283–290). University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics.

- Matus, M., Ružić, I., & Balaban, I. (2024). The effect of progress indicators on students' engagement, learning experience and final grade. *Ubiquity Proceedings*, 4(1), Article 18. <https://doi.org/10.5334/uproc.140>
- Marchetti, E., Valente, A., Witfelt, C., Amo-Filvà, D., García-Holgado, A., García-Holgado, L., Vidotto, E., Garzotto, M. E., García-Peñalvo, F. J., Fonseca, D., et al. (2024). Teachers' perspective on the implementation of GDPR in schools: A design-oriented case study. In P. Zaphiris & A. Ioannou (Eds.), *Learning and collaboration technologies: 11th International Conference, LCT 2024* (pp. 182–199). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61685-3_14
- Amo-Filvà, D., Fonseca, D., Sanchez-Sepulveda, M., Hasti, H., García-Holgado, A., García-Holgado, L., Verdugo-Castro, S., García-Peñalvo, F. J., Orehovački, T., Krašna, M., et al. (2024). Assessing and promoting data fragility in schools: Open questionnaires for auto-evaluation in educational roles. In J. A. de Carvalho Gonçalves et al. (Eds.), *Proceedings of TEEM 2023* (pp. 1285–1292). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1814-6_126
- Balaban, I., Bađari, J., & Ružić, I. (2023). Evaluating learners' reactions to an online training programme: A case study of Maldives National University. In K. Skala (Ed.), *MIPRO 2023 Proceedings* (pp. 916–921). <https://doi.org/10.23919/mipro57284.2023.10159743>
- Ružić, I., & Balaban, I. (2023). The use of social robots as teaching assistants in education: Literature review. In N. Vrček, L. de Marcos Ortega, & P. Grd (Eds.), *Proceedings of the 34th Central European Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 205–212). University of Zagreb.
- Klimczuk, B., Denys, B., & Ružić, I. (2021). CodeInnova: Teaching programming in primary school. In *Proceedings of the 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO 2021)*. (pp. 789-793) IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO52101.2021.9597059>

Ružić, I., Krnelić, L. Z., Mota, N., Forte, M. D., & Dildar, F. D. (2019). Young Entrepreneurs in Action. In 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 877-881). IEEE. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8757197>