

Učinkovitost laboratorijskih vaj v virtualnem laboratoriju

Mojca Ciglaric

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, Ljubljana
mojca.ciglaric@fri.uni-lj.si

Izvleček

V obdobju epidemije Covid-19 so se študentje po vsem svetu soočili z daljšimi obdobji odrezanosti od svojih profesorjev, asistentov in kolegov študentov, saj so pedagoške dejavnosti potekale oddaljeno preko spletnih učilnic, virtualnih laboratorijev in telekonferenčnih platform. V okviru enega od predmetov na FRI smo skušali ovrednotiti učinkovitost laboratorijskih vaj v obliki oddaljenega učenja. Študente smo za del vsebine razdelili v dve skupini, ena je imela klasično frontalno poučevanje, druga pa se je učila praktičnih veščin oddaljeno s pomočjo elektronskih navodil. Učinkovitost učenja smo merili s številom točk, ki jih je študent za nalogo iz te vsebine dobil na izpitu. Pokazalo se je, da med skupinama ni bilo statistično značilnih razlik v znanju, kar pomeni, da takšne metode lahko uspešno vključujemo v poučevanje tudi takrat, ko nam tega ne predpisujejo vladne uredbe.

Ključne besede: oddaljeno učenje, virtualni laboratorij, uporaba IT v pedagoškem procesu

Effectiveness of laboratory work in a virtual laboratory

Abstract

During the Covid-19 epidemic, students around the world were faced with periods of isolation from their professors, assistants and fellow students as pedagogical activities took place remotely through online classrooms, virtual labs and teleconferencing platforms. In one of the courses at FRI, we attempted to evaluate the effectiveness of laboratory work in the form of distance learning. For a section of the course contents, the students were divided into two groups. One of the groups had classic frontal teaching while the other studied remotely by means of electronic instructions. The effectiveness of learning was measured by the number of points that the students received for one of the exam questions related to the chosen contents. No statistically significant differences in knowledge were determined, which means that distance learning can be successfully included in the pedagogical process even when not required by the government.

Keywords: Distance learning, virtual laboratory, IT-supported learning and teaching

1 UVOD

Pandemija Covid-19 je po vsem svetu omejila poučevanje. Študentje so se soočili z daljšimi časovnimi obdobji, ko se je od njih pričakovalo, da ostanejo doma in se učijo sami. Medtem ko je bilo frontalno poučevanje relativno enostavno prenesti v virtualni prostor s pomočjo telekonferenčnih orodij, so praktično delo in laboratorijske vaje zahtevali več pozornosti. Študenti pri praktičnem delu niso mogli dobiti takojšnjega odziva in namigov za odpravljanje težav. Koncept in strukturo laboratorijskih vaj je bilo treba spremeniti in prilagoditi za učenje na daljavo z manj interakcijami, obenem pa je bilo treba pripraviti več namigov za dodatne informacije in iskanje le teh na spletu. Od pedagoškega osebja se je pričakovalo, da

se bo hitro prilagodilo spletnim tehnologijam in novim pedagoškim pristopom ter nemudoma izdelalo učno gradivo za podporo študentom pri samostojnem učenju s pomočjo informacijske tehnologije.

Govindarajan in Srivastava [3] gledata obdobje oddaljenega poučevanja med epidemijo kot globalni eksperiment, za katerega ne vemo, kakšne posledice bo imel dolgoročno. Številne študije [15, 21, 24-29] sicer kažejo, da ima lahko učenje na daljavo pozitiven vpliv na učne rezultate, v času pandemije je bilo tudi večinoma dovolj uspešno, vendar je treba pred posploševanjem teh rezultatov upoštevati vse specifične okoliščine. Ne vemo, koliko pedagogov svojih rezultatov ni želelo objaviti, ker njihovi študenti niso bili dovolj uspešni. Ne vemo, koliko študentov je štu-

diralo težje kot običajno, ker so morali ostati doma in niso imeli drugega dela. Prav tako ne vemo, kakšni bi bili dolgoročni učinki izolacije in pomanjkanja socialnih stikov, če bi visokošolske dejavnosti v celoti daljše časovno obdobje ponujali na spletu. Rotas in Cahapay [22] opisujeta več kategorij težav, s katerimi so se slušatelji srečali pri učenju na daljavo med pandemijo: motnje v internetni povezljivosti, neustrezni učni viri, prekinitve električne energije, prezahtevne učne enote, slaba komunikacija med vrstniki, konflikt med učenjem in domačimi opravili, finančne težave, zdravstvene težave in težave z duševnim zdravjem (tudi pri družinskih članih). Adedoyin in Soykan [23] navajata, da je digitalna transformacija izvajanja poučevanja prinesla več izzivov, ki izvirajo iz domačega okolja: različna tehnološka opremljenost in stopnja znanja, socialno-ekonomski dejavniki, motnje, ki jih povzročajo družinski člani in hišni ljubljenci, digitalne kompetence, težavno oddaljeno ocenjevanje in nadzor izpitov, velika delovna obremenitev pedagogov. Težavo v raziskavah predstavlja tudi vrednotenje učinkov oddaljenega učenja na učne rezultate. Lai in Bower [30] sta analizirala 365 člankov in ugotovila, da je bilo oprabljenih mnogo različnih načinov vrednotenja učinkov. Zato je za posploševanje ugotovitev o uspešnosti oddaljenega poučevanja še prezgodaj.

Namen tega članka je ugotoviti, ali je tehnološko podprto učenje praktičnih veščin na daljavo brez prisotnosti pedagoga lahko enako učinkovito kot klasično frontalno učenje. Med epidemijo so se pojavljali argumenti tako za kot proti, neizpodbitne so bile težave zaradi socialne izoliranosti, kljub temu pa smo v tem času pridobili nove izkušnje, spretnosti in tudi tehnično opremo, ki bi jih lahko v pedagoškem procesu še naprej uporabljali, če seveda znamo pokazati, da z njimi ne povzročamo škode oziroma ne poslabšujemo kakovosti študija.

Oddaljeno učenje mora biti primerno strukturirano in mora upoštevati sodobne ugotovitve in metode poučevanja [20]. Konstruktivizem je prvi opisal Piaget [4], ki je ugotovil, da se človek uči tako, da znanje sam aktivno odkriva in si ga sestavlja v smiselno celoto. Vigotsky [5] pa je izpostavil, da je bistven temelj učenja interakcija, sodelovanje z drugimi osebami. V oddaljenem oziroma e-učenju so tako danes bistveni koncepti konstruktivizem, izkustveno učenje in sodelovanje [6,7]. Pomanjkanje interakcije pri oddaljenem učenju skušamo nadomestiti z mešanim uče-

njem po različnih poteh – v kombinaciji s klasičnim učenjem z neposrednimi stiki [8, 9, 10], kar ima pozitiven vpliv na motivacijo in pridobivanje znanja [1, 2, 11-13]. Naše ugotovitve o učinkovitosti samostojnega učenja praktičnih veščin na daljavo so skladne z zgornjimi in niso pomembne le v kontekstu pandemije. Obstaja več situacij, v katerih je za učitelje ali študente potrebno ali vsaj priročno izvajati dele učnega procesa v virtualnem prostoru, na primer, ko se soočajo s pomanjkanjem prostora ali računalniške opreme ali ko morajo študenti opraviti svoje laboratorijske vaje izven predvidenega urnika.

Izvajanje laboratorijskih vaj na daljavo v tako imenovanih virtualnih laboratorijih se v literaturi pojavlja predvsem na področjih naravoslovja in tehnike. Achuthan s soavtorji [14] preučuje vpliv oddaljene izvedbe praktičnih vaj v strojništvu. Poroča, da so oddaljeni uporabniki izvedli naloge v 30% krajšem času in dosegli 200% boljše rezultate. Barros in soavtorji [12] so izvedli eksperiment v virtualnem kemijskem laboratoriju, kjer so opazovali predvsem sodelovanje med oddaljenimi študenti. Študenti z bolj intenzivnim sodelovanjem so dosegli značilno višje končne ocene. Winkelmann in soavtorji [16] so ugotovili, da so bile študentske ocene pri izvajanju kemijskih poskusov v navideznem svetu Second Life primerljive ali nekoliko boljše kot pri fizičnih poskusih. Na področju računalništva je podobnih poročil malo. Tobarra in soavtorji [17] so opazovali zadovoljstvo študentov pri uporabi virtualnega laboratorija pri učenju kibernetike varnosti. Poročajo o visoki stopnji sprejetosti med študenti in o zadovoljstvu z uporabo, ne ovrednotijo pa učinkovitosti učenja. Powell in soavtorji [18] uporabljajo preprost virtualni laboratorij in navajajo visoko učinkovitost učenja, vendar te trditve ne podprejo empirično. Kapici [19] navaja srednješolske rezultate, kjer se je izkazalo, da je kombinacija fizičnih in virtualnih laboratorijev dala boljše rezultate učenja kot zgolj fizična ali zgolj virtualna izvedba.

2 METODOLOGIJA

Naš glavni interes je bil uporaba principov mešanega (angl. blended) in konstruktivističnega učenja pri laboratorijskem delu v okviru predmeta Računalniške komunikacije na strokovnem študiju računalništva in informatike, da bi olajšali oddaljeno, tehnološko podprto učenje praktičnih veščin. Opazovali smo le eno krajše poglavje iz vsebine predmeta. S tem smo

izločili vpliv socialne izoliranosti in pomanjkanja motivacije, ki sta se sicer pokazala kot moteča dejavnika med daljšimi odbodbji dela od doma.

Za opazovanje smo izbrali enega od temeljnih konceptov, ki jih študenti potrebujejo, da obvladajo računalniške komunikacije, in sicer naslavljanje IP, segmentacijo naslovnega prostora, podomrežja in konfiguracijo omrežja. Razumevanje in obvladovanje teh konceptov je ena najpomembnejših praktičnih veščin za računalniške inženirje in temelj za razumevanje delovanja interneta. Obenem pa je vsebina dovolj strukturirana, da jo je enostavno preverjati na izpitu in natančno točkovati izpitna vprašanja.

Praktične laboratorijske vaje so glavno orodje za pridobivanje izkušenj med študijem, predvsem v znanosti in tehnologiji, vendar so pogosto omejene s fizičnim prostorom, opremo in sredstvi, ki so na voljo v visokošolskih institucijah. Med pandemijo so bile laboratorijske vaje omejene zaradi dela od doma in karanten. Potrebe po socialnem distanciranju je bila prisotna tudi takrat, ko je bila fizična prisotnost že mogoča. Da smo lahko zagotavljali visoko kakovost izobraževanja, smo v zasebnem oblaku namestili virtualni laboratorij, kompleksno infrastrukturo, ki študentom omogoča lažji dostop do laboratorijske opreme in računalniških virov, potrebnih za vaje. Do vaj so lahko dostopali od koder koli in kadarkoli prek interneta, s čimer smo presegli časovne in prostorske ovire med pedagogi in študenti.

Računalniške komunikacije so na študiju računalništva začetni predmet, niti za predmet niti za samo uporabo virtualnega laboratorija ni bilo potrebno kako posebno predznanje ali uporaba orodij, zgolj uporaba brskalnika. Uporaba brskalnika današnjim generacijam večinoma ne predstavlja težave, ker pa gre tu za študente računalništva, pa glede potrebnega predznanja ali spretnosti tudi v praksi ni bilo nikakršnih težav.

Študentje v testni skupini so dobili nabor nalog, ki so jih morali opraviti v virtualnem laboratorijskem okolju, medtem ko prisotnost asistenta ali profesorja med laboratorijskim delom ni bila potrebna. Naloge so bile oblikovane tako, da so spodbujale ustvarjalnost in kreativnost pri delu, spremljal pa jih je sistem spletne učilnice s forumom, kjer so lahko medsebojno komunicirali in izmenjevali svoje izkušnje, in nasvete za pot do rešitve. Prek brskalnika so študentje dostopali do svojega virtualnega omrežja s tremi navideznimi računalniki, katerih omrežne na-

stavitve so morali konfigurirati v skladu z navodili. Ta so bila dovolj ohlapna, da so lahko naloge opravili na različne načine in z različnimi zaporedji korakov. Nazadnje so morali praktično preveriti ustrezno delovanje, na primer medsebojno omrežno dosegljivost sistemov.

Študentje v kontrolni skupini so imeli klasične laboratorijske vaje, kjer jim je napotke predstavil asistent, in jim pokazal, kaj morajo narediti, naloge pa so nato opravljali v učilnici ob prisotnosti asistenta. Obe skupini študentov sta dobili na izpitu eno od nalog iz vsebine, ki je bila zajeta v opisan eksperiment in rezultat našega eksperimenta je primerjava števila točk, pridobljenih na izpitu, med skupinama.

Gradivo za učenje na daljavo je bilo pripravljeno na način, ki je omogočal konstruktivistično učenje: navodila so pustila dovolj prostora za ustvarjalnost študentov in jih spodbudila k iskanju dodatnih informacij na internetu. Odprt je bil študentski forum za spodbujanje razprav o sorodnih temah. Zaradi različnih načinov podajanja vsebin in interakcij lahko izvajanje označimo tudi kot mešano učenje (ang. blended learning).

Po zaključku semestra so imeli študentje možnost opravljati izpit na treh izpitnih rokih v tekočem študijskem letu. Dva od teh sta bila v mesecu neposredno po zaključku semestra in ta dva izpitna roka smo si izbrali za opazovanje rezultatov. V oba izpitna roka smo vključili podobno strukturirano nalogo iz opazovanega poglavja in jo točkovali z 10 točkami.

Edina neodvisna spremenljivka našega eksperimenta je metoda poučevanja, testni skupini pa sta tradicionalno frontalno učenje (krajše FU) in oddaljeno učenje z nalogami, ki se izvajajo v virtualnem laboratoriju (krajše OU). Odvisna spremenljivka je število točk, osvojenih pri opazovanem izpitnem vprašanju o IP naslavljanju.

Naša ničelna hipoteza H_0 pravi, da bo število točk, pridobljenih pri opazovani izpitni nalogi, enako pri obeh skupinah, FU in OU. Alternativna hipoteza H_a pravi, da bo število točk pri skupinah FU in OU različno.

Poskušali smo čim bolj odpraviti vse prikrite spremenljivke, ki bi lahko vplivale na rezultat: vsebina predavanj je bila enaka, preostale naloge so bile enake, študentje so uporabljali enaka orodja. Na ta način upamo, da smo izolirali učinke pristopa poučevanja/učenja od drugih spremenljivk.

3 REZULTATI

Po zaključku semestra se je opazovanih dveh izpitnih rokov udeležilo skupno 33 študentov, od tega 10 iz testne in 23 iz kontrolne skupine. Tabela 1 prikazuje velikost obeh skupin in deleže, tabela 2 pa prikazuje deskriptivno statistiko za pridobljeno število točk na izpitu za obe skupini.

Tabela 1: Velikost skupin.

	Vsi študenti	OU	FU
Število	33	10	23
Delež	100 %	30,30 %	69,70 %

Tabela 2: Deskriptivna statistika za število točk na izpitu.

	N	Min	Max	Povprečje	Mediana	Std. dev.	Varianca
OU	10	0	10	5,91	6	2,41	5,79
FU	23	2	10	8,30	9	3,46	11,99

Izvedli smo t-test za neodvisne vzorce, v katerem smo primerjali testno skupino OU in kontrolno skupino FU. Bistvenih razlik v številu točk med obema skupinama pri $\alpha = 0,05$ ni bilo: $t(31) = 1,97$, $p = 0,0573$. Tako ne moremo zavrnila ničelne hipoteze H_0 in sprejeti alternativne hipoteze H_a . Eksperimentalni rezultati torej kažejo, da lahko pričakujemo, da bodo študenti pri tehnološko podprtem oddaljenem učenju pokazali primerljivo znanje kot pri tradicionalnem frontalnem učenju. Rezultati so skladni z ugotovitvami številnih drugih raziskovalcev o učinkih e-učenja, tehnološko podprtega učenja in učenja v virtualnih laboratorijih.

Ne glede na naše zadovoljstvo z eksperimentalnim rezultatom moramo komentirati tudi možne grožnje veljavnosti ugotovitev. Notranjo veljavnost smo kontrolirali tako, da smo skrbeli, da je metoda učenja edina razlika med skupinama, vse ostalo je bilo enako oziroma smo imeli pod nadzorom. Zunanja veljavnost študije pomeni, da je možno ugotovitve posplošiti. Ker se naša raziskava osredotoča na razmeroma majhno poglavje vsebin iz enega samega predmeta, je naše rezultate možno robustno posplošiti le na podobne kontekste in podobno populacijo, torej na študente dodiplomskega študija računalništva, ki poslušajo računalniške komunikacije ali podoben predmet z dovolj praktičnimi vsebinami (npr. programiranje, porazdeljeni sistemi).

Veljavnost konstrukta preverja, ali res merimo to, kar mislimo, da merimo? V našem primeru menimo,

da merimo (ocenjujemo) pridobljeno znanje s preprostimi vprašanji o dejstvih, naučenih v virtualnem laboratoriju ali v fizični učilnici. To je najpreprostejša metoda ocenjevanja znanja. Raziskovalna skupnost se strinja, da je problem ocenjevanja znanja, zlasti v virtualnih učilnicah in laboratorijih, kompleksen. V našem primeru se moramo zavedati, da verjetno le površno ocenjujemo faktografsko znanje, pri čemer prezremo študentovo ustvarjalnost in sposobnosti reševanja problemov ter analitične sposobnosti, ki jih je morda razvil pri učenju. Veljavnost zaključkov pomeni sprejemanje pravilnih zaključkov glede metode učenja in rezultatov. To smo kontrolirali z izbiro objektivnih in enostavno preverljivih meril (točke), neodvisnih od subjektivnih ocen pedagoga. V izogib napačne ali pretirane interpretacije rezultatov našega eksperimenta smo na tem mestu izpostavili različne pomisleke, ki bi lahko ogrozili veljavnost rezultatov.

4 DISKUSIJA

Rezultati kažejo, da je tehnološko podprto učenje na daljavo v virtualnem laboratoriju za majhne učne enote prineslo primerljive učne rezultate kot tradicionalno frontalno učenje.

Čeprav v resnici nismo pričakovali, da bodo razlike med skupinami statistično značilne, smo menili, da bi skupina OU lahko pokazala boljše rezultate kot skupina FU. Naše domneve so temeljile na neformalnih interakcijah s študenti, ki so nam dali pozitivne povratne informacije o svojih izkušnjah z oddaljenim učenjem in delom v virtualnem laboratoriju. Povprečno število točk na izpitu je bilo v resnici pri oddaljenem učenju višje, čeprav razlike niso bile značilne.

Menimo, da sta dve možni razlagi, zakaj med skupinama ni bilo značilnih razlik. Prvič, e-izobraževanje je znano po visoki stopnji osipa, kot navajata na primer Xu in Xu [27]. Pedagogi morajo pri oblikovanju vsebin skrbeti za ohranjanje motivacije in pozornosti študentov. Če smo bili v tem neuspešni, je bilo morda delo za nekatere študente nezanimivo in se zaradi pomanjkanja motivacije niso naučili vsega, kar bi lahko. Druga razlaga se nanaša na metodologijo ocenjevanja. Izpitna vprašanja so bila namerno preprosto strukturirana, da bi olajšala objektivno ocenjevanje. Vendar pa taka preprosta orodja ne merijo dobro sposobnosti reševanja problemov ali drugih naprednih pridobljenih znanj. Če bi v izpit vključili bolj odprta problemska vprašanja, bi bila morda celotna slika drugačna.

Zavedamo se, da je vzorec majhen in da smo preverjali zgolj eno poglavje iz vsebine predmeta. V virtualni laboratorij smo v vmesnem času že vključili dodatne vsebine, zato prihodnje načrtujemo razširitev raziskave na več vsebin in na večji vzorec, prav tako pa razmišljamo tudi o drugačnih načinih preverjanja znanja.

Na podlagi naših izkušenj podajamo nekaj nasvetov za uspešno implementacijo in integracijo tehnološko podprtega oddaljenega učenja v obstoječe predmete. Na podlagi naših opazanj menimo, da je takšno učenje bolj primerno za praktične vsebine kot za teoretične koncepte, saj praktično delo ohranja študente aktivne in motivirane. Vsebine je treba zato skrbno izbrati. Začeti je treba s preprostimi koncepti in nezapletenimi vsebinami in po pridobljenih prvih izkušnjah postopno dodati podporo za bolj zapletene vsebine. Pri predmetu Računalniške komunikacije smo začeli z omrežnim naslavljanjem, kot je opisano v prispevku, nato pa smo postopno vključili dinamično usmerjanje z BGP, omrežno programiranje in varnost omrežnih storitev z uporabo industrijskih dobrih praks. Pri snovanju navodil za spletno gradivo priporočamo upoštevanje načel konstruktivističnega in mešanega učenja. Dobra strategija je usmerjanje študentov k odgovoru v več korakih (npr. z namigi) in jim ne omogočiti zgolj preverjanja pravilnosti odgovora. Nekateri študenti so namreč poročali, da včasih potrebujejo le manjši namig za nadaljevanje.

5 SKLEP

Naša raziskava kaže, da lahko samostojno, tehnološko podprto oddaljeno učenje manjših učnih enot pri predmetu Računalniške komunikacije daje dobre rezultate in omogoči pričakovano pridobitev znanja dodiplomskim študentom računalništva. Verjamemo, da je rezultate mogoče splošiti vsaj na predmete, podobne Računalniškim komunikacijam v okviru študija računalništva. V luči digitalne preobrazbe visokega šolstva po epidemiji covid-19 bomo na Univerzi v Ljubljani še naprej združevali tradicionalne in tehnološko podprte učne metode, da bi našim študentom zagotovili kakovostno izobraževanje in visok nivo praktičnega znanja.

Nadaljnje raziskovalno delo na tem področju načrtujemo v smeri širitve na večje število študentov, na daljši časovni okvir, z večjim številom vaj in tudi s kompleksnejšimi vajami, ter z večkratnim preverjanjem pridobljenega znanja na različne nači-

ne. Opisane metode poučevanja pa uvajamo tudi v druge predmete. Upamo, da bodo opisane ugotovitve vzbudile zanimanje tudi na drugih fakultetah ali univerzah in bodo spodbudile in opogumile pedagoške k vključevanju podobnih metod v svoje predmete.

LITERATURA

- [1] Dziuban, C., Graham, C.R., Moskal, P.D. et al. (2018). Blended learning: the new normal and emerging technologies. *Int J Educ Technol High Educ* 15, 3. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0087-5>.
- [2] Brinson, J.R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research, *Computers & Education*, Vol. 87, pp. 218-237, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>.
- [3] Govindarajan V., Srivastava A. (2020). What the Shift to Virtual Learning Could Mean for the Future of Higher Education. *Harvard Business Review*. Available online at: <https://hbr.org/2020/03/what-the-shift-to-virtual-learning-could-mean-for-the-future-of-higher-ed> (dostopano jan. 2022).
- [4] Piaget, J. (1973). *To Understand is to Invent*. New York: Grosman.
- [5] Vygotsky, L. (1930-1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [6] Nančovska Šerbec, I., Strnad, M., Rugelj, J. (2009). Students' attitude to active forms of e-learning. In: M. Čičin-Šain, (ed.). *Proceedings Rijeka: MIPRO*, 100-103.
- [7] Ben-Ari, M. (2001). Constructivism in Computer Science Education. *Jl. of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20 (1), 45-73.
- [8] Garrison, D.R., Vaughan, N.D. (2008). *Blended Learning in Higher Education*. San Francisco: Jossey-Bass.
- [9] Singh, H. (2003). Building Effective Blended Learning Programs. *Education Technology*, 43 (6), 51-54.
- [10] Lapuh Bele, J., & Rugelj, J. (2007). Blended learning - an opportunity to take the best of both worlds. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 2(3). <https://doi.org/10.3991/ijet.v2i3.133>.
- [11] M. Anisetti et al. (2007). Learning Computer Networking on Open Paravirtual Laboratories, in *IEEE Trans. on Educ.*, vol. 50, no. 4, pp. 302-311, doi: 10.1109/TE.2007.904584.
- [12] B. Barros, T. Read and M. F. Verdejo (2008). »Virtual Collaborative Experimentation: An Approach Combining Remote and Local Labs,« in *IEEE Trans. on Education*, vol. 51, no. 2, pp. 242-250, May 2008, doi: 10.1109/TE.2007.908071.
- [13] Kalyuga, S. (2007). Enhancing instructional efficiency of interactive e-learning environments: A cognitive load perspective. *Educational Psychology Review*, 19(3), 387-399. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9051-6>
- [14] Achuthan, K., Raghavan, D., Shankar, B. et al.(2021). Impact of remote experimentation, interactivity and platform effectiveness on laboratory learning outcomes. *Int J Educ Technol High Educ* 18, 38 (2021). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00272-z>
- [15] Kolil, V.K., Muthupalani, S. & Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *Int J Educ Technol High Educ* 17, 30 (2020). <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3>
- [16] Kurt Winkelmann, Wendy Keeney-Kennicutt, Debra Fowler, Maria Lazo Macik, Paola Perez Guarda & Connor Joan Ahl-

- born (2020). Learning gains and attitudes of students performing chemistry experiments in an immersive virtual world, *Interactive Learning Environments*, 28:5, 620-634, DOI: 10.1080/10494820.2019.1696844
- [17] Tobarra, L.; Robles-Gómez, A.; Pastor, R.; Hernández, R.; Duque, A.; Cano, J. (2020). Students' Acceptance and Tracking of a New Container-Based Virtual Laboratory. *Appl. Sci.* 2020, 10, 1091. <https://doi.org/10.3390/app10031091>
- [18] Powell, V.J.H. et. al., (2007). VLabNet: A Virtual Laboratory Environment for Teaching Networking and Data Communications. *Proc. ISECON 2007*.
- [19] Kapici, H.O., Akcay, H. & de Jong, T. (2019). Using Hands-On and Virtual Laboratories Alone or Together-Which Works Better for Acquiring Knowledge and Skills?. *J Sci Educ Technol* 28, 231–250 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0>
- [20] Jedrinović S., Ferik Savec V., Rugelj J. (2019) Innovative and Flexible Approaches to Teaching and Learning with ICT. In: Väljataga T., Laanpere M. (eds) *Digital Turn in Schools—Research, Policy, Practice. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7361-9_12.
- [21] Geng S., Law K.M.Y., Niu, B. (2019). Investigating self-directed learning and technology readiness in blending learning environment. *Int J Educ Technol High Educ* 16, 17. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0147-0>.
- [22] Rotas, E. E., & Cahapay, M. B. (2020). Difficulties in Remote Learning: Voices of Philippine University Students in the Wake of COVID-19 Crisis. *Asian Journal of Distance Education*, 15(2), 147-158.
- [23] Adedoyin, O. B., & Soykan, E. (2020). Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. *Interactive learning environments*, 1-13.
- [24] Dietrich, N., Kentheswaran, K., Ahmadi, A., Teychené, J., Bessiére, Y., Alfenore, S., ... & Hébrard, G. (2020). Attempts, successes, and failures of distance learning in the time of COVID-19. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2448-2457.
- [25] Konecki, M. (2020). Impact of distance learning on motivation and success rate of students during the covid-19 pandemic. In 2020 43rd International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO) (pp. 813-817). IEEE.
- [26] Iglesias-Pradas S., Hernández-García A., Chaparro-Peláez J., Prieto J. L (2021). Emergency remote teaching and students' academic performance in higher education during the COVID-19 pandemic: A case study, *Computers in Human Behavior*, Vol. 119, ISSN 0747-5632, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106713>.
- [27] Xu D., Xu Y. (2019). The Promises and Limits of Online Higher Education: Understanding How Distance Education Affects Access, Cost, and Quality. American Enterprise Institute.
- [28] Gambo, Y., Shakir, M.Z. (2021). Review on self-regulated learning in smart learning environment. *Smart Learn. Environ.* 8, 12 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40561-021-00157-8>
- [29] Rashid T., Asghar H. M., Technology use, self-directed learning, student engagement and academic performance: Examining the interrelations, *Computers in Human Behavior*, Vol. 63, 604-612, ISSN 0747-5632, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.05.084>.
- [30] Lai J. W., Bower M. (2019). How is the use of technology in education evaluated? A systematic review. *Computers & Education*, 133, 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.010>.

■

Mojca Ciglarič je diplomirala, magistrirala in doktorirala na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, kjer je tudi zaposlena. Je vodja Laboratorija za računalniške komunikacije in dekanja FRI, pučuje predmete s področja računalniških komunikacij in porazdeljenih sistemov. Njena raziskovalna zanimanja vključujejo komunikacijske protokole, porazdeljene sisteme in infrastrukture, metode poučevanja ter varnost. Je avtorica ali soavtorica več kot 70 člankov, 5 poglavij v monografijah in dveh knjig.