

OBRAZOVANJE MLADIH U OBLASTI NUKLEARNIH NAUKA: PRIMERI DOBRE PRAKSE

Jovana Knežević Radić¹, Dušan Mrđa², Sofija Forkapić³, Predrag Kuzmanović⁴, Miloš Garabandić⁵

^{1, 2, 3}Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, Srbija

⁴Kriminalističko-policijski univerzitet, Beograd, Srbija

⁵Gimnazija "Isidora Sekulić", Novi Sad, Srbija

¹jovana.knezevic@df.uns.ac.rs, ²mrddjad@df.uns.ac.rs, ³sofija@df.uns.ac.rs, ⁴predrag.kuzmanovic@df.uns.ac.rs,
⁵garabandic.milos@gmail.com

Kratak sadržaj: Uprkos širokoj primeni nuklearnih nauka i tehnologija, na globalnom nivou se uočava pad interesovanja mladih za ove oblasti, kao i prisustvo brojnih zabluda i negativnih stavova vezanih za pojmove radioaktivnosti i jonizujućih zračenja. U ovom radu su prikazani oblici formalnog, neformalnog i informalnog obrazovanja mladih, sa posebnim osvrtom na savremene trendove i primere dobre prakse u svetu i Republici Srbiji. Kratko su analizirani nastavni sadržaji u osnovnim i srednjim školama, najčešće konceptualne zablude učenika, kao i doprinos različitih neformalnih aktivnosti, poput projektnog nastave, edukativnih igara i projekata građanskih naučnih istraživanja, razvoju nuklearne pismenosti. Dat je i kratak pregled postojećih međunarodnih obrazovnih mreža i inicijativa. Rad ukazuje na potrebu za sistematskim i integrisanim pristupom edukaciji u oblasti nuklearnih nauka, sa ciljem razvoja znanja, kritičkog razmišljanja i razvoja pozitivnih stavova mladih prema nuklearnim tehnologijama.

Ključne reči: obrazovanje, nuklearne nauke i tehnologije, nuklearna pismenost

EDUCATION OF YOUNG PEOPLE IN THE NUCLEAR SCIENCES FIELD: EXAMPLES OF GOOD PRACTICE

Abstract: Despite the widespread application of nuclear sciences and technologies, a global decline in young people's interest in these fields has been observed, along with the presence of numerous misconceptions and negative attitudes related to radioactivity and ionizing radiation. This paper presents formal, non-formal, and informal educational approaches targeting young people, with particular emphasis on contemporary trends and examples of good practice worldwide and in the Republic of Serbia. Teaching contents in primary and secondary education, the most common students' conceptual misconceptions, as well as the contribution of various non-formal activities—such as project-based learning, educational games, and citizen science projects—to the development of nuclear literacy are briefly analyzed. In addition, a short overview of existing international educational networks and initiatives is provided. The paper highlights the need for a systematic and integrated approach to nuclear education, aimed at enhancing knowledge, fostering critical thinking, and promoting positive attitudes among young people toward nuclear technologies.

Key Words: education, nuclear science and technology, nuclear literacy

1. UVOD

Nuklearne nauke i tehnologije su danas našle primenu u raznim sferama ljudskog života – u energetici, medicini, zaštiti životne sredine i industriji, što ih čini bitnim delom STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) obrazovanja [1, 2]. Pored toga, u proteklom periodu raste i važnost nuklearne energije kao zelenog izvora i jednog od rešenja za smanjenje emisije gasova staklene bašte. Međutim, brojni izveštaji ukazuju na pad interesovanja u oblasti nuklearnih nauka, što se prepoznaje kao izazov za postojanje dovoljnog broja kvalifikovanih stručnjaka u ovoj oblasti [1, 3]. Izveštaj Međunarodne agencije za atomsku energiju [4] iz 2007. godine ističe značaj postojanja različitih mreža, kao što su Evropska mreža za nuklearnu edukaciju (ENEN). Članovi ENEN-a iz Republike Srbije su Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet i Srpsko nuklearno društvo (<https://www.nuclear.org.rs/>). Međunarodne mreže i programi ulažu velike napore ka promociji i unapređenju nuklearnog znanja i edukacije mladih širom sveta [4, 5]. Cilj ovakvih programa je povećanje nuklearne pismenosti i smanjenje straha i predrasuda vezanih za jonizujuće zračenje. Brojne studije ističu značaj širokog i duboko ukorenjenog nuklearnog obrazovanja za razvoj raznih oblasti nauke i tehnologije, posebno onih u domenu nuklearne fizike. Između ostalih, ističe se uloga univerziteta i tehničkih škola kao institucija koje bi bile sposobne da obezbede takvo obrazovanje. Dodatno, ističe se potreba za ulaganjem napora da se privuče dovoljan broj studenata u ove oblasti, kao i da se obezbedi transfer znanja kroz generacije [1]. Pored toga, način na koji se nuklearne teme uvode u obrazovni sistem direktno utiče na kasnije stavove pojedinaca prema nuklearnoj energiji i tehnologijama. Uz to, stagnacija u razvoju ovih oblasti je uticala da se broj stručnjaka u oblasti nuklearnih nauka i tehnologija smanjuje kroz godine, a

naročito kroz odlazak u penziju nekadašnjih stručnjaka, što je situacija koja je trenutno aktuelna i u Republici Srbiji [6]. Cilj ovog rada je pregled formalnih i neformalnih oblika edukacije u oblasti nuklearnog obrazovanja i primera dobre prakse u svetu. Naglasak je stavljen na savremene trendove i preporuke.

2. NUKLEARNO OBRAZOVANJE U OSNOVNIM I SREDNJIM ŠKOLAMA

2.1 Sadržaj i metodologija nastave

Zbog generalne zahtevnosti i istorijskih razloga, teme nuklearne energije i radioaktivnosti u mnogim osnovnim i srednjim školama ostaju slabo zastupljene ili se obrađuju delimično i marginalno, što ograničava njihovu integraciju u redovnu nastavu fizike [7]. Istraživanja pokazuju da se oblast nuklearne fizike u osnovnom i srednjem obrazovanju obrađuje kroz teme: *Struktura atoma, Radioaktivni raspad, Osnovne vrste radioaktivnog zračenja, Primena nuklearne energije*. Neki autori su u svojim studijama zaključili da udžbenici, odnosno literatura koja se koristi, ima manjak ilustracija i vizuelnih elemenata koji bi doprineli boljem usvajanju pojmova. Isti autori su na osnovu rezultata istraživanja predložili odgovarajući sadržaj udžbenika za sva tri nivoa studija [8]. Poseban akcenat je dat na teme koje se tiču informacija prisutnih u svakodnevnom životu, kao što su nuklearna energija, jonizujuće zračenje u medicini, hrana koja se sterilise zračenjem, itd. Sistematsko planiranje nastavnih jedinica je neophodan segment nastave kako bi se učenicima omogućilo razumevanje osnovnih koncepata i vrednovanje rizika i koristi nuklearne energije, kao i jonizujućeg zračenja. Empirijske studije su ukazale da praktična nastava, koja uključuje radionice i izvođenje eksperimenata, značajno doprinosi povećanju znanja i boljem shvatanju kompleksnih pojmova, kao i promeni stavova učenika prema nuklearnoj energiji i zračenju [9]. Nedostatak laboratorijske opreme i eksperimentalnih aktivnosti je identifikovan kao jedna od najvećih prepreka u nastavi nuklearne fizike u školama, te se ističe potreba za digitalnim resursima [10].

2.2 Najčešće zablude u vezi pojmova u oblasti nuklearnih nauka i tehnologija

Istraživanja o znanju i stavovima učenika u srednjim školama ukazuju da mnogi učenici imaju pogrešne predstave o radioaktivnosti, što dodatno izražava potrebu da pristup nastavi mora da bude jasniji i interaktivniji [11]. Sistematska studijao zabudama, znanju i stavu učenika sprovedena je u Valensiji (Španija) tokom 2018. godine. Autori Morales i Tuzon (2020) [11] su istakli neke od najčešćih zabuda među mlado populacijom, a to su: *Zračenje se akumulira u materiji; Zračenje je štetno za živa bića; Zračenje je veoma destruktivno i opasno; Zračenje ima različit efekat na živu i neživu materiju; Predmeti i živa bića izloženo zračenju postaju radioaktivni; Radioaktivnost se očuvava u organizmu; Radioaktivnost je veštačka pojava; Atomi ne menjaju svoju prirodu; Jonizujuće zračenje je uzrok pojave CO2 problema u životnoj sredini, kao što je efekat staklene bašte, zagađenje ili rupe u ozonskom omotaču; Svi električni uređaji emituju štetno zračenje; Zračenje se može koristiti da detektuje osećanja*. Većina navedenih zabuda proističe iz nerazlikovanja pojmova zračenja, radioaktivnosti i radioaktivnog materijala, kao i iz snažnog uticaja medijskih narativa. Isti autori su zaključili da postoje i brojne konceptualne greške koje se provlače kroz naučnu literaturu, a neke od njih su: *Termini radioaktivnost, zračenje i radioaktivni materijal se često mešaju i neadekvatno koriste; Termini izotop, radioizotop, atom i hemijski element se često mešaju ili se nedovoljno jasno razlikuju*. Jedno istraživanje sprovedeno na Univerzitetu u Nju Jorku [11], u grupi od studenata druge godine medicine, je pokazalo da 75% studenata misli da predmeti unutar prostorije sa rendgen uređajem postaju radioaktivni nakon korišćenja. Zaključak sprovedene studije je da je neophodno razvijanje novih strategija obrazovanja, koje bi vodile ka smislenog podučavanju osnovnih koncepata u nuklearnim naukama kako bi se razvijalo kritičko razmišljanje i veštine neophodne za učešće u diskusijama i donošenju odluka.

3. NUKLEARNO OBRAZOVANJE KROZ NEFORMALNE I INFORMALNE OBLIKE UČENJA

Neformalno obrazovanje je prepoznato kao obrazovanje koje uključuje organizovane i planirane obrazovne aktivnosti koje podstiču individualno i društveno učenje, a istovremeno pružaju sticanje različitih znanja, veština, razvoj stavova i vrednosti, a koje se dešavaju van sistema formalnog obrazovanja [12]. Sajmovi nauke, posete istraživačkim institucijama i projekti građanske nauke smatraju se oblicima neformalnog obrazovanja, jer su organizovani, imaju obrazovne ciljeve, ali se realizuju van formalnog školskog sistema [13]. Ove aktivnosti imaju dokazani pozitivan uticaj na znanje, stavove i interesovanje učenika i studenata prema naučnim disciplinama, uključujući i kompleksne teme poput zračenja i nuklearnih tehnologija [9, 14]. Interesantan primer prakse koja je korišćena za poboljšanje podučavanja nuklearnih pojmova i shvatanja kompleksnih koncepata među učenicima je korišćenje društvenih igara, tačnije kartica sa različitim pojmovima poput vremena poluraspada, vrsta zračenja i primene radionuklida [15]. Pomenuta igra je razvijena u Ujedinjenom Kraljevstvu, a korišćena je u radu sa učenicima škole u Sjedinjenim Američkim Državama, pri čemu su učenici anketirani pre i posle korišćenja kartica. Rezultati sprovedene studije su pokazali da ovakav interaktivan pristup može doprineti poboljšanju razumevanja i angažovanja prilikom učenja nuklearnih veština. U poređenju sa tradicionalnim pristupom, ovakvi oblici učenja pokazuju veći stepen angažovanja i dugotrajnijeg zadržavanja znanja. Drugi autori su prikazali studiju projektne nastave u oblasti nuklearne energije [7]. Projektna nastava je metod u kom učenici istražuju aktuelne probleme, sa ciljem sticanja znanja i dubljeg razumevanja. Ovaj metod je okrenut ka učeniku, nasuprot tradicionalnim metodama u kom je uloga nastavnika centralna uloga. U okviru projektne nastave, učenici su posetili i laboratoriju medicinskih fizičara. Rezultat

studije je da je projektna nastava bitan deo učenja, pri čemu je istaknut značaj saradnje između škola i naučnih i istraživačkih institucija.

Za razliku od neformalnog, informalno obrazovanje predstavlja različite, uglavnom individualne, obrazovne aktivnosti samoinicirane od strane osobe koja uči ili spontano sticanje različitih iskustava i znanja tokom života. Spontano sticanje znanja može biti kroz različite kanale, kao npr. učenja putem elektronskih medija i interneta. Informalno učenje je prepoznato kao jedan od ključnih elemenata sveukupne vizije 21. veka i ključ za stimulisanje rasta i razvijanja veština i kompetencija koje su očekivane da se razviju kod pojedinca, kao i načina na koji se ove veštine uče [16]. Poslednju deceniju smo svedoci ubrzane ekspanzije društvenih mreža i uticaja koji one imaju na mlade. Informacije, pa i dezinformacije se šire velikom brzinom, a danas su aktuelne kratke informacije koje se dobijaju na društvenim mrežama. Društvene mreže same po sebi nisu loš alat, ali bez stručnog posredovanja mogu doprineti produbljivanju zabluda. Jedna od studija sprovedenih u SAD, analizirala je mogućnost korišćenja instagrama kao alata za informalnu edukaciju u oblasti nuklearne medicine, naročito među mladima u toku obučavanja ili na početku svoje karijere. Zaključeno je da društvene platforme predstavljaju koristan alat za dopiranje do većeg broja dodatnih potencijalnih stručnjaka, kao i efikasan metod za ohrabrenje angažovanja celoživotnog učenja. Dobar primer edukacije u oblasti nuklearnih nauka jesu i projekti građanskih naučnih istraživanja. Ovakvi projekti omogućavaju da se građani, uključujući i učenike i studente, aktivno uključe u naučne aktivnosti. Takve inicijative, poput evropskog *RadoNorm* projekta (<https://www.radonorm.eu/>) ili globalne *Safecast* mreže (<https://en.wikipedia.org/wiki/Safecast>), ne samo da povećavaju kvantitet i kvalitet podataka dostupnih nauci, već podstiču i naučnu pismenost i svest o rizicima i koristi nuklearnih tehnologija u zajednici. Pored toga, preko različitih organizacija i partnerstava (npr. *European Partnership for Radiation Protection Research/ASNR* <https://pianoforte-partnership.eu/>) održavaju se radionice i projekti koji okupljaju stručnjake i građane kako bi diskutovali o postojećim i budućim projektima uključivanja građana u merenje zračenja i zaštite životne sredine. Jedan od radova [17] analizirao je uticaj projekata građanske nauke i zaključeno je da ovakvi projekti povećavaju znanje i svest o rizicima, ali imaju i potencijal za širi društveni uticaj i na ponašanje učesnika. Građanska naučna istraživanja u Srbiji imaju relativno kratku istoriju i prvi projekti su dobijeni 2023. godine, finansirani od strane Centra za promociju nauke. U 2024. je izabran za finansiranje projekat *NATURALE* (https://www.cpn.edu.rs/javnipoziv_gni_2024) koji ima za cilj da učenicima osnovnih i srednjih škola približi fenomen radioaktivnosti i izvore radioaktivnosti u prirodi, kroz edukativne šetnje i učešće u naučno-istraživačkom radu (<https://projekatnurale.com/>). Koordinator projekta je Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, a partnerske institucije su Gimnazija „Isidora Sekulić” iz Novog Sada i Osnovna škola „Vuk Karadžić” iz Bačke Palanke.

4. OBRAZOVNE MREŽE U OBLASTI NUKLEARNIH NAUKA

U svetu postoji više mreža koje se fokusiraju na oblast edukacije u okviru nuklearnih nauka i tehnologija. Jedna od njih je Evropska mreža za nuklearnu edukaciju (<https://enen.eu/>). Ova organizacija je neprofitabilna organizacija osnovana 2018. u okviru belgijskog zakona, sa glavnim ciljem razvijanja kompetencija u nuklearnim oblastima. U okviru ENEN-a, podstiče se saradnja među univerzitetima, istraživačkim organizacijama, regulatornih tela, industrije i svih drugih organizacija koje su uključene u primene nuklearnih nauka i jonizujućeg zračenja. ENEN do sada broji 88 članova i 15 međunarodnih projekata koji su trenutno aktuelni. Projekti su iz oblasti edukacije i treninga, nuklearne energije, nuklearne bezbednosti, zaštite od zračenja, istraživanja i upravljanja otpadom. ENEN mreža godinama organizuje i različita takmičenja koja podstiču učenike i studente da se takmiče u oblasti nuklearnih nauka i tehnologija, a pored toga finansiraju i održavanje nuklearnih kampova radi promocije nauke i istovremeno sticanje znanja. U junu 2025. godine, održan je prvi takav kamp u Republici Srbiji, koji je organizovao profesor fizike iz Gimnazije „Isidora Sekulić” u Novom Sadu, Miloš Garabandić, a koji je okupio 20 učenika srednje škole. Nuklearni kamp je trajao pet dana, a tokom trajanja kampa, učenici su imali priliku da posete Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Planetarijum u Novom Sadu, Institut za onkologiju Vojvodine u Sremskoj Kamenici i da čuju predavanja profesora sa Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, kao i gostiju iz inostranstva.

Organizacija Evropsko nuklearno društvo (<https://www.euronuclear.org/>), u okviru Mreže mladih organizuje takmičenje *Innovation for Nuclear* (I4N), koje ohrabruje mlade, studente i istraživače, da osmisle inovativne ideje u oblastima nuklearnih nauka i tehnologija, primenljive za rešavanje različitih globalnih problema i aspekata razvoja društva. U Republici Srbiji je nacionalno takmičenje I4N organizovano po prvi put 2025. godine, u organizaciji Mreže mladih Srpskog nuklearnog društva. Pored ENEN-a, postoji više organizacija na međunarodnom i regionalnom nivou posvećenih nuklearnoj edukaciji, kao što su ANENT (<https://www.iaea.org/services/networks/anent>), AFRA-NEST (<https://www.iaea.org/services/networks/afra-nest>), LANENT (<https://www.iaea.org/services/networks/lanent>) i STAR-NET (<https://www.iaea.org/services/networks/star-net>), koje su uspostavljene uz podršku Međunarodne agencije za atomsku energiju radi razmene resursa, nastavnih materijala i saradnje na kurikulumima [4]. Slično ENEN-u, postoji organizacija (NRC Network <https://www.cinch-project.eu/meet-cinch/nrc-network/index.html>) koja doprinosi unapređenju nuklearnog obrazovanja kroz obuku, standardizaciju i razvoj zajedničkih kurseva, dok globalne platforme poput NEA Global Forum povezuju akademske institucije i istraživače širom sveta (https://www.oecd-nea.org/jcms/j_6/home). Prikazane mreže predstavljaju ključnu infrastrukturu za održivost nuklearnog obrazovanja, posebno u zemljama koje nemaju razvijen nuklearni sektor.

5. ZAKLJUČAK

Oblast nuklearnih nauka i tehnologija je jedna od ključnih oblasti održivog razvoja i rešenja pojedinih globalnih promena. Ipak, ova oblast je prepoznata kao oblast sa manjkom stručnog kadra, ne samo u našoj zemlji, već i na svetskom nivou. Glavni problemi u pogledu edukacije mladih uzrokovani su pogrešnim shvatanjima ključnih pojmova, koji se stižu kako kroz formalne oblike obrazovanja, tako i kroz neformalne i informalne oblike, a u poslednjim decenijama najintenzivnije putem medija i društvenih mreža. Problem nedostatka kadra i privlačenja potencijalnih ljudi koji bi se bavili ovom oblašću, zahteva uključivanje svih zainteresovanih strana – od nastavnika i profesora, preko univerzitetskih profesora, do regulatornih tela i industrije. Neophodan je sistematski pristup reforme gradiva koje se uči u osnovnim i srednjim školama, kao i modernizacija nastavnog sadržaja. Prikazani primeri dobre prakse ukazuju da kombinacija formalnog obrazovanja, neformalnih aktivnosti i građanskih naučnih istraživanja može značajno doprineti razvoju nuklearne pismenosti i interesovanja mladih. U svetlu neformalnog i informalnog obrazovanja, istaknut je značaj postojanja obrazovnih mreža, koje, povezuju stručnjake u oblasti nuklearnih nauka i tehnologija, podstiču razmenu iskustva i pružaju podršku i smernicu kako razvijenim nuklearnim zemljama, tako i onima koje su na tom putu. Na samom kraju, potrebno je istaći da bez koordinisanog i dugoročnog pristupa nuklearnom obrazovanju, rizikuje se gubitak znanja i kompetencija koje su neophodne za bezbednu i odgovornu primenu nuklearnih tehnologija u savremenom društvu i percepciju rizika i stavova prema nuklearnoj energiji i tehnologijama u javnosti.

6. LITERATURA

- [1] *Nuclear Education and Training: Cause for Concern?*, Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 2000.
- [2] *IAEA Empowers African Teachers with Educational Science Kits to Enhance Learning*, International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA News, 2023.
- [3] *Nuclear Education and Training: From Concern to Capability*, Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, 2012.
- [4] *Nuclear Educational Networks: Experience Gained and Lessons Learned*, International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA TECDOC-2007, Vienna, 2022.
- [5] *Empowering Educators and Advancing Nuclear Science Education*, International Atomic Energy Agency (IAEA), IAEA News, 2024.
- [6] Predrag Kuzmanović, Jovana Knežević Radić, *Nuclear Energy in Serbia as Part of The Green Energy Transition: Overview of potential and opportunities*, Akademski privrednik, 1, Visokoškolska ustanova Univerzitet "Privredna Akademija" Brčko distrikt BIH, Brčko, 2024.
- [7] Georgios Tsaparris, Sotirios Hartzavalos, Vasiliki Vlacha, Constantina Malamou, Ioanna Nella, Christina Pantoula, *Affective and Cognitive Outcomes of Project-based Teamwork in a Model Lower Secondary School: The Case of Nuclear Energy*, Science Education International 31(1), 52–64, 2020.
- [8] Eun Ok Han, Jae Rok Kim, Yoon Seok Choi, James Lochhead, *Development of Nuclear Energy and Radiation textbooks for Elementary, Middle, and High School Students*, Journal of Radiation Protection and Research, 40(3), 132–142, 2015.
- [9] Eun Ok Han, Jae Rok Kim, Yoon Seok Choi, *Educational Effects of Radiation Work-Study Activities for Elementary, Middle, and High School Students*, Nuclear Engineering and Technology, 46(1), 91–98, 2014.
- [10] Aziz Taoussi1, Ahmida Chikhaoui1, Khalid El Khatibi1, Hassan Yakkou, *Analysis of obstacles in teaching and learning nuclear physics: towards a digital approach in secondary education*, International Journal of Evaluation and Research in Education, 14(5), 3846–3858, 2025.
- [11] Anabel Morales, Paula Tuzón, *Misconceptions, knowledge, and attitudes of secondary school students towards the phenomenon of radioactivity*, Science and Education, 31, 405–426, 2022.
- [12] Reč više: *Celoživotno učenje i neformalno obrazovanje*, Bilten broj 3, Decembar 2007.
- [13] *International Standard Classification of Education: ISCED 2011*, UNESCO Institute for Statistics, Montréal: UNESCO, 2012.
- [14] John H. Falk, Lynn D. Dierking *Learning from Museums, Science Centers, and Other Informal Educational Settings*. Routledge, 2018.
- [15] Sarah Elizabeth Lu, Shaun Hemming, Jamie Purkis, Stephen P. LaMont, *Global lessons: a comparative analysis of nuclear gamification's impact in American and British students*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 334, 9243–9248, 2025.
- [16] Slađana Petković, Pool of European Youth Researchers, *Desk study on the value of informal education, with special attention to its contribution to citizenship education, civic participation and intercultural dialogue and learning*, European citizenship, peace-building and conflict transformation, 2018.
- [17] Mabel Akosua Hoedoafia, Meritxell Martell, Tanja Perko, *Evaluating citizen science projects: insights from radon research*, Frontiers in Environmental Science, 12, 1436283, 2024.